

634.9
А 88
754560



Е.С. АРЦЫБАШЕВ

ТУШЕНИЕ
ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ
ИСКУССТВЕННО
ВЫЗЫВАЕМЫМИ
ОСАДКАМИ
ИЗ ОБЛАКОВ

Е. С. АРЦЫБАШЕВ

ТУШЕНИЕ
ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ
ИСКУССТВЕННО
ВЫЗЫВАЕМЫМИ
ОСАДКАМИ
ИЗ ОБЛАКОВ

754560



ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ЛЕСНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ»
Москва 1973

634.0.431.1

Тушение лесных пожаров искусственно вызываемыми осадками из облаков. Арцыбашев Е. С. «Лесная промышленность», 1973 г., 88 с.

В брошюре приведены основные результаты исследований и опытных работ за 1966—1971 гг. по тушению лесных пожаров осадками, вызываемыми из облаков искусственным путем. Описан новый способ борьбы с лесными пожарами, особенно крупными, которые раньше не поддавались тушению и принимали характер стихийных бедствий.

Рисунков 15, таблиц 11, библиография — 43 названия.

А 045—007
.037(01)—73

Введение

Лесные пожары были и остаются распространенным явлением в зоне тайги. По эффекту воздействия на лес этот фактор не имеет себе равных. После устойчивых по-
вальных пожаров на горях наблюдается смена пород, резко меняется растительный покров, в типах леса с избыточным увлажнением возникает процесс интенсивного заболачивания, на горных склонах появляются оползни, гольцы и т. д. На лесной площади, пройденной огнем, меняется не только флора, но и появляются новые представители фауны.

Охрана лесов от пожаров является одной из важнейших государственных задач. Закон об охране природы, принятый в 1960 г., обязывает всех лесопользователей осуществлять комплекс мероприятий, направленных на охрану лесов, а всех граждан — строго соблюдать правила пожарной безопасности. В постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР «Об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов» (1973 г.) отмечается, что в стране осуществляются мероприятия, направленные на обеспечение рационального использования лесных ресурсов, воспроизводство и повышение продуктивности лесов, организацию охраны лесов от пожаров и своевременную их ликвидацию.

Забота о сбережении лесов, наиболее ценного всенародного достояния, стала делом широких масс трудящихся нашей страны. В результате увеличения объема предупредительных противопожарных мероприятий, развития наземных и авиационных сил и средств борьбы с лесными пожарами и участия в этом деле общественности горимость лесов в последние десятилетия сократилась (табл. 1).

Горимость лесов снизилась в основном за счет сокращения площадей пожаров в удаленных, малообжитых районах Севера, Сибири и Дальнего Востока. Этому сни-

Таблица 1

Динамика горимости лесов за 1947—1971 гг.

Годы	Среднегодовое количество пожаров, %	Среднегодовая площадь пожаров, %	Средняя площадь одного пожара, %
1947—1951	100	100	100
1952—1956	97,2	96,5	99,2
1957—1961	116,1	63,8	55,0
1962—1966	154,0	40,3	26,2
1967—1971	157,2	25,6	16,3

жению способствовало развитие авиационной охраны лесов от пожаров и, главным образом, оснащение ее новыми техническими средствами: ранцевыми огнетушителями-опрыскивателями, огнегасящими химикатами, портативными зажигательными аппаратами, специальным снаряжением для высадки парашютистов-пожарных и рабочих авиадесантных команд к местам лесных пожаров, современными средствами радиосвязи, эффективными способами борьбы с лесными пожарами с применением взрывчатых веществ и т. д. В последние годы для патрулирования и доставки авиадесантных команд к местам лесных пожаров используются новые типы вертолетов: КА-26, МИ-2, МИ-8. Широко внедряются технические средства для ведения противопожарной пропаганды непосредственно с воздуха (Арцыбашев, 1969). Проходит испытания водосливное лесопожарное оборудование для тушения пожаров с вертолетов (Арцыбашев и др., 1972).

Вместе с тем данные табл. 1 показывают на рост числа лесных пожаров в 1967—1971 гг. по сравнению с 1947—1951 гг. в 1,5 раза. Этот рост обусловлен в основном резким увеличением объема лесозаготовок в лесах Севера, Сибири и Дальнего Востока, огромными масштабами поисковых работ, способствующих созданию в восточных районах страны новых отраслей промышленности (нефтяной, газовой, алмазодобывающей), строительством новых городов и поселков.

Рост числа пожаров увеличивает пожароопасность в лесу. В отдельные, неблагоприятные в синоптическом отношении годы, характеризующиеся длительной засухой, горимость лесов резко возрастает и исчисляется десят-



Рис. 1. Вид крупного лесного пожара с самолета.

ками и сотнями тысяч гектаров. Наиболее часто пожароопасная обстановка складывается на территории Красноярского и Хабаровского краев, Иркутской области и Якутской АССР. После продолжительных бездождных периодов в этих районах иногда возникают массовые вспышки лесных пожаров, чаще всего как следствие прохождения грозовых фронтов. Так, в июле 1970 г. на территории Алданского лесхоза Якутской АССР от гроз в один день возникло 11 лесных пожаров. В 1971 г. в Приангарье Красноярского края гроза явилась причиной возникновения 20 лесных пожаров, зарегистрированных в один день. Некоторые из них выходят из-под контроля человека и охватывают большие площади лесов. Такие пожары являются настоящим стихийным бедствием (рис. 1).

Борьба с крупными лесными пожарами крайне затруднена. Иногда ценой больших усилий удается сдерживать их распространение, но в большинстве случаев они горят в течение продолжительного времени, до наступления устойчивой дождливой погоды. Поэтому часто один-два крупных пожара сводят на нет успехи, достигнутые лесхозом или оперативным отделением в охране лесов.

Огромный ущерб, который наносят крупные лесные пожары всему народному хозяйству, и отсутствие эффективных мер борьбы с ними требуют поиска новых путей решения этой проблемы. Предложение об использовании для массированного воздействия на крупные лесные пожары осадков, вызываемых из облаков искусственным путем (Арцыбашев, Губин, 1970), явилось важным шагом в решении этой проблемы. В основу предложения были положены следующие исходные моменты:

1. Кучевые облака, часто проходящие над зоной горения, имеют огромный запас влаги в виде переохлажденных капель.

2. Транспортировка этой влаги в зону пожара не требует затрат механической или другой энергии, так как в данном случае используется энергия переноса воздушных масс и гравитации.

3. Масштабность явления выпадения осадков из мощных кучевых облаков и их интенсивность соизмеримы с площадями крупных лесных пожаров и интенсивностью горения.

Вмешательство в развитие атмосферных процессов с целью использования имеющейся облачности для вызывания осадков искусственным путем над зоной горения позволит сократить срок действия крупных лесных пожаров и сберечь большие площади лесов от уничтожения и повреждения огнем.

ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОБЛАКА

Идея использования влаги из облаков давно занимала умы людей, но религиозные представления об образовании дождя, гроз и града препятствовали научному прогрессу в этой области. Лишь исследования последних десятилетий позволили раскрыть механизм образования осадков и практически реализовать эту идею.

Мысль о возможности воздействия на метеорологические явления, происходящие в воздушном океане, впервые высказал Д. И. Менделеев. Изучая погоду и климат, он назвал атмосферу «великой лабораторией природы».

А. И. Воейков (1969), основоположник русской климатологии, в своей работе «Воздействия человека на природу» наметил пути улучшения климата и дал направление работам в области воспроизведения некоторых атмосферных явлений.

В 30-х годах нашего столетия В. Н. Оболенский (1931) впервые научно обосновал вопрос об активном преобразовании погоды и получении искусственных осадков.

Первые лабораторные опыты, положившие начало практической реализации идеи активного воздействия на облака, были проведены в нашей стране в 1921 г. В. И. Виткевичем (1923). В качестве осадкообразующего реагента он использовал заряженный электрическим потенциалом песок. Теоретическое обоснование этих опытов было сделано Б. П. Вейнбергом (1925).

Позднее было установлено, что направленные воздействия на гидрометеорологические процессы возможны в тех случаях, когда в ходе их развития создаются неустойчивые состояния. Нередко многие облака не дают осадков вследствие того, что естественным путем не создаются условия для развития необходимых микрофи-

зических процессов, приводящих к укрупнению облачных элементов. В этих условиях возможно вмешательство человека с целью создания необходимого «толчка» для дальнейшего развития процесса.

К настоящему времени благодаря усовершенствованию методики эксперимента в свободной атмосфере, широкому использованию авиации, а также теоретической разработке отдельных сторон проблемы существенно пополнился запас сведений о процессах в атмосфере, приводящих к образованию туманов, облаков и осадков.

Работам по активному воздействию на атмосферные процессы придавалось большое значение с первых дней существования социалистического государства. Уже в 1919 г. в Главной геофизической обсерватории было создано отделение экспериментальной геофизики, занимавшееся изучением процессов в атмосфере с применением экспериментальных методов. В 1921 г. при Наркомземе был организован научно-мелиоративный институт, который в число своих задач включал также и разработку проблемы искусственного дождя. В частности, проводились лабораторные опыты по искусственному осаждению облаков с помощью наэлектризованного песка. В 1931 г. было решено организовать при Наркомземе СССР Институт искусственного дождевания. Одновременно были организованы филиалы этого института в Ленинграде, Одессе и Ашхабаде. Особенно широко развернулись исследовательские работы в Ленинградском отделении, которое очень быстро выросло в самостоятельный институт, позднее названный Ленинградским институтом экспериментальной метеорологии (ЛИЭМ). В этом институте наряду с лабораторными и теоретическими исследованиями по физике осадков с 1932 по 1941 г. были проведены опыты по воздействию на облака и туманы в естественных условиях с применением высокочастотных электрических разрядов, ионных потоков, заряженного и незаряженного кварцевого песка, пыли, радиоактивных руд, хлористого кальция и размельченного льда. В отдельных случаях наблюдалось частичное, а иногда и полное рассеяние облаков (Шишкин, 1954).

Новый этап исследовательских и опытных работ наступил после открытия в 1946 г. американскими учеными В. Шефером (1951) свойств твердой углекислоты и

Б. Воннегатом (1951) йодистого серебра как наиболее эффективных реагентов для переохлажденных облаков.

Воздействие сухим льдом на переохлажденные кучевые облака большой мощности впервые произвели в 1947 г. Е. Краус и П. Скуайрс (1951) в Австралии. По их сообщению, шесть облаков из восьми после воздействия на них дали радиоэхо, что указывало на выпадение осадков, а из четырех выпал сильный дождь. В облако вводилось 60 кг сухого льда. В радиусе 160 км других радиолокационных очагов от осадков не было обнаружено.

Опыты по воздействию на конвективные облака в Африке (Davies, Herpürn, Sanson, 1951) и Канаде (Мейсон, 1961) дали сходные результаты и показали, что вероятность вызывания осадков с помощью введения в облака сухого льда велика, если температура на уровне их верхней границы ниже -4° , а переохлажденная толща превышает 1800 м. К такому же выводу пришел позднее И. Боуэн (Bowen, 1952), проанализировавший около 100 опытов по воздействию сухим льдом на кучевые облака за период 1947—1951 гг.

В соответствии с критерием образования осадков из конвективных облаков, предложенным в 1952 г. Ф. Ладламом (Ludlam, 1951), был сделан вывод, что при введении сухого льда в облака с теплым основанием (температура на уровне основания 10°) и относительно большой водностью можно ожидать выпадения осадков, если облако разовьется на несколько сот метров выше уровня нулевой изотермы.

Успешные опыты по воздействию на кучевые облака йодистым серебром проведены Д. Ленгмюром в Нью-Мексико (Мейсон, 1961).

С целью увеличения количества осадков из конвективных облаков интересный эксперимент провели Д. Хепберн и Х. Сенсан в 1951 г. в Восточной Африке (Davies Herpürn, Sanson, 1951). В облака выпускали шары, наполненные водородом, с прикрепленными к ним небольшими зарядами пороха, пропитанного йодистым серебром, и временным запалом. В каждом заряде содержалось 0,2 г йодистого серебра. С помощью шаров-пилотов определялся характер конвекции и оценивалась скорость вертикальных потоков, на основании чего длина нити запала устанавливалась с таким расчетом, что-

бы взрыв пороха произошел немного выше уровня нулевой изотермы. Этот способ позволил получить в ряде опытов положительный эффект.

Делались попытки вызывать осадки из кучевых облаков путем разбрызгивания в них капель воды и водных растворов кристаллических солей. В 1948 г. в Южной Африке был применен раствор хлористого кальция; полученный результат не позволил сделать каких-либо определенных выводов (Мейсон, 1961). Некоторый успех был получен в 1949 г. в опытах по воздействию на облака углекислотой в штате Огайо Р. Кунсом, Р. Джентри и Р. Ганном (1951).

В некоторых странах испытывались гигроскопические вещества как стимуляторы конденсационных процессов и осадкообразования в теплых облаках. Так, в Индии в период муссонных дождей проводились опыты по засеву облаков раствором поваренной соли. Из 18 дней с опытами 12 дали положительный результат. Средняя добавка осадков оценивалась в 25% (Прихотько, 1968).

В СССР опыты по вызыванию осадков из слоисто-кучевых облаков с применением в качестве реагента твердой углекислоты и других начали проводить с 1948 г. в Главной геофизической обсерватории (ГГО) им. А. И. Воейкова В. Я. Никандров и А. П. Чуваев (Никандров, 1959). В 1953 г. они сделали вывод о необходимости проведения таких работ на практике для получения дополнительных осадков в засушливое время года, для рассеяния облаков и туманов и для борьбы с градом.

Опыты по воздействиям на слоистые облака одновременно проводились в Центральной аэрологической обсерватории (ЦАО) И. И. Гайворонским (1959). Они показали возможность перераспределения осадков в нужном для человека направлении.

Опыты по воздействию на облака различных форм в Главной геофизической обсерватории продолжаются и до настоящего времени. ГГО возглавила работу по изысканию новых препаратов для искусственного стимулирования осадков. Успешно решается задача замены дорогостоящего йодистого серебра другими реагентами. В этом направлении перспективными являются работы В. Г. Морачевского и других исследователей (1972) по использованию органических соединений, а также иссле-

дования, связанные с разработкой эффективных пиропа-
тронов с различными дозами льдообразующих реаген-
тов (Сумин, Торопова, 1972).

Опыты, проведенные в 1959—1964 гг. в Украинском
научно-исследовательском гидрометеорологическом ин-
ституте при участии Г. Прихотько, М. Леонова, Е. Пере-
лета (1967), подтвердили возможность вызывания ис-
кусственных осадков не только из зимних, переохлаж-
денных облаков, но и летних, так называемых теплых
(Прихотько, 1968).

В Советском Союзе успешно решены многие вопро-
сы из физики атмосферы. Сейчас уже можно вполне оп-
ределенно говорить о возможности активного воздейст-
вия на облака с целью получения искусственных осадков
в заданном районе и на туманы с целью их рассеяния.

Первые опыты по активному воздействию на облака
с целью оценки перспективности применения искусствен-
ных осадков для тушения лесных пожаров были прове-
дены в 1966 г. Ленинградским научно-исследовательским
институтом лесного хозяйства совместно с Главной гео-
физической обсерваторией им. Воейкова. В опытах при-
нимали участие от ЛенНИИЛХ Е. С. Арцыбашев и П. А.
Губин, от ГГО — группа геофизиков и метеорологов под
руководством А. П. Чуваева. Опыты проводились в ию-
ле—августе над территорией Волховского района Ленин-
градской области. Контроль за выпадением искусствен-
ных осадков после обработки облаков производился
визуально с борта самолета-лаборатории ЛИ-2, а также
с помощью радиолокатора и специально установленной
на период проведения опытов дождемерной сети. Осад-
кообразующие реагенты — йодистый свинец PbJ_2 и йо-
дистое серебро AgJ — последовательно вводились в об-
лака с помощью ракетницы, если температура облака
была не выше -6° и облака имели достаточный водоза-
пас. Переохлажденные облака с такой температурой
встречались чаще всего на высоте 4—4,5 км. После окон-
чания воздействия самолет спускался ниже границы об-
лачного слоя для наблюдения за развитием осадков и
установления границы выпадения искусственного дож-
дя. Выпадение осадков из конвективных облаков мощ-
ностью 2000—2500 мм наблюдалось через 8—12 мин по-
сле их обработки. Из 15 опытов положительные резуль-
таты были получены в 12, причем в 8 осадки доходили

до земли и наблюдались в течение от 15 до 40 мин на площади от 1 до 12 км².

Однако следует иметь в виду, что не все типы облаков могут быть использованы для активного воздействия и не всегда складываются ситуации, при которых это воздействие возможно. Поэтому основными задачами исследований в этом направлении являются анализ многолетних данных о наиболее перспективных для воздействия формах облачности в пределах пожароопасного периода, проведение полевых опытов по искусственному воздействию на облака с использованием различных осадкообразующих реагентов применительно к задачам охраны лесов от пожаров, разработка техники и тактики тушения лесных пожаров искусственно вызываемыми осадками из облаков и оценка хозяйственной и экономической эффективности нового способа.

Виды лесных пожаров и их особенности

Лесным пожаром принято называть стихийное, неконтролируемое распространение огня по лесной территории. Горючим материалом в лесу являются подстилка и торф, валежник, живой напочвенный покров из трав, мхов и кустарников, подлесок, подрост и даже крупные деревья.

В зависимости от вида сгорающих материалов различают три основных вида лесных пожаров: низовые, верховые и торфяные, или почвенные. При низовых пожарах сгорают подстилка, живой покров и подлесок. Иногда обжигаются нижние части стволов деревьев и корни, выступающие на поверхность земли, поэтому отдельные деревья прекращают рост, но в целом насаждение продолжает расти. Это наиболее распространенный вид лесных пожаров. На их долю приходится около 87% случаев и 75% площади (Анцышкин, 1957). Если низовой пожар встречает на своем пути группы хвойного подроста, сухостой, поваленные деревья, покрытые лишайником стволы или низко опущенные ветви, то огонь переходит на кроны и пожар принимает верховой характер. На долю верховых пожаров приходится 11% случаев и 24% выгоревшей площади. Это наиболее разрушительный вид пожара; древостой погибает полностью.

Торфяные, или почвенные, пожары — сравнительно редкое явление, и возникают они в период сильной засухи. Слой торфа с включением корней деревьев выгорает до минерального слоя или до уровня грунтовых вод. Хотя количество случаев таких пожаров невелико (2%) и выгоревшая площадь не превышает 1%, борьба с этими пожарами очень трудна.

Преобладающее количество лесных пожаров возникает по вине людей из-за неосторожного обращения с огнем в лесу. Брошенная спичка или папироса, непотушенный костер, сжигание порубочных остатков во время летней заготовки леса, сельскохозяйственные палы, искры паровозов и молнии являются основными источниками возникновения пожаров в лесу. Статистика показывает, что из общего количества случаев пожары от молний составляют несколько процентов, но в удаленных, малообжитых районах Сибири и Дальнего Востока эту причину следует считать основной. Массовые вспышки пожаров, которые имеют место в этих районах в июне—июле, являются следствием внутримассовых гроз или прохождения грозových фронтов.

Лесной пожар обычно начинается с низового, потушить который в начальной стадии развития не представляет больших трудностей. Если момент для ликвидации пожара упущен, то он, как правило, выходит из-под контроля наземных сил, занятых его тушением, часто переходит в верховой и охватывает огромную площадь леса.

Наиболее разрушительные лесные пожары в Сибири возникают в конце засушливых периодов при западных и северо-западных ветрах. Этот факт подтверждается конфигурацией гарей, обычно вытянутых с северо-запада на юго-восток.

Весенние низовые пожары охватывают главным образом открытые площади с покровом из сухой травы (вырубки, старые гари) и некоторые травяные типы леса, способные гореть сразу после схода снежного покрова. Такие пожары связаны с вегетативным состоянием лесной растительности в большей степени, чем с состоянием атмосферы.

Пожары «взрывного» характера, наблюдающиеся летом, являются в основном следствием неустойчивого состояния атмосферы, когда в нижних слоях воздуха наблюдаются нисходящие и восходящие потоки (рис. 2).

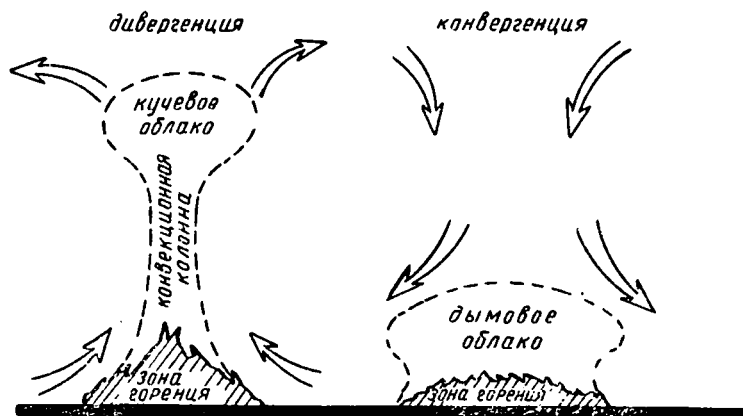


Рис. 2. Схема развития лесного пожара при дивергенции и конвергенции воздушных течений

Снижение скорости ветра с высотой позволяет пожару создавать конвекционную колонку, при которой тепловая энергия горения переходит в кинетическую. Если конвекционная колонка окажется в зоне нисходящего потока (конвергенция), рост ее прекращается и интенсивность горения снижается. В данном случае большая часть энергии остается в зоне горения в форме тепла. Если очаг пожара окажется в зоне восходящего потока (дивергенция), то происходит сложение кинетической энергии самого пожара с энергией восходящих потоков воздуха. Тогда конвекционная колонка достигает большой высоты (до 5,0 км), а горящие угли поднимаются на высоту до 1200 м. Развитие такого пожара подобно взрыву. Распространение пожара определяется не скоростью продвижения его горячей кромки, а дальностью переноса и количеством горящих частиц, от которых возникают многочисленные мелкие очаги горения, вскоре сливающиеся с основным.

Интенсивность горения пожаров взрывного типа зависит от силы ветра у земли; наилучшее горение наблюдается при умеренных ветрах со скоростью 6—12 м/сек. Замер температуры пламени таких пожаров из-за сложности и опасности проведения эксперимента на практике не проводился, но, по-видимому, она достигает своего максимума при свободном горении орга-

нических материалов, т. е. около 900°. Ширина зоны горения на фронтальной кромке не превышает 8—10 м, а языки пламени местами поднимаются на высоту 6—8 м. Скорость распространения верховых пожаров в Приангарье достигает свыше 10 км в сутки в основном за счет горения днем, так как ночью интенсивность горения резко ослабевает.

Если пожар на своем пути встречает крупный массив лиственного леса или заболоченный участок местности, он резко замедляет свое распространение и начинает обходить препятствие, развиваясь в стороны в виде отдельных выступов (языков). В свою очередь каждый язык может делиться на ряд других, огибающих трудногоримые участки лесного ландшафта. Поэтому при взгляде сверху вся площадь, пройденная огнем такого пожара, имеет пятнистый характер, где зеленые участки, не тронутые огнем или пройденные низовым пожаром, чередуются с участками сгоревшего леса. Языки пожара, развиваясь в стороны, удаляются друг от друга на десятки километров, создавая видимость, что действует несколько пожаров.

Дым от крупных пожаров поднимается иногда на высоту до 7000 м и распространяется в общем потоке воздушных масс на сотни километров. Задымленность ат-

Таблица 2

Крупные лесные пожары на территории Красноярского края
в 1965—1969 гг.

Годы	Число крупных пожаров	Общая выгоревшая площадь, га	Средняя выгоревшая площадь 1 пожара, га	Средняя продолжительность действия пожара, дней	Самый крупный пожар (номер, площадь, дата и срок действия)
1965	29	16787	579	20	№ 13, 2300 га, 17/V — 8/VI, 23 дня
1966	6	2230	372	18	№ 4, 600 га, 11/VII — 9/VIII, 31 день
1967	50	5187	104	18	№ 36, 900 га, 11/VII — 11/VIII, 32 дня
1968	39	61670	1581	22	№ 27, 27000 га, 5/VII — 14/VIII, 41 день
1969	53	179465	3386	18,5	№ 50, 99600 га, 1/VIII — 4/IX, 35 дней

мосферы при высокой горимости бывает настолько высока, что препятствует полетам патрульной авиации.

Чтобы представить себе напряженность пожарной ситуации, в табл. 2 приведено число крупных лесных пожаров, общая площадь, пройденная ими, средняя площадь одного пожара и средняя продолжительность действия пожаров на территории Красноярского края в период с 1965 по 1969 г.

1966 г. характеризовался умеренной влажностью воздуха и обилием выпадающих осадков при прохождении теплых фронтов юго-западного и южного направлений, что благоприятно сказывалось на ликвидации крупных лесных пожаров. Наоборот, в 1969 г. на территории центральных районов Красноярского края в летний период наблюдалась сильная засуха. С середины июня по 1 августа осадки почти не выпадали. Сильные сухие грозы, проходившие над лесными районами Приангарья в эти месяцы, явились причиной массовой вспышки лесных пожаров, охвативших площадь около 200 тыс. га. Только в течение трех дней июля на территории края возникло 67 лесных пожаров, часть из которых не была своевременно потушена наземными и авиационными силами лесной охраны, и они действовали до наступления дождливой погоды, установившейся во второй половине августа.

В 1965—1966 гг. большое число крупных пожаров зарегистрировано на территории, охраняемой Читинской (62 пожара) и Иркутской (78 пожаров) авиабазами. В 1965 г. на территории Читинской авиабазы крупные лесные пожары горели с 10 мая по 13 июля, т. е. более двух месяцев, причем около десяти пожаров действовали весь этот период. В 1966 г. средняя продолжительность действия крупных пожаров в период с 19 сентября по 24 октября составила 14 дней. На территории, охраняемой Иркутской авиабазой, в 1965 г. зарегистрировано 78 крупных лесных пожаров со средней продолжительностью действия 10 дней. Большинство пожаров относится к периоду с середины мая до середины июня, три пожара отмечено во второй половине июля и семь — в августе. Указанные годы (1965 и 1966) не были засушливыми. Однако, как видим, крупные пожары действовали от 10 до 60 дней, т. е. значительно больше средней продолжительности естественного синоптического периода (6—7 дней), когда погода резко меняется.

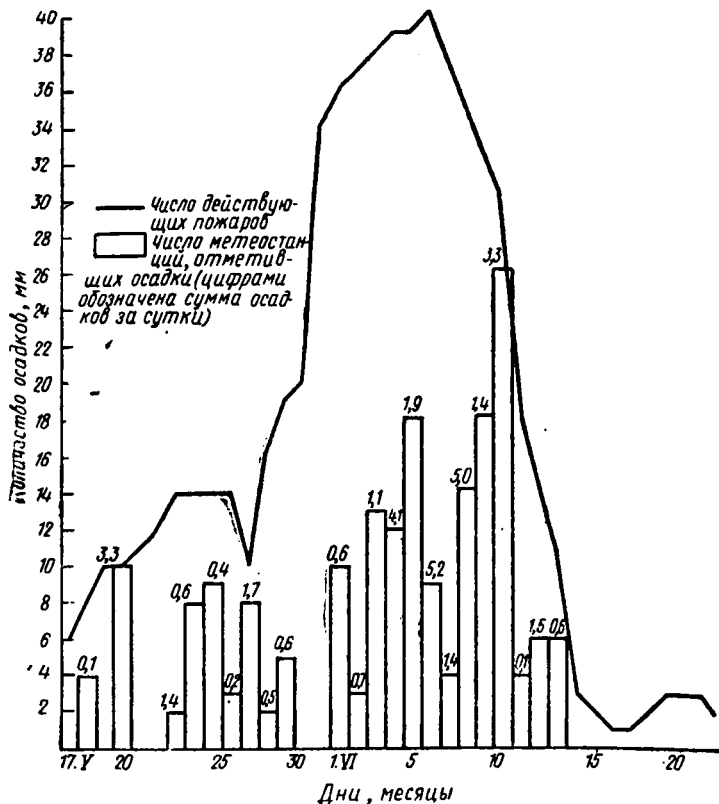


Рис. 3. Число действующих лесных пожаров и осадки, отмеченные в районе пожаров в мае—июне 1965 г. (Иркутская область)

В засушливые годы продолжительность действия отдельных пожаров значительно увеличивается. Так, в одном лишь Киренском оперативном отделении Иркутской авиабазы в 1962 г. отмечено 23 пожара, действовавших более месяца, из них четыре пожара продолжали действовать 60 дней и более. За этот период местными метеостанциями неоднократно отмечались осадки, но они были кратковременными и имели пятнистый характер.

В качестве примера, подтверждающего эти наблюдения, на рис. 3 графически показано число лесных пожаров, действовавших на территории Иркутской области в период с 17 мая по 20 июня 1965 г., и средняя сумма вы-

павших осадков, зарегистрированная метеостанциями удаленными от мест пожаров на расстояние не свыше 50 км (в среднем 27 км).

Незначительные осадки пятнистого характера, выпадающие из конвективной облачности, почти ежедневно отмечались некоторыми метеостанциями. Однако, как видно из графика, они не снижали общего числа действующих пожаров, так как вероятность их выпадения точно на пожар была очень мала, и лишь 10 июня, после прохождения холодного фронта, сопровождавшегося интенсивными осадками на большей части территории области, число действующих пожаров резко сократилось.

Анализ синоптической обстановки и горимости лесов на территории Красноярского края, Иркутской и Читинской областей показывает, что целью воздействия на облачность может быть стимулирование осадков из мощных кучевых облаков, ускорение процесса выпадения естественных осадков из кучево-дождевых облаков и увеличение доли осаждаемой влаги над зоной горения. Цели воздействия определяются сложившейся синоптической ситуацией. При выпадении в районе пожара так называемых «пятнистых» осадков из конвективной облачности целью воздействия будет расширение зон выпадающих осадков или образование новых зон. Обложные осадки, выпадающие при прохождении теплых фронтов, часто служат причиной ликвидации пожаров. В этом случае, воздействие должно ускорить наступление дождливого периода, чтобы сократить срок действия пожара и тем самым сохранить большие площади лесов от уничтожения огнем. При выпадении над районом пожара осадков малой интенсивности задачей воздействия будет увеличение суммы выпадающих осадков. Особое внимание при этом должно уделяться одновременной интенсификации наземных работ по дотушиванию оставшихся очагов и предупреждению возможности их возобновления. Целью воздействия также является стимулирование осадков для профилактического смачивания лесной территории, опасной в пожарном отношении.

Облака, их образование и развитие

Облаками называются скопления продуктов конденсации в свободной атмосфере. Облака, состоящие из мельчайших водяных капелек, называются водяными, из

ледяных кристалликов — кристаллическими, из тех и других компонентов — смешанными.

Причиной образования облаков является охлаждение поднимающегося влажного воздуха до температуры, когда водяной пар, находящийся в воздухе, становится насыщенным; при этом наличие в атмосфере ядер конденсации, на которые оседает влага, является обязательным. Ядрами конденсации могут служить продукты сгорания нефти, каменного угля, лесных пожаров, частицы пыли, твердые частицы соли из брызг морских волн и т. д.

По условиям возникновения различают облака конвекции — кучевообразные, образующиеся при местных восходящих воздушных токах, слоистообразные, связанные с медленным восхождением (скольжением) больших масс теплого воздуха по границе раздела с холодным воздухом и волнистообразные, возникающие вследствие волнового движения и радиационного охлаждения воздуха на границе инверсии температуры.

По международному соглашению все облака по своей структуре и форме подразделяются на десять основных типов, которые в свою очередь разделяются на четыре яруса с учетом их расположения по высоте (Атлас облаков, 1957).

Причем, по внешним очертаниям в каждой группе можно выделить облака с резко очерченными границами и облака расплывчатой формы, генетически связанные между собой.

Облака с резко очерченными границами	Облака расплывчатой формы
--------------------------------------	---------------------------

А. Верхний ярус

- | | |
|--|---|
| 1. Перистые (<i>cirrus</i>), высота около 10000 м. Сокр. обозн. <i>Ci</i> | 3. Перисто-слоистые (<i>cirro-stratus</i>), высота 7500 м. Сокр. обозн. <i>Cs</i> |
| 2. Перисто-кучевые (<i>cirro-cumulus</i>), высота 7500 м. Сокр. обозн. <i>Cc</i> | |

Б. Средний ярус

- | | |
|---|---|
| 4. Высококучевые (<i>Alto-cumulus</i>), высота 4000 м. Сокр. обозн. <i>Ac</i> | 5. Высокослоистые (<i>Alto-stratus</i>), высота 3000—5000 м. Сокр. обозн. <i>As</i> |
|---|---|

6. Слоисто-кучевые (*Strato-cumulus*), высота 600—1500 м. Сокр. обозн. *Sc*

7. Слоистые (*Stratus*), высота 100—700 м. Сокр. обозн. *St*

8. Слоисто-дождевые (*Nimbostratus*), высота 100—1000 м. Сокр. обозн. *Ns*

Г. Облака вертикального развития

9. Кучевые (*Cumulus*), высота 800—1500 м, в отдельных случаях выше. Сокр. обозн. *Cu*

10. Кучево-дождевые (*Cumulonimbus*), высота 400—1000 м. Сокр. обозн. *Cb*.

Из облаков первых семи форм осадки обычно не выпадают. Если это случается, то они обычно слабые, непродолжительные и, как правило, не доходят до земли.



Рис. 4. Развитие мощного кучевого облака (*Cu cong*)

Обложной дождь выпадает из слоисто-дождевых облаков. С точки зрения охраны леса от пожаров эти облака способствуют ликвидации горимости на всей территории, где наблюдаются осадки из этих облаков. Тем не менее слоисто-дождевые облака не могут представлять интереса для искусственного вызывания осадков, так как этот процесс в них развивается сам по себе естественным путем.

Наиболее перспективными облаками для искусственного вызывания осадков вообще и для тушения лесных пожаров в частности являются мощные кучевые *Cu cong* и кучево-дождевые *Cb* облака, которые иногда

называют облаками вертикального развития: имея сравнительно низкое основание, они быстро вырастают вверх до очень большой высоты. Эти облака возникают при конвективных движениях в атмосфере, когда отдельные влажные массы воздуха достигают уровня конденсации и поднимаются выше его (рис. 4).

Возникновение мощных кучевых облаков *Cu cong* происходит через кучевые облака переходных форм: плоские *Cumululus humilis* (*Cu hum*) и средние *Cumululus mediocris* (*Cu med*). Мощные кучевые облака сильно развиты по вертикали и высота их может в 2—3 раза превосходить размеры основания. Максимального развития они достигают во второй половине дня, хотя в отдельных случаях их можно наблюдать и до полудня. Нижняя граница мощных кучевых облаков обычно находится на высоте 0,8—1,5 км, хотя в отдельных случаях может быть и выше, но не ниже. Температура основания облаков в пожароопасный период (май—август) колеблется в пределах 5—12°.

Вершины мощных кучевых облаков достигают высоты 6—7 км и более, часто переохлаждаясь до температуры —20° и ниже. Такие облака, как правило, имеют капельное строение; наиболее крупные капли (радиусом 10—11 мк) наблюдаются в центральной и верхней частях облака, наиболее мелкие (6—7 мк) — у его основания. От других форм облаков, кроме выраженного вертикального поднятия, они отличаются плотными белыми куполообразными вершинами, быстро меняющими свою форму. Основание мощных кучевых облаков плоское, серого или синеватого оттенка. При подходе к облаку с теневой стороны замечаешь, что в центральной части оно не просвечивается и лишь по краям солнечные лучи пробиваются через облачный покров.

Мощные кучевые облака можно встретить в виде отдельных редких облаков, удаленных друг от друга на десятки километров, или в виде «башен», то тут то там поднимающихся над кучевыми облаками других, менее выраженных форм. В виде гряд такие облака встречаются редко и к вечеру обычно распадаются. Осадки из мощных кучевых облаков, как правило, не выпадают. Лишь иногда при проходе самолета под самым основанием облака на ветровом стекле можно заметить отдельные капли дождя.

Одной из важнейших характеристик облака, связанных с интенсивностью осадков, является водность облака, т. е. масса воды в жидкой или твердой фазе, приходящейся на единицу объема воздуха. В облаках типа *Ci cong* она колеблется в широких пределах и зависит от мощности облака, стадии его развития и температуры на разных уровнях. Исследованиями установлено, что эти облака состоят как бы из отдельных ячеек, водность которых наиболее велика.

Из немногочисленных данных, полученных при измерении с самолета, можно представить себе следующую картину водности мощного кучевого облака. От основания облака до 100 м средняя водность довольно быстро вырастает от 0,3 до 0,9 г/м³, далее возрастание водности постепенно замедляется, достигая максимума 1,7 г/м³ на высоте от основания облака около 3000 м. Выше этого уровня водность постепенно убывает вплоть до верхней границы.

Выше мы рассматривали основные характеристики мощных кучевых облаков. Для понимания процесса образования осадков, в том числе и искусственным путем, следует представить себе механизм образования мощных кучевых облаков. По своему происхождению их можно разделить на две группы: нефронтальные (внутримассовые) и фронтальные, образующиеся на гребнях холодных фронтов.

Внутримассовые облака *Ci cong* образуются за счет восходящих потоков воздуха над более нагретыми участками местности. Гари, вырубки, мари, южные склоны, прогреваемые солнцем, имеют среднюю температуру поверхности значительно большую, чем прилегающие массивы леса. Прохладный влажный воздух с окружающих лесов скатывается к этим теплым участкам местности и, прогреваясь, быстро поднимается вверх. До тех пор, пока не наступит конденсация водяного пара, содержащегося в воздухе, температура воздуха с подъемом снижается на 1° на 100 м высоты. Но при конденсации пара происходит высвобождение огромного количества энергии. Когда 1 г пара с помощью ядер конденсации переходит в капельки воды, то высвобождается 600 кал тепла. Например, если принять площадь основания мощного кучевого облака 4 км², то это облако за счет конденсации паров воды получает дополнительно 280 тыс. ккал.

За 2--4 ч, которые проходят с момента зарождения до распада мощного кучевого облака, на его формирование расходуется примерно 10^6 квт энергии, т. е. столько же, сколько вырабатывает гидростанция по мощности, равная Красноярской ГЭС (Федоров, 1967). Высвобождающаяся энергия конденсации нагревает воздух и способствует дальнейшему его подъему в облаке, при этом воздух охлаждается не на 1° на 100 м, а значительно меньше—в среднем на $0,6^\circ$ на 100 м. На высоте 4500—5500 м рост облака обычно прекращается, так как температура облака и окружающего воздуха выравниваются.

Выше мы уже отмечали, что температура воздуха с высотой понижается (температурный градиент). Наибольшее падение температуры с высотой имеет место в послеполуденные часы, когда наблюдаются мощная вертикальная конвекция и образование кучевых форм облаков. При этом следует отметить, что мощные вертикальные потоки воздуха способствуют образованию в приземном слое горизонтальных потоков вихревого характера, способствующих интенсивному горению лесных пожаров и сильно затрудняющих их тушение. В ночные часы, наоборот, наблюдается повышение температуры с высотой (температурная инверсия), при которой не может быть конвекции и, следовательно, условий для роста облаков. Однако температурные инверсии могут наблюдаться и днем, например, когда в нижних слоях атмосферы располагаются холодные массы воздуха, а над ними проходят теплые воздушные течения. Такие инверсии чаще всего сопровождаются полным отсутствием облаков вертикального развития. Если все же они образовались в нижних слоях воздуха, то, достигнув слоя инверсии, обычно прекращают свой рост. При температурных инверсиях ночью и днем резко снижается интенсивность горения лесных пожаров, так как вертикальная «тяга» при этом отсутствует. Если мощный восходящий поток нагретого воздуха с парами воды пробивает слой инверсии, тогда облако растет выше и может достигнуть стадии кучево-дождевого.

До сих пор мы рассматривали свободные восходящие токи, порожденные температурным расширением воздуха в результате нагрева его теплой поверхностью земли. В условиях пересеченной местности может происходить

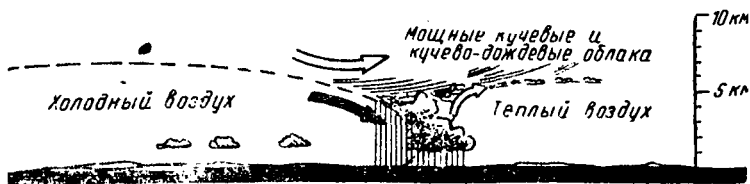


Рис. 5. Схема образования мощных кучевых и кучево-дождевых облаков на гребне холодного фронта

вынужденное поднятие влажного воздуха, если влажный ветер встречает на своем пути склон горы. Если это южный или юго-западный склон, нагретый солнцем, то поднятие массы воздуха происходит одновременно как за счет термического его нагрева, так и за счет вынужденного подъема по склону. Именно поэтому часто можно наблюдать, как при ясном, безоблачном небе вершины гор и сопки закрыты облаками.

Формирование мощных кучевых облаков на гребне холодного фронта происходит несколько иначе, хотя и здесь встречаются вынужденные поднятия воздушных масс. Очень часто в пожароопасный период теплые влажные воздушные массы южного или юго-западного направления встречают на своем пути холодные западные или северо-западные течения. Последние, как более плотные, внедряются снизу и как клин поднимают теплый воздух выше уровня конденсации (рис. 5). В данном случае наблюдается целая гряда мощных кучевых облаков, маркирующих границу холодного фронта. Иногда эти облака переходят в кучево-дождевые, дающие сильные холодные ливни.

ОБРАЗОВАНИЕ ОБЛАКОВ НАД ПОЖАРАМИ

В ясную, солнечную или малооблачную погоду над крупными лесными пожарами часто образуется мощная конвекционная колонка темно-серого цвета, заканчивающаяся облаком кучевого характера. Рассматривая конвекционные колонки с небольшого расстояния, можно видеть, как струи нагретого газа с продуктами горения быстро текут по невидимой трубе. В нижней части темного тела колонки можно иногда наблюдать «всполохи». Это продукты возгонки древесины в виде «пузырей», не успев сгореть у основания, сгорают на пути следо-

вания вверх. Если интенсивность пожара невелика, то колонка, достигнув слоя инверсии, замедляет свое движение вверх и дым от нее растекается во все стороны, образуя вершину в виде шляпки гриба. Если запас кинетической энергии в потоке нагретого воздуха настолько велик, что может пробить слой инверсии, то рост облака продолжается выше, и конвекционная колонка, как правило, заканчивается мощным кучевым облаком (рис. 6).



Рис. 6. Образование мощного кучевого облака над зоной горения крупного лесного пожара

Образование мощной кучевой облачности над лесными пожарами люди наблюдали еще в далекие времена. Известный французский специалист по экспериментальной физике атмосферы А. Дессенс (1969) в своей книге «Можем ли мы изменить климат?» пишет, что еще на гравюре Альбрехта Дюрера, выполненной в 1448 г. и изображающей горящий Вавилон, можно видеть пласты дыма, увенчанные белыми кучевыми облаками. Как указывает автор, это наиболее древнее изображение облаков, созданных человеком. Там же, ссылаясь на австралийского миссионера Добрицгоффера, он отмечает, что индейцы Парагвая наблюдали выпадение осадков из мощных кучевых облаков, образующихся над пожарами в прериях, и использовали это давление для борьбы с засухой. Комментируя эти сведения, А. Дессенс пишет, что это самое древнее свидетельство о преднамеренном вызывании дождя тем способом, который в настоящее время имеет научное обоснование. Дальше А. Дессенс приводит целый ряд исторических фактов, подтверждающих образование кучевых облаков над пожарами, часто сопровождающихся ливневыми дождями.

Мощные кучевые облака, сопровождающиеся ливнями, могут образоваться не только при лесных, а при любых пожарах, когда мощный тепловой поток поднимает большие массы приземного слоя воздуха.

Случай самоликвидации лесного пожара ливнем из облака, возникшего над самим пожаром, наблюдался 17 июля 1969 г. недалеко от слияния рр. Чуна и Бирюса (Красноярский край). В верхней части конвекционной колонки образовалось мощное кучевое облако, вершина которого достигала высоты примерно 6 км. При подходе самолета к пожару можно было наблюдать сильный ливень на очаг пожара, сопровождавшийся молниями. Других облаков в районе пожара не было. Осмотр пожара на следующий день показал, что он по всей площади был потушен осадками, и лишь на отдельных участках фронтальной кромки можно было заметить очаги горения.

В 1970 г. в пойме р. Ангары у г. Братска над крупным лесным пожаром верхового характера можно было наблюдать мощное кучевое облако, из которого вскоре пошел теплый крупный дождь, продолжавшийся более четверти часа. Облако по отношению к пожару было смещено на запад, поэтому часть осадков выпала в районе, удаленном от места пожара на 3 км. Как и в предыдущем случае образование облака над пожаром и выпадение дождя происходило при ясной, безоблачной погоде.

Наблюдения в районе р. Конго за двумя пожарами, над которыми сверкали молнии и лил дождь, привели А. Дессенса к идее создания метеотрона — устройства, с помощью которого за короткий период времени можно создать мощный восходящий поток, стимулирующий вертикальную конвекцию. Метеотрон А. Дессенса состоит из 100 горелок, в которые под давлением 60 кг/см^2 подается обычное топливо. При работе всех 100 горелок тепловая мощность метеотрона достигает 700 тыс. кВт., т. е. столько же, сколько приходится солнечной энергии на 1 км^2 земной поверхности.

В определенные синоптические ситуации, характеризующиеся наличием высококучевых или некоторых типов слоисто-кучевых облаков, обычно не дающих осадков, с помощью метеотрона создается мощное кучевое облако, которое быстро сливается с ними. Осадки из этого

облака выпадают примерно через час после запуска метеотрона.

Расчеты показывают, что, несмотря на огромный тепловой поток, создаваемый метеотроном, энергия его несравнима с энергией естественного образования кучево-дождевого облака и создать его только с помощью метеотрона практически невозможно. Следует помнить, что с момента зарождения такого облака до его распада затрачивается большая энергия.

Метеотрон А. Дессенса интересен тем, что его можно рассматривать как модель крупного лесного пожара, вызывающую те же синоптические явления. В дальнейшем А. Дессенс осуществил идею создания солнечного метеотрона. Сущность ее заключается в том, чтобы солнечную энергию, нагревающую отдельные зачерненные участки местности, превращать в энергию облачной конвекции. С целью проверки этой идеи в центре Конголесского котлована был найден участок пересохшей болотистой низины площадью 10 га, окруженной экваториальным лесом, температура над которым была на несколько градусов ниже, чем в низине, из-за большей теплоемкости леса и испарения. После выжигания растительности в низине ее почерневшая поверхность сильнее поглощала солнечные лучи, что в свою очередь привело к значительному повышению температуры воздуха над этой низиной и образованию восходящих конвективных потоков. Вскоре над низиной было замечено образование кучевых облаков, которые хотя и не привели к образованию дождя, но подтвердили правильность идеи создания солнечного метеотрона. Дальнейшие расчеты показали, что для образования дождящих облаков площадь зачерненной поверхности должна быть не менее 5 км², а характер зачернения обеспечивал бы сильное поглощение в видимой области спектра и слабое — в инфракрасной. Кроме того, для образования мощных кучевых облаков над солнечным метеотроном необходимо, чтобы поверхность его сильно облучалась солнцем, нижние слои воздуха имели значительную влажность, полностью отсутствовали или были слабыми ветры, местами были дожди конвективного происхождения. Образование над островами площадью свыше 5 км² конвективных облаков, из которых иногда выпадают осадки, подтверждают расчеты А. Дессенса.

ИСКУССТВЕННОЕ ВЫЗЫВАНИЕ ОСАДКОВ ИЗ ОБЛАКОВ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

Чтобы понять процесс искусственного вызывания осадков, прежде всего необходимо рассмотреть механизм их образования в естественных условиях.

Мы уже говорили, что вершины мощных кучевых облаков достигают большой высоты, где температура воздуха значительно ниже 0° . Облачные капли могут не замерзать до температуры -40° . Лишь небольшое число капель замерзает при минусовых температурах, более или менее равномерно распределяясь среди переохлажденных мелких капель. Такие облака называются смешанными. Механизм процесса образования осадков из смешанных облаков впервые описал шведский ученый Т. Бержерон (1951). Он считал, что упругость насыщения водяного пара относительно льда меньше, чем относительно переохлажденной воды при той же температуре. В результате этого возникает перенос водяного пара к ледяным частичкам, которые вскоре превращаются в ледяные кристаллы, достаточно большие, чтобы падать через облако. Падая, они сталкиваются с переохлажденными капельками, которые к ним примерзают. Ниже уровня нулевой изотермы они тают и превращаются в крупные капли дождя (рис. 7).

Наличие кристаллов в облаке Т. Бержерон объясняет как замерзанием части капелек, так и переносом их из других, более высоких облаков. В. Финдайзен (1951), развивая идею Т. Бержерона об образовании осадков, высказал предположение, что ледяные кристаллы возникают не за счет замерзания капелек, а вследствие сублимации водяного пара на особых ядрах сублимации. Под сублимацией в данном случае В. Финдайзен понимал переход воды из газообразного состояния в твердое, т. е. непосредственное выделение льда из влажного переохлажденного воздуха. Представленный здесь процесс осадкообразования из смешанных мощных кучевых облаков получил в дальнейшем название теории Бержерона—Финдайзена.

Первый крупный шаг в практическом решении задачи искусственного вызывания осадков был сделан в 1946 г. В. Шефером (1951), который, случайно вводя твердую углекислоту CO_2 в камеру, наполненную туманом,

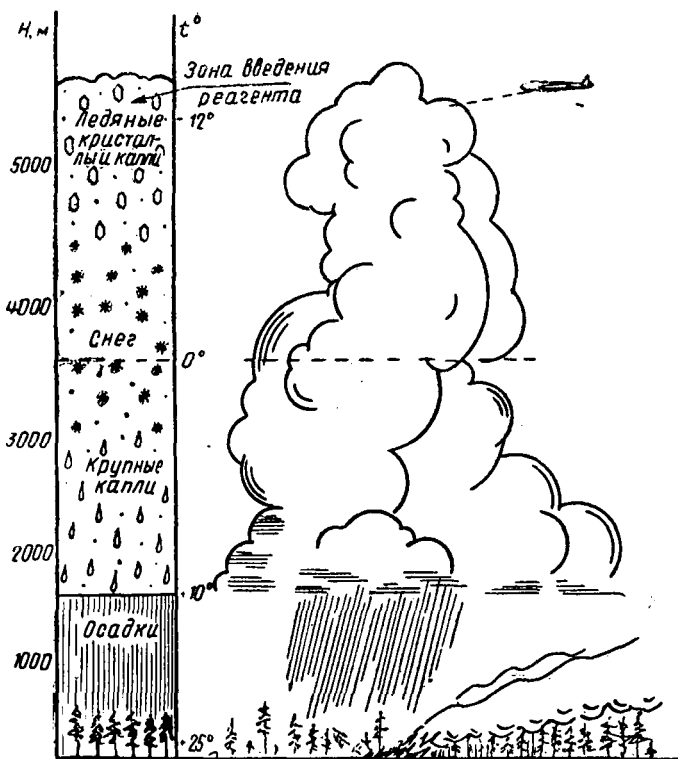


Рис. 7. Схема искусственного вызывания осадков из мощного кучевого облака

ном из переохлажденных капелек, увидел мгновенное образование в ней миллионов ледяных кристаллов. Этот опыт послужил доказательством механизма осадкообразования, описанного Т. Бергером, и положил начало широким исследованиям в направлении искусственного вызывания осадков.

Эффективность сухой углекислоты как кристаллизующего реагента В. Шефер проверил на целой серии переохлажденных облаков. При введении с самолета частичек углекислоты в переохлажденную часть облака наблюдалось явление кристаллизации и в целом ряде случаев из облаков шел дождь.

В 1946 г. Б. Воннегат (1951) нашел и испытал новый эффективный кристаллизующий реагент — йодистое серебро AgI , предварительно установив, что кристаллическая структура этого вещества весьма сходна с кристаллической структурой льда.

В дальнейшем был найден целый ряд кристаллизующих реагентов, из которых наиболее эффективными, наряду с указанными выше, оказались йодистый свинец PbI_2 и сернистая медь CuS (табл. 3).

Таблица 3

Характеристика основных кристаллизующих реагентов

Реагент	Химическая формула	Вид реагента	Выход ядер кристаллизации из 1 г вещества	Пороговая температура, °C
Сухая углекислота	CO_2	В гранулах	10^{16}	—4
Йодистое серебро	AgI	В пиросоставе	$2 \cdot 10^{15}$	—5
Йодистый свинец	PbI_2	В пиросоставе	$2 \cdot 10^{12}$	—7
Сернистая медь	CuS	Мелкодисперсный порошок	10^{10}	—6

Основными свойствами реагента, характеризующими его эффективность, являются выход ядер кристаллизации из 1 г вещества и его пороговая температура, т. е. та минимальная температура, при которой реагент вызывает кристаллизацию переохлажденных капель в облаке. В этом отношении наиболее эффективным реагентом является твердая углекислота. При температуре испарения $-78,9^{\circ}$ ее частички мгновенно превращают в лед все переохлажденные капельки воды, поэтому по механизму действия этот реагент принято называть не кристаллизующим, а хладореагентом.

Сухая углекислота перед введением в облака размельчается на частицы диаметром около 1 см. Ее сбрасывают из окна или люка самолета, расходуя 1—2 кг на 1 км пути. В настоящее время созданы специальные установки, дробящие крупные куски углекислоты и обеспечивающие полуавтоматический выброс ее с самолета в облако.

Йодистое серебро вводится в облака с помощью генераторов наземного и самолетного типов или с помощью специальных пиропатронов и ракет. В генераторах

йодистое серебро сгорает в пламени ацетона со скоростью 200—300 г/ч и выходит в виде аэрозоля-дыма. Наземные аэрозольные генераторы применяют для вызывания дождя над обширной, главным образом пересеченной местностью, используя для рассеивания реагента в верхних слоях атмосферы турбулентность воздушной массы. Самолетные генераторы обычно включают при проходе под основанием облака с таким расчетом, чтобы восходящий поток в центральной части доставил реагент в верхнюю, переохлажденную, часть облака. В нашей стране наземные и самолетные генераторы для активных воздействий не получили широкого распространения, поэтому мы не будем на них останавливаться.

Наиболее простым и технологически более надежным способом введения реагента в облако является выстрел горячей шашкой пиросостава из обычной ракетницы. Вес пиросостава активного дыма в пиропатроне калибром 26 мм составляет 30 г, в том числе активного вещества (AgI или PbJ_2) около 15 г. Дальность полета шашки по горизонтали не превышает 80 — 90 м, время горения 4—5 сек. Для увеличения дальности полета шашки до 1000 м и более и ее веса в последнее время стали применять патроны более крупного калибра, с небольшим реактивным двигателем. Простота и надежность конструкции этих патронов позволяют запускать их с борта самолета не только со специальных пусковых кассет, но и просто с руки.

Сернистая медь — химически чистый высокодисперсный порошок, обладающий высокими адсорбционными свойствами. При высокой температуре она легко спекается и разлагается, поэтому в пиросоставах ее применять нельзя. В облако вводится или путем распыления при проходе самолета сквозь его верхнюю, переохлажденную, часть, или путем сбрасывания сверху в облако специальных контейнеров со взрывным механизмом дистанционного действия.

В практике активных воздействий чрезвычайно важным является вопрос об оптимальном количестве реагента, которое необходимо внести, чтобы вероятность выпадения осадков из облака была наибольшей. К сожалению, четкого ответа на этот вопрос до сих пор не получено и дискуссия о нормах засева облака реагентами еще продолжается.

Определить оптимальное количество реагента, которое необходимо для вызывания из облачности с заданной мощностью определенного количества осадков, можно в том случае, если предположить, что каждая частица реагента превращается в каплю дождя.

По данным Н. С. Шишкина (1954), число капель N , которое должно выпасть на площадь S , чтобы количество осадков равнялось M , можно определить по формуле

$$N = \frac{MS}{\frac{4}{3}\pi\rho R^3},$$

где ρ — плотность воды;

R — радиус капли, мм.

Данные о минимальной затрате реагента на площадь 1 км² в расчете на 1 мм осадков, рассчитанные по этой формуле, приводятся ниже:

Радиус капель, мм	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Минимальное количество реагента, г/км ²	9,0	4,1	2,0	1,2	0,7	0,5	0,3	0,2

В расчетах принималось, что 1 г реагента выделяет 10¹² активных ядер кристаллизации, которые быстро и равномерно распределяются во всей переохлажденной массе облака. Разумеется, этот имперический расчет необходимого количества реагента не может быть положен в основу практики вызывания осадков в производственных условиях, так как требует предварительного определения размера частиц осадков в облаке, который в свою очередь зависит от вертикальной мощности облаков, их водности и вертикальных движений в них. Кроме того, не всегда может быть обеспечена равномерная концентрация реагента по всей площади. Поэтому в практике активных воздействий количество реагента увеличивают по сравнению с расчетным в несколько раз и придерживаются следующей нормы его расхода на уровне пороговой температуры: 10—14 г йодистого серебра (йодистого свинца) или 100—120 г сернистой меди на 8—10 км³ облачной массы.

Так как при понижении температуры выход активных ядер из 1 г вещества повышается, то при воздействии на самую верхнюю, переохлажденную, часть облака ниже пороговой температуры количество реагента может быть уменьшено.

Воздействие произведено успешно, если через 1,5—2 мин прекращается рост вершины облака (хотя, как мы увидим дальше, в некоторых случаях наблюдается обратная картина), появляются характерные провалы вдоль всей трассы полета шашки с пироставом, четкие очертания вершины становятся расплывчатыми, волокнистой структуры, присущей фазе кристаллизации. Косвенными признаками, подтверждающими факт кристаллизации вершины, служат оптические явления: «нижнее солнце» и радуга, хорошо наблюдаемые с самолета. «Нижнее солнце» наблюдается сверху на верхней границе облака и представляет собой отражение солнца в падающих кристаллах. Кроме яркого пятна, обычно наблюдается светлый столб вдоль направления на солнце. Наличие радуги под облаком служит доказательством выпадения из него осадков.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНЫХ И ОПЫТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РАБОТ ПО ТУШЕНИЮ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ИСКУССТВЕННО ВЫЗЫВАЕМЫМИ ОСАДКАМИ

Первый опыт по тушению лесного пожара искусственно вызванными осадками был произведен в нашей стране 28 мая 1968 г. П. А. Губиным при участии борт-аэролога Т. С. Застебы в Хабаровском крае недалеко от деревни Могда, Верхне-Вурейнского района.

Воздействие на облака производилось во второй половине дня с самолета ЛИ-2, оборудованного в варианте «Зондировщик». Помимо необходимых аэрологических приборов для измерения температуры и влажности наружного воздуха, самолет имел кислородное оборудование, обеспечивающее работу экипажа на высоте. После осмотра с самолета было установлено, что в спелом сосново-лиственничном насаждении действует крупный пожар площадью около 120 га, местами переходящий в верховой; на некотором удалении от основного очага действовали еще два пожара площадью свыше 30 га каждый.

Для воздействия были выбраны три облака мощностью от 4100 до 4600 м, ориентированные по отношению к пожару так, что охватывали очаги горения полукольцом. Воздействие было произведено выстрелами пиропатронов с PbJ_2 на высоте 4900 м при подходе самолета к самому облаку. В два облака было введено по три пиропатрона, а в одно — шесть пиропатронов при температуре переохлажденной части — 9° .

Осадки начали выпадать в среднем через 12 мин после воздействия и достигли ливневого характера через 20—25 мин, причем в одном из облаков они сопровождались разрядами молний. Продолжительность выпадения ливня установить не удалось. Но осмотр всех трех пожаров в тот же день, спустя 4 ч, показал, что они были полностью потушены осадками и лишь в двух точках были отмечены слабые полосы дыма. Таким образом, впервые была доказана практическая возможность тушения лесного пожара искусственно вызванным дождем, причем интенсивность горения и площадь пожара в данном случае не имели решающего значения.

Опыты в Хабаровском крае проводились до 5 июня. За семь дней было произведено 29 воздействий на облака различной мощности и температуры и лишь в нескольких опытах удалось эффективно потушить пожары. В большинстве случаев искусственно вызванные осадки или не попадали в зону горения, или попадали, но были настолько слабой интенсивности и продолжительности, что заметного влияния на процесс горения не оказывали. В итоге проведения этих работ стало ясно, что для получения практического эффекта необходимо отработать методику и, особенно, тактику активных воздействий, позволяющую с большей степенью вероятности «наводить» осадки на пожар.

В 1969 г. опыты по «дождеванию» лесных пожаров были продолжены в районе Приангарья Красноярского края, где сложилась напряженная пожарная обстановка. В период с 25 июня по 25 июля было произведено 40 опытов по искусственному вызыванию осадков, при этом общая площадь полностью или частично потушенных пожаров составила около 37 тыс. га.

Опыты, проведенные в Красноярском и Хабаровском краях в пожароопасные сезоны 1968—1969 гг., позволили выработать основные методические положения, кото-

рые в дальнейшем легли в основу всех инструктивных документов.

Полеты планировались на основании прогнозов облачной обстановки и фактической горимости в районе работ. При этом учитывалось, что максимального развития мощные кучевые облака чаще всего достигают к 14—15 ч местного времени. Перед вылетом тщательно анализировалась фактическая погода в районе работ, а также ее предполагаемое изменение в ближайшие часы. Решение на вылет принималось в том случае, если ожидалось развитие облаков типа *Cu cong* мощностью не менее 2 км. Если ожидалось приближение холодного фронта, как правило, сопровождающегося развитием мощных кучевых облаков, то уточнялось время его подхода к району, где действовали крупные лесные пожары. Вылет производился с таким расчетом, чтобы к моменту максимального развития кучевой облачности самолет был в намеченном районе работ. Полет до очага пожара осуществлялся на небольшой высоте по правилам патрульного полета. Если в районе пожара оказывалась подходящая для воздействий облачность, принималось решение о начале работ.

Перед набором высоты осуществлялся осмотр пожара для определения его линейных размеров, интенсивности горения, направления движения фронтальной кромки и т. д. Набор высоты производился по возможности до верхней границы облаков, при этом в бортовой журнал наблюдений записывались основные их характеристики: количество в баллах, форма, вид, характер развития, высота верхней и нижней границ, температура воздуха, положение нулевой изотермы. В дальнейшем эти данные позволяли определить критерии, обеспечивающие высокую вероятность вызывания «искусственного дождя». Чтобы вызванные из облаков искусственным путем осадки попали на очаг пожара, определяли расстояние L от точки воздействия до зоны горения с учетом скорости перемещения облаков v , времени от момента воздействия до начала выпадения осадков t_1 и времени от начала выпадения осадков до максимального из развития t_2 :

$$L = v(t_1 + t_2).$$

Скорость и направление движения облаков определяли двумя способами: через скорость ветра на высоте

3 км, где осуществляется перенос основной массы облаков, или по движению теней облаков на земле. Последний способ применяют, если самолет находится ниже основания облаков и небо закрыто облаками частично, с просветами. Время от момента воздействия до начала выпадения осадков t_1 было установлено опытным путем и в среднем составляло 12 мин. Время от начала выпадения осадков до максимального их развития t_2 , зависящее от мощности и водности мощного кучевого облака, характеризующих стадию его «созревания», находилось в пределах 10—20 мин.

Для большей вероятности попадания осадков на пожар воздействие производят не на одно облако, а на несколько, охватывая зону пожара подковой. В этом случае осадки не только тушат пожар, но в целях профилактики смачивают вокруг него большую площадь лесов, опасных в пожарном отношении.

Одной из важнейших методических задач при активных воздействиях на облака является отделение естественных процессов, протекающих в облаках, от процессов, вызванных в них искусственно. Осадки, выпадающие в районе проведения работ из кучево-дождевых облаков, могут быть приняты за эффект воздействия. В настоящее время разработано несколько методик определения фазового состояния облаков, например с помощью радиолокации. Радиолокатор с длиной волны сантиметрового диапазона позволяет отличать облака, предрасположенные к выделению осадков, от облаков, в которых процессы, определяющие образование дождя, уже идут интенсивно.

В наших опытах мы руководствовались следующим правилом: если осадки после внесения реагента в облако начали выпадать через 12—14 мин и в радиусе 25—30 км не имеется других дождящих облаков, то считали, что эти осадки были вызваны искусственным путем. Эта методика может быть не так строга, но важнейшей задачей опытов было не просто вызывать осадки из облаков, а вызывать их в нужное время и в нужном месте. При тушении лесных пожаров нет необходимости стремиться увеличить количество осадков на данной территории (хотя эта задача практически разрешима), важно перераспределить их по площади, ускорив выпадение над заданным районом, а не ждать, когда естест-

венные процессы, развивающиеся в облаке, приведут через какое-то время к ливню в стороне от объекта тушения.

Разработанные основные положения техники и тактики тушения лесных пожаров способом искусственного вызывания осадков необходимо было проверить на практике. В августе 1969 г. было решено провести опытно-производственную проверку нового способа на территории Якутской АССР, где действовали крупные пожары, охватившие свыше 100 тыс. га лесной площади.

Начало месяца в Якутии характеризовалось высокой температурой воздуха (до $+34^{\circ}$) и дефицитом влажности. 5—8 августа отмечалось увеличение облачности, в том числе кучевой, и местами выпадали осадки ливневого характера. Однако повлиять на горимость эти ливни не могли, так как вероятность их попадания на места пожаров была чрезвычайно мала. К середине месяца пожары охватили обширные лесные массивы.

Работы по воздействиям начались 17 августа на территории Алданского лесхоза. В этот день был потушен слабо действующий пожар на площади около 300 га в верховьях р. Б. Неакуй. Над ним в течение 3 ч дважды вызывались сильные осадки ливневого характера. На следующий день, 18 августа, таким же способом был потушен пожар на площади 3000 га, действовавший вдоль р. Тас-Хонку. После двукратного вызывания искусственных осадков над зоной горения осталось несколько дымовых точек, которые были дотушены на следующий день рабочими-десантниками и парашютистами-пожарными.

Аэрологическая группа 18 и 19 августа неоднократно вызывала искусственные осадки различной интенсивности над шестью крупными пожарами, горевшими вдоль р. Алдан между поселками Угоян и Томмот, и почти полностью потушила их. В эти дни выпадали естественные слабые или умеренные осадки пятнистого характера, однако заметного сокращения площади действующих крупных пожаров они не дали. Общее повышение влажности воздуха при сравнительно высокой температуре благоприятствовало в дальнейшем появлению мощных кучевых облаков. К вечеру 19 августа искусственно вызванными осадками были потушены Эмельджакский и Амбурджакский пожары на общей площади 1600 га и

частично крупный пожар на берегу р. Амга у устья р. Негучай. Работы по тушению крупных лесных пожаров продолжались 20, 21 и 22 августа до полной ликвидации горимости на территории Алданского лесхоза.

С 24 августа работы были продолжены сначала на территории Олекминского, а затем Ленского лесхозов. Здесь был проведен эксперимент по использованию для активных воздействий на облака самолета АН-2, широко применяемого авиалесоохраной. В течение 24 августа с этого самолета были вызваны осадки из облаков над зонами горения пожаров, площадью 5500 и 2800 га. Первый пожар был потушен, второй продолжал местами дымить. 25 августа группа приступила к тушению крупнейшего на территории Олекминского лесхоза Дальгейского пожара. Общая длина его действующей фронтальной кромки к этому времени составляла около 50 км. В течение дня самолет АН-2 трижды поднимался на высоту 4000—4500 м, каждый раз вызывая над районом пожара искусственные дожди с протяженностью зон выпадения до 25 км. Дальгейский пожар был полностью потушен 25 августа на площади 10 тыс. га, на остальной площади (3 тыс. га) остались лишь отдельные дымовые точки.

26, 27 и 28 августа работы были перенесены на территорию Ленского, Мирнинского и Витимского лесхозов и проводились с самолета ЛИ-2. В этот период искусственно вызываемыми осадками было ликвидировано восемь лесных пожаров различной интенсивности на площади 24640 га. Всего за период с 17 по 28 августа на территории Якутской АССР было потушено новым методом около 40 пожаров, из них 20 крупных на общей площади свыше 60 тыс. га.

Следует отметить, что фронтальные осадки, которые могли ликвидировать крупные пожары, начали выпадать над территорией Якутии лишь 3—5 сентября, т. е. неделю спустя. Таким образом, в итоге проведенных опытно-производственных работ были спасены от огня большие массивы леса.

Для практики тушения и для оценки эффективности самого способа важно знать, какое количество осадков может обеспечить полную ликвидацию лесного пожара. Наблюдения показали, что успех тушения зависит не от интенсивности горения, а степени заглубления огня в

торф или подстилку. Чем больше на единице площади горючего материала, способного к горению, тем большее количество влаги необходимо для ее смачивания до степени, при которой всякое горение прекращается. На

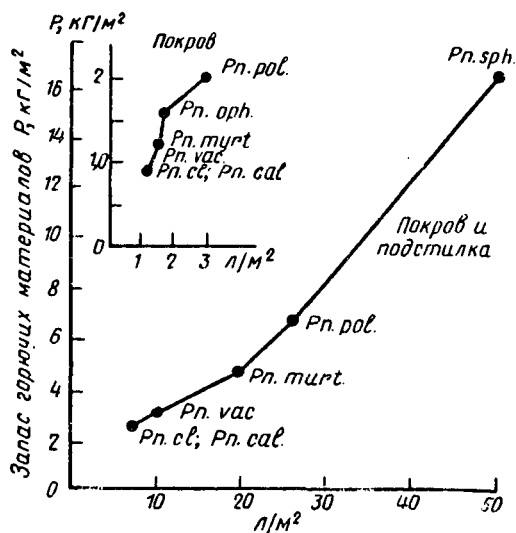


Рис. 8. Минимальное количество воды, необходимое для тушения горящего покрова и подстилки

рис. 8 приведено количество воды, необходимое для тушения лесных низовых пожаров в основных типах леса, которые в свою очередь характеризуются различным весом горючих материалов на единицу площади.

Данные получены для покрова и подстилки отдельно. Пожары, при которых горят только покров, сухая трава, сухие ветки, хвоя, листья, наблюдаются в основном весной, когда подстилка еще не просохла. Расход воды на тушение 1 м^2 горячей кромки таких пожаров в различных типах леса сравнительно невелик и колеблется в пределах от 1 до 3 л, что соответствует 1—3 мм выпадающих осадков. Отдельные замеры количества осадков, выпавших из одного облака после воздействия, не могут быть усреднены, так как они колеблются от 2—3 до 12 мм. Однако эти данные дают основание утверждать,

что весенние пожары могут тушиться искусственно вызванными осадками до полной их ликвидации. Этот вывод подтверждается описанными выше опытами, проведенными в 1968 г. в Хабаровском крае.

Как показывает график (см. рис. 8), при заглубившихся пожарах летом и осенью, когда горят покров и подстилка, количество влаги, необходимой для тушения огня, увеличивается по сравнению с весенними пожарами в 5—10 раз. В этом случае после выпадения осадков на пожар необходимо дотушивать оставшиеся очаги, обеспечивая полную его локализацию.

Следует отметить, что приведенные данные получены опытным путем для насаждений северо-западных районов СССР и поэтому могут служить лишь придержкой при оценке огнетушащего эффекта выпадающих осадков в восточных районах Сибири и Дальнего Востока.

Эффективность описанного способа тушения пожаров может быть выражена точностью попадания осадков на кромку пожара (табл. 4). Из 68 случаев в 43 искусственные осадки попадали частично или полностью в зону горения.

Ливни, на долю которых приходилась одна треть всех опытов, были самыми результативными, и погасили поч-

Таблица 4

Точность попадания искусственно вызванных осадков различной интенсивности на кромку лесных пожаров и эффективность тушения

Характер осадков	Осадки					Длина кромки, полностью или частично потушенной осадками, км			
	попавшие в зону горения			не попавшие	не установлено	всего	частично потушена	полностью потушена	проценты от общего количества
	количество опытов	частично	полностью						
Слабые	21	10	2	9	—	54,0	42	12	11,2
Умеренные	24	8	3	11	2	122,4	74	48,4	25,9
Ливневые	23	13	7	—	3	296,2	133	163,2	62,9
Итого	68	31	12	20	5	472,6	249	223,6	100

ти вдвое больше пожаров, чем умеренные и слабые осадки, вместе взятые.

Наблюдения показали, что нередко облако, двигавшееся до засева реагентами со скоростью 25—30 км/ч, через пять минут после введения реагентов уменьшало свою скорость до 8—12 км/ч, иногда почти останавливалось и в отдельных случаях даже изменяло направление своего движения. Это является одной из причин неполного попадания искусственных осадков на очаг горения. Механизм движения облака в атмосфере после воздействия на него пока еще мало изучен.

Для практики тушения лесных пожаров искусственными осадками важно установить те критерии, которые определяют вероятность выпадения осадков после засева облака реагентом. Как показали исследования, одним из таких критериев является вертикальная мощность облака, т. е. разность между высотами верхней и нижней границ. Было установлено, что чем больше вертикальная мощность облака, тем вероятнее успех вызывания из него осадков и их интенсивность. Данные, приведенные в табл. 5, наглядно подтверждают эту зависимость.

Таблица 5

Вероятность выпадения осадков в зависимости от вертикальной мощности облака, ΔH

Характер опытов	Число опытов при мощности облака, м										% общего числа опытов
	1700—2000	2001—2500	2501—3000	3001—3500	3501—4000	4001—4500	4501—5000	5001—5500	5501—6000	итого	
Всего	9	15	11	17	7	5	7	1	1	73	100
Сопровождавшиеся выпадением осадков	9	12	9	17	7	5	7	1	1	68	93,2
В том числе:											
умеренных	—	5	4	14	1	—	—	—	—	24	33,0
ливневых	—	—	2	1	6	5	7	1	1	23	31,5
слабых	9	7	3	2	—	—	—	—	—	21	28,7

Из 73 опытов в 68 из обработанных облаков осадки выпали. Около половины всех экспериментов падает на облака с ΔH от 2500 до 4000 м (35 опытов). Из таких облаков в 19 случаях вызывались умеренные осадки, в 9 — ливневые, в 5 — слабые и лишь дважды осадки не наблюдались. Заметим, что хотя при ΔH 1700—2000 м в девяти опытах осадки выпали 9 раз, однако все они были слабыми и непродолжительными и существенного влияния на тушение лесных пожаров не оказали.

Ливневые дожди давали облака с вертикальной мощностью, превышающей ΔH 3500 м (14 опытов). Ливни, вызванные из *Cu cong* с ΔH 2500—3500 м в девяти случаях были сравнительно кратковременными (40—50 мин) и неравномерными. Умеренные осадки были вызваны в 24 опытах (35,3%).

Если сравнить все девять пятисотметровых градаций облаков, подвергавшихся активному воздействию, то можно отметить, что четверть всех удачных опытов (17) падает на облака с ΔH 3100—3500 м, которые были самыми успешными и разнообразными по интенсивности. В этой группе 14 раз вызывались умеренные осадки, дважды — слабые и один раз — ливневые. В трех опытах воздействия производились на кучевые облака, образованные за счет конвективных потоков самого пожара. Их мощность не превышала 2500 м. Эти облачные образования отличались от естественных *Cu cong* не только своим внешним видом, но и малой водностью, обилием мелкодисперсных твердых частиц на единицу объема, недостатком переохлажденных частиц воды, находящихся в жидкой фазе, и, как правило, относительно высокой температурой по сравнению с окружающими слоями воздуха. Поэтому в двух случаях такие облака не давали осадков и только в одном они были слабые.

Следует отметить, что облаков с ΔH , превышающей 4000 м, за период проведения опытов наблюдалось значительно больше, чем можно предположить, анализируя табл. 5. Дело в том, что к облакам с мощным вертикальным развитием подходить на самолете типа ЛИ-2 небезопасно, поэтому эксперименты над ними не производились.

Потенциальные возможности осадкообразования облаков *Cu cong* хорошо определяются другим критерием — T_v , т. е. температурой на уровне воздействия.

Опыты показали, что чем ниже температура на уровне воздействия, тем вероятнее выпадение искусственного дождя. Эта зависимость частично показана ниже.

Температура на уровне воздействия, °C

—4,0 —5,0 —6,0 —6,5 —7,0 —7,5 —8,0 —8,5 —9,0 —10,0 —11

Число опытов

1 2 12 2 19 6 18 2 8 1 2

В том числе сопровождавшихся осадками

1 1 11 2 16 6 18 2 8 1 2

При понижении температуры на уровне воздействия не только возрастает вероятность выпадения искусственного дождя, но одновременно уменьшается расход реагента на единицу объема облачной массы. Как свидетельствуют приведенные выше данные, реагенты не дали ни одной «осечки» именно при температурах ниже -7° .

Поля выпадения осадков имеют форму эллипса или овала, вытянутых вдоль направления ветра. В связи с этим зоны искусственных осадков замерялись с самолета при пролете в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Длина зоны осадков одного облака колебалась от 3 до 30 км, ширина — от 2 до 18 км. В большинстве случаев (около 70%) длина составляла 4—14 км, а ширина 2,5—5,0 км. Их средние величины соответственно равны 12 и 3 км. Интересно отметить, что ширина зоны осадков почти всегда в 1,5—2 раза превышает средний диаметр *Cu cong*.

По продолжительности искусственные осадки резко отличаются друг от друга: от нескольких минут (полосы падения) до 2,5 ч. В ряде случаев количество выпадающих искусственных осадков значительно превышает первоначальные запасы влаги в облаке. Видимо, это можно объяснить, как пишут Г. Ф. Прихотько (1968) и другие авторы, тем, что кучевое облако действует как своеобразный генератор, вовлекающий в облако паровую влагу из окружающего воздуха. Конденсируя эту влагу, он отдает ее в виде дождя. По данным Г. Ф. Прихотько (1968), коэффициент регенерации *Cu*

cong в летний период составляет приблизительно 4,2 т. е. каждое облако в среднем дает осадков в 4,2 раза больше первоначального запаса воды в нем.

Средний объем кучевого облака мощностью 2,5—3 км для условий Приангарья (Красноярский край) составляет 9—10 км³. Если принять среднюю водность мощного кучевого облака 1 г/м³, то из него может быть получено около 9—10 тыс. т воды, а с учетом коэффициента регенерации 4,2 этот объем увеличивается до 37—42 тыс. т.

Значительное поле выпадения осадков и их ливневый характер позволяют, кроме тушения пожара, смачивать большую площадь лесов с целью противопожарной профилактики.

В 1970 г. при Центральной базе авиационной охраны лесов Минлесхоза РСФСР была создана специальная авиагруппа с четырьмя опытно-производственными авиазвеньями в Красноярском и Хабаровском краях, Иркутской области и Якутской АССР. В состав звена входили экипаж самолета-зондировщика (ЛИ-2 или ИЛ-14), летчик-наблюдатель и бортаэролог. За два пожароопасных периода (1970—1971 гг.) этими звеньями с применением указанного способа был потушен 71 крупный лесной пожар на общей площади около

Таблица 6

Результаты работ по тушению лесных пожаров искусственно вызываемыми осадками за 1970—1971 гг.

Оперативные звенья	Продолжительность горимости, дней	Число дней				Пожары, ликвидированные с помощью искусственных осадков	
		с полетами для воздействия	с мощной кучевой облачностью	с воздействиями над пожарами	Количество пожаров, над которыми были вызваны осадки	количество	площадь, га
Красноярское	123	79	55	42	45	25	5778,5
Иркутское	138	67	43	58	50	21	52695
Якутское	146	48	40	37	20	11	51770
Хабаровское	142	66	54	20	21	15	8853
Всего	549	260	192	157	136	72	119096,5

120 тыс. га. Всего искусственные осадки были вызваны на 136 пожаров (табл. 6).

Большинство пожаров было потушено за 7—8 дней до выпадения естественных фронтальных осадков, что позволило сократить срок их действия и сохранить большую площадь лесов от уничтожения и повреждения огнем. Расчеты показали, что если бы эти пожары не были ликвидированы, то они охватили бы площадь около 220 тыс. га. Условный экономический эффект за счет сбереженной древесины и сохранения сырьевых баз лесозаготовительных предприятий за два сезона опытно-производственной проверки составил 3,6 млн. руб.

В 1972 г. способ тушения лесных пожаров искусственно вызываемыми осадками внедрен на территории Красноярского края, Якутской АССР и Иркутской области на общей площади 35 млн. га. Одновременно планируется расширить область его применения и провести опытно-производственные работы на территории Забайкалья, Тюменской области и северных районов европейской части СССР.

Первоочередная задача авиазвеньев состоит в том, чтобы, максимально используя благоприятную метеорологическую обстановку, не допустить возникновения крупных лесных пожаров. Прежде всего внимание должно быть уделено охране лесосырьевых баз лесозаготовительных предприятий и целлюлозно-бумажных комбинатов и районам с наиболее ценными насаждениями. В Красноярском крае — это большие массивы приангарской сосны, в Иркутской области — леса, закрепленные за Братским лесопромышленным комплексом, и водоохранные леса оз. Байкал, в Хабаровском крае — сырьевая база Амурского целлюлозно-бумажного комбината.

Следует отметить, что описываемый способ тушения пожаров может быть применен только при соответствующей метеорологической обстановке. Поэтому усилия наземной и авиационной охраны должны быть направлены на предупреждение лесных пожаров, своевременное их обнаружение и ликвидацию на предельно малых площадях. В этой связи данный способ не исключает применения существующих способов борьбы с пожарами, а дополняет их.

АНАЛИЗ РЕСУРСНОЙ ОБЛАЧНОСТИ, ПЕРСПЕКТИВНОЙ ДЛЯ ВЫЗЫВАНИЯ ОСАДКОВ НАД ЛЕСНЫМИ ПОЖАРАМИ

Для оценки эффективности и перспективности способа тушения лесных пожаров искусственно вызываемыми осадками важно знать, как часто в течение пожароопасного сезона складывается облачная обстановка, благоприятная для вызывания искусственного дождя. Повторяемость дней с ресурсной (т. е. пригодной для воздействий) облачностью является важнейшей характеристикой эффективности применения нового метода и позволяет выделить районы, перспективные для его внедрения. Первым этапом исследований в этом плане явился анализ ресурсной облачности, проведенный на основе пятилетних наблюдений в районах Сибири и Дальнего Востока, где была наиболее высокая горимость лесов (Арцыбашев, Столярчук, 1971).

Из всех форм конвективных облаков перспективными для вызывания осадков являются мощные кучевые (*Cu cong*) и кучево-дождевые (*Cu nimb*), а также облачные системы, включающие обе эти формы. При наблюдениях обязательно отмечались эти облака при

Таблица 7

Число дней с перспективной для воздействия облачностью
по месяцам пожароопасного сезона (средние данные
за 1961—1965 гг.)

Метеорологические станции	Число дней с перспективной облачностью					%
	май	июнь	июль	август	за 4 месяца	
Тюменская	6,3	9,0	11,6	11,7	38,6	31
Ханты-Мансийская	4,7	5,9	6,8	10,1	27,5	22
Омская	9,0	10,4	11,6	13,4	44,4	36
Колпашевская	5,9	8,1	8,5	9,5	32,0	26
Новосибирская	2,6	5,4	4,6	5,4	18,0	15
Красноярская	7,8	12,6	15,0	12,0	47,4	38
Иркутская	5,6	8,2	10,6	7,8	32,2	26
Киренская	16,2	13,0	10,2	8,6	48,0	39
Якутская	6,6	8,0	6,6	4,4	25,6	21
Алданская	3,6	16,4	12,4	11,8	44,2	36
Читинская	5,4	9,4	10,8	9,0	34,6	28
Комсомольская-на-Амуре . .	10,6	10,6	6,0	8,0	35,2	29
Хабаровская	9,6	11,8	10,8	10,8	43,0	35
Магаданская	—	0,8	2,4	0,4	3,6	3

Таблица 8

Число дней с перспективной для воздействий облачностью
в засушливые периоды (III и IV классы пожарной опасности).
Средние данные за 1961—1965 гг.

Метеорологические станции	Число дней с перспективной облачностью					%
	май	июнь	июль	август	за 4 месяца	
Хабаровская	12	9	8	4	33	21
	2	3	1	1	7	
Комсомольская-на-Амуре	10	8	11	8	37	22
	3	3	2	—	8	
Якутская	11	20	22	26	79	19
	3	6	4	2	15	
Ханты-Мансийская	11	10	11	4	36	19
	2	2	2	1	7	
Красноярская	11	14	14	14	53	34
	3	7	6	2	18	
Омская	25	19	18	13	75	23
	6	4	4	3	17	
Алданская	—	7	12	12	31	26
	—	3	1	4	8	
Иркутская	19	14	12	8	53	15
	3	2	2	1	8	
Читинская	24	22	12	15	73	16
	2	5	3	2	12	

Примечание. В числителе — число дней с III и IV классами пожарной опасности, в знаменателе — то же с перспективной облачностью.

5 баллах и более нижней облачности; при такой ситуации вероятность успешного воздействия довольно высокая. Данные о распределении числа дней с облачностью таких форм по месяцам пожароопасного периода в различных метеорологических пунктах Сибири и Дальнего Востока приведены в табл. 7.

Как показывают данные табл. 7, наибольшее число перспективных для воздействия дней отмечается в районах Омской (44 дня), Красноярской (47), Киренской (48), Алданской (44) и Хабаровской (43) метеорологических станций. Среднее положение занимают Тюменская (38), Колпашевская (32), Иркутская (32), Читинская (34,6) метеостанции и районы, примыкающие к Комсомольску-на-Амуре. Менее перспективными следует считать районы Ханты-Мансийска, Новосибирска, Якутска и Магадана. Наиболее благоприятная ситуация для применения метода активного воздействия на облака складывается в июне и июле, хотя по ряду районов (Тюмень, Ханты-Мансийск, Омск, Колпашев) она наблюдается в августе. В мае, когда земная поверхность прогревается еще недостаточно, мощные конвективные облака возникают реже.

Для практических целей важно установить возможность применения метода искусственного вызывания осадков в наиболее засушливые периоды пожароопасного сезона. Как показали исследования (табл. 8), наибольшей засушливостью отличаются пожароопасные сезоны на территории Якутской АССР и Читинской области (соответственно 79 и 73 дня), наименьшей — Хабаровского края (36 дней) и район г. Алдана Якутской АССР (31 день с III—IV классом пожарной опасности).

Приведенные в табл. 8 данные показывают, что даже в самые засушливые периоды возникают ситуации, когда можно воздействовать на облака, чтобы вызвать из них осадки. Из четырех месяцев пожароопасного сезона август в этом отношении является наименее перспективным.

Наибольшую опасность представляют длительные периоды, когда естественные осадки не выпадают и отсутствует перспективная для воздействий облачность. Более часто такие бесперспективные периоды (5—10 дней) наблюдаются на востоке Хабаровского края в районе Комсомольска-на-Амуре, в центральной части Якутской АССР и южной части Иркутской области. Но в этих же районах значительно реже (1—2 раза в пять лет) наступают бездождные периоды (по 11—15 дней), когда пожарная ситуация очень напряженная (табл. 9). Лесные пожары возникают обычно не в начале, а в се-

**Частота наступления бесперспективных для воздействий
периодов за пятилетие (1961—1965 гг.)**

Метеорологические станции	Число периодов, бесперспективных для воздействий									
	май		июнь		июль		август		итого	
	5—10	11—15	5—10	11—15	5—10	11—15	5—10	11—15	5—10	11—15
Хабаровская	3	—	2	—	3	—	3	—	11	—
Комсомольская-на- Амуре	2	—	4	—	7	1	4	—	17	1
Якутская	3	—	4	—	3	1	7	1	17	2
Ханты-Мансийская*	5	—	1	—	4	—	—	—	10	—
Красноярская	3	—	2	—	—	—	3	—	8	—
Омская	—	1	2	1	2	—	—	—	4	2
Алданская	—	—	—	—	4	—	6	—	10	—
Бираканская	1	1	1	—	3	—	1	—	6	1
Иркутская	6	—	2	—	4	—	3	1	15	1
Читинская	—	1	1	—	—	—	3	—	4	1

* Данные за четыре года (1962—1965).

редине или в конце такого периода. В этом случае воздействовать на облака следует сразу же после появления конвективной облачности, не ожидая наступления теплых фронтов с обложными осадками.

Выше были приведены данные о ресурсной облачности безотносительно к лесным пожарам. Однако наибольший интерес для оценки эффективности метода представляют сведения о наличии перспективной облачности в период возникновения крупных лесных пожаров. Понятие «крупный лесной пожар» до сих пор не получило количественного определения. В отдельных районах Сибири и Дальнего Востока лесные пожары иногда охватывают площади от нескольких сотен до десятков тысяч гектаров. При наших исследованиях крупным пожаром считался всякий пожар размером 200 га и больше. Для западных районов страны эта величина будет другой, значительно меньшей, из-за большей ценности охраняемых лесов.

В 1969 г. средняя продолжительность действия крупных лесных пожаров на территории Приангарья составила в среднем 18 дней; два пожара действовали свыше

30 дней. В течение этого периода осадки над этими пожарами вызвали 12 раз, т. е. в среднем примерно каждый третий день. Однако протяженность кромки этих пожаров была настолько велика, что зона дождя, выпадающего из одного облака, захватывала лишь часть кромки. Кроме того, из-за напряженности пожарной обстановки в этот период не удалось своевременно высадить к этим пожарам наземные силы и средства для их локализации и дотушивания, и после воздействия на них осадками они через 4—6 дней вновь возобновлялись. Следует отметить, что облачная обстановка, позволяющая применять этот способ в указанном районе, по данным, полученным с патрульных самолетов, создавалась в среднем каждый второй день, однако из-за регламентных работ самолета-зондировщика и частой необходимости заправки оборудования кислородом она использовалась лишь в 30% случаев.

Менее благоприятные условия для вызывания осадков на территории Хабаровского края и особенно в районе г. Комсомольска-на-Амуре (табл. 10). В этом районе число дней, перспективных для воздействия, по отношению к общему числу дней с действующими крупными пожарами не превышает 28%. По-видимому, здесь сказывается близость района к морю, сдерживающему рост мощной конвективной облачности. По мере удаления от береговой черты количество мощных кучевых облаков заметно увеличивается (Биробиджанское оперативное отделение) и достигает 33%.

До сих пор окончательно не решен вопрос, как леса влияют на образование облачности и увеличение осадков.

В настоящее время на этот вопрос имеются два противоположных взгляда. Ряд исследователей придерживается мнения, что леса не могут оказывать существенного влияния на содержание воды в больших воздушных массах, так как основной запас парообразной воды поступает в конкретный район вместе с переносом теплого влажного воздуха с океанов и морей, как результат циркуляции влаги в атмосфере. Они утверждают, что леса являются следствием обильных осадков, а не причиной их образования. Другие считают, что леса увеличивают количество облачности и выпадающих осадков и создают условия для формирования более влажного

**Число дней с действующими пожарами, перспективных
для вызывания искусственных осадков (Дальневосточная
авибаза, 1962—1966 гг.)**

Оперативные отделения	Показатели	Число дней, перспективных для вызывания искусствен- ных осадков				Всего за че- тыре месяца
		май	июнь	июль	август	
Хабаровское	Дни с пожарами . .	17,6	16,4	11,6	1,6	47,2
	Из них с перспектив- ной облачностью	4	6	3,2	0,6	13,8
	То же, %	23	37	28	38	29
Комсомоль- ское-на- Амуре	Дни с пожарами . .	26,2	23	22,4	17,6	89,2
	Из них с перспектив- ной облачностью . .	9,4	5,8	5,6	3,8	24,6
	То же, %	36	25	25	22	28
Биробиджан- ское	Дни с пожарами . .	22	12,2	7,4	—	41,6
	Из них с перспектив- ной облачностью . .	5,8	4,6	3,4	—	13,8
	То же, %	26	38	46	—	33

климата. Разумеется, в данном случае речь идет об образовании только внутримассовой облачности при антициклоническом характере погоды. Влияние леса на облачность циклонического характера весьма проблематично.

При оценке роли леса в формировании облачности, по-видимому, следует придерживаться второго взгляда, основанного на том, что лес играет большую роль в круговороте влаги в атмосфере, является мощным транспиратором. Установлено, что средневозрастное

еловое насаждение в результате транспирации выделяет с 1 га площади около 17 т воды в сутки. Транспирация у лиственных лесов идет еще интенсивнее.

Американский ученый Ф. Зон (Zon, 1927), анализируя роль леса в образовании осадков, пишет, что леса увеличивают количество и частоту осадков на занимаемой ими площади; избыток осадков в лесу по сравнению с осадками на прилегающих безлесных площадях составляет в некоторых случаях более 25%. Влияние гор на осадки при наличии лесов увеличивается. В широких материковых долинах леса обогащают влагой проходящие над ними преобладающие воздушные массы и тем самым способствуют проникновению больших количеств влаги внутрь континента. Уничтожение таких лесов влияет на климат не только непременно той местности, где уничтожаются леса, но и более засушливых районов, в которые поступают массы воздуха.

Такого же взгляда придерживается В. Г. Нестеров (1949). Он считает, что лес «связывает» больше выпавших осадков и, следовательно, больше испаряет их в атмосферу, чем открытые места. Образовавшиеся в результате пары повышают влажность воздуха и способствуют конденсации новых атмосферных осадков. Он указывает, что атмосферное давление над лесом внизу повышенное, а сверху пониженное по сравнению с полем, что также содействует конденсации паров воздуха над лесом, образованию конвективной облачности и увеличению вероятности выпадения осадков.

А. И. Воейков (1963) в своей работе «Воздействие человека на природу» пишет, что испарение с поверхности почвы, растений обогащает воздух полезными парами, и эти пары диффузией и наличием восходящих и нисходящих конвекционных токов уносятся вверх, участвуя в формировании конвективной облачности. Этот пример убедительно показывает роль леса в облакообразовании и увеличении количества выпадающих осадков.

Опытами установлено, что местное увеличение облачности в конкретном районе можно обеспечить за счет профилактического смачивания лесной территории. Так, в результате вызывания осадков на больших площадях в районе Приангарья на следующий день над

этими площадями иногда вновь создавалась обстановка, благоприятная для развития мощных кучевых облаков, перспективных для воздействий. Следовательно, в результате такого, искусственно вызванного, круговорота влаги в атмосфере можно утверждать, что одна и та же капля воды дважды участвует в тушении лесного пожара. Однако этот вывод является предположительным, основан на отдельных наблюдениях и для своего обоснования требует дальнейших исследований.

ОЦЕНКА РЕСУРСНОЙ ОБЛАЧНОСТИ ПО ФОТОИЗОБРАЖЕНИЯМ С ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ (ИСЗ)

Одной из важнейших задач в совершенствовании способа тушения лесных пожаров искусственно вызываемыми осадками является разработка методики прогнозирования ресурсной облачности над зоной удаленных лесных пожаров. Существующие методы прогнозирования конвективной облачности несовершенны и не могут служить надежной основой для планирования вылетов самолетов на тушение лесных пожаров. Эта задача может быть решена с помощью фотоизображений местности, получаемых с искусственных спутников земли.

Основная задача современных метеорологических спутников — прослеживание облачности. Для этого на них установлены специальные телевизионные камеры, которые ведут съемку днем в видимых лучах, а ночью — в инфракрасных. Такие камеры имелись и имеются на спутниках советской экспериментальной метеорологической системы «Метеор» («Космос» — 122, 144, 156, 184), американских спутниках — «Нимбус», «Эссо», «Тайрос» и др. Телевизионная камера для дневной съемки облачного покрова в масштабе полушария установлена, например, на высокоорбитальном спутнике связи «Молния-1».

Получение телевизионных снимков на борту спутника, их передача на наземные пункты приема спутниковых данных и воспроизведение в виде фотографий, пригодных для анализа, осуществляются с помощью комплекса сложных электронных и радиотехнических средств, установленных на борту спутника и на Земле.



Рис. 9. Изображение облачности на снимке, полученном с искусственного спутника земли

Прежде чем использовать снимок для составления фотокарт облачности, на него при печати наносится сетка географических координат (рис. 9).

Совершенная система ориентации метеоспутника в пространстве и применяемые методы трансформирования получаемых снимков обеспечивают сравнительно высокую точность географической привязки телевизионных изображений облачности (в среднем 50 км). Точность географической привязки — один из основных параметров, определяющих ценность метеорологической информации, получаемой при интерпретации телевизионных снимков. Для определения местоположения облачных образований в районе действия крупных лесных пожаров требования к точности географической привязки могут быть снижены, так как размеры этих районов довольно обширны. В то же время размеры крупномасштабных облачных систем, например, атмосферных фронтов, имеют протяженность в несколько сот километров в поперечнике. Для обнаружения полей внутримассовых или орографических кучевых облаков

необходима более точная привязка к местности. Особенно важно это при анализе облачности в тех лесных районах, где существующая сеть наземных метеорологических станций еще редка и нет возможности уточнить состояние облачности по наземным данным.

Важнейшим этапом обработки телевизионной информации является метеорологический анализ или дешифрирование телевизионных изображений. В процессе дешифрирования необходимо отличать на снимках облака от открытых участков земной поверхности, определять количество, форму и структуру облачности. Для решения этой задачи был проведен опыт использования фотографий облачного покрова, полученных гидрометеослужбой по телеканалу с искусственных спутников земли. Достоинство этих материалов заключается в их оперативности: они получаются в течение нескольких десятков минут после прохождения спутника над точкой приема. Для анализа были отобраны фотографии Восточной Сибири и Дальнего Востока, полученные с ИСЗ преимущественно в те дни, когда проводилось воздействие на облака. Характер образования облачности на фотографиях сопоставлялся с данными кольцевых синоптических карт и бортжурналов, принимаемыми за эталон. Было проанализировано 41 изображение облачности над территорией Хабаровского и Красноярского краев и Якутской АССР за период май — июнь 1968 г. и июль — август 1969 г. При дешифрировании изображений облачности на фотографиях ИСЗ использовалась классификация, предложенная проф. К. Я. Кондратьевым (1964). По этой классификации скопления кучевых облаков прослеживаются в центральной части снимка в виде гранул. Мощные кучевые облака (наиболее перспективные для воздействий) хорошо видны как белые образования. При расстоянии между отдельными мощными облаками 10—30 км на снимке выявляются скопления облаков, а отдельные элементы не прорабатываются. Кучево-дождевые облака, относительно крупные по размеру, прослеживаются на снимке как яркие очаги диаметром около 10—40 км или как более крупные пятна до 100 км в поперечнике, если они расположены группами.

Дешифрирование изображения облачности показало, что снимки с ИСЗ дают довольно правильную и четкую

картину облачного поля. Только в некоторых случаях для определения точной формы облачности требовались дополнительные данные. Так, 8 и 12 июня 1969 г. по снимку можно было определить, что в районе воздействия наблюдается фронтальная облачность. Дополнительный анализ показал, что 8 июня 1969 г. в данном районе проходил теплый фронт (слоистая облачность), а 12 — холодный фронт (конвективная облачность). 26 и 27 августа 1969 г. в Якутской АССР было произведено воздействие на *Cu cong* и *Sb*, однако на снимках с ИСЗ в эти дни просматривались только плоские кучевые облака *Cu hum*. На картах же можно было отметить размытые малоградиентные поля и развитие конвективной облачности. Такое несовпадение объясняется тем, что спутник дает фотоизображение около 11 ч местного времени, когда конвективная облачность только начинает развиваться, поэтому на фотографии видны облака *Cu hum*. Воздействие же на облака производилось в момент максимального развития конвективной облачности, т. е. в 15—17 ч местного времени.

Особый интерес представляют телевизионные снимки, полученные в те дни, когда не было сведений о синоптической обстановке в районе воздействий. Тщательное дешифрирование и подробный анализ данных показали, что 5 июня 1968 г. в Хабаровском крае и 13 августа 1969 г. в Якутской АССР наблюдались благоприятные условия для воздействия. Данные боржурналов и вызванные искусственным путем осадки в эти дни подтвердили полученные выводы.

Таким образом, учитывая оперативность получения данных со спутников и их полную аналогию с данными бортаэрологов и синоптических карт, при определении перспективности района для воздействий целесообразно использовать телевизионные снимки облачности с ИСЗ. В этом случае точность анализа зависит от качества изображения на снимках и опытности дешифровщика.

В целях эффективного использования снимков ИСЗ для оперативного планирования полетов на воздействие необходимо, чтобы спутник проходил над районом работ в 13—14 ч местного времени, когда образование мощной кучевой облачности приближается к своему максимуму.

Решение вопроса обнаружения лесных пожаров с ИСЗ, их применение в охране леса от пожаров открывает очень широкие перспективы.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ ПО ВОЗДЕЙСТВИЮ НА ОБЛАКА С ПОМОЩЬЮ РАКЕТ, ЗАПУСКАЕМЫХ С ЗЕМЛИ

Способ активного воздействия на облака со специально оборудованных самолетов в настоящее время является наиболее эффективным, но в то же время имеет ряд существенных ограничений.

Прежде всего следует отметить, что полеты в непосредственной близости от мощных кучевых облаков не безопасны и хотя не противоречат наставлениям по производству полетов, принятым для руководства летной службой Министерства гражданской авиации, однако требуют от экипажа самолета предельной осторожности. Кроме того, экономически нецелесообразно и практически невозможно держать постоянно в воздухе самолет над районом крупного лесного пожара в ожидании подходящей метеорологической обстановки, а надежные и вполне удовлетворительные методы прогнозирования внутримассовых конвективных облаков, наиболее пригодных для вызывания над пожаром искусственных осадков, пока еще не разработаны. Отсюда вытекает настоятельная необходимость в разработке такого способа воздействия, при котором, используя благоприятную метеорологическую ситуацию в районе пожара, можно было бы вызывать осадки в любое время. Таким способом является воздействие на облака с помощью специальных ракет, запускаемых с земли. При решении ряда задач технического и тактического характера этот способ открывает возможность для резкого снижения затрат на проведение работ по активным воздействиям, подавляющую часть которых составляет аренда самолетов.

В последние 20 лет в СССР и за рубежом проводились широкие исследования по разработке и применению наземных средств доставки кристаллизирующих реагентов в облака и туманы. Были разработаны три способа: с помощью специальных ракет, безосколочных

снарядов зенитной артиллерии и наземных генераторов (Сулаквелидзе, 1967). В основном эти исследования были направлены на предотвращение градобитий сельскохозяйственных культур.

Разработкой наземных способов борьбы с градовыми процессами в нашей стране занимается ряд научных учреждений: Высокогорный геофизический институт (ВГИ), Центральная аэрологическая обсерватория (ЦАО), Закавказский научно-исследовательский гидрометеорологический институт (ЗакНИГМИ), Институт геофизики АН Грузинской ССР (ИГАН) и др.

По техническим требованиям института геофизики АН Грузинской ССР и ЦАО было разработано первое советское противоградовое изделие ПГИ, предназначенное для активного воздействия на облака с целью предотвращения выпадения града. В начале 60-х годов для той же цели были разработаны ракеты типа «Облако» и зенитные безосколочные снаряды «Эльбрус». В 1968—1970 гг. Институтом геофизики АН Грузинской ССР и Научно-исследовательским институтом прикладной химии был создан новый тип противоградовой ракеты «Алазань» в одноступенчатом и двухступенчатом вариантах.

На Кавказе, в Молдавии и Крыму созданы специальные отряды по охране сельскохозяйственных культур от градобитий. В 1970 г. охраняемая от града площадь достигла 2 млн. га.

Первые опыты по вызыванию искусственных осадков из мощных кучевых облаков с помощью противоградовых ракет были проведены в 1965 г. на базе Молдавской противоградовой экспедиции. Воздействие осуществлялось ракетами ПГИ-М на кучевые облака мощностью от 2,5 до 6 км при температурах на уровне воздействия реагентами от $+3$ до -6° и верхней границы облака от $-6,4$ до -21° . В качестве реагента применялась сернистая медь (CuS) и йодистый свинец (PbJ_2). Введение реагента в облако в основном производилось на нисходящей траектории полета ракеты на высоте от 2,4 до 3,6 км. В 10 опытах из 17 по воздействию на конвективные облака произошло выпадение осадков от слабых до сильных продолжительностью от 20 до 60 мин, при этом ширина зон дождя менялась в пределах от 3 до 6 км.

Аналогичные работы были проведены в 1968—1969 гг. на Самсароком опытно-экспериментальном полигоне (Кавказ). В качестве реагентов использовались мелкодисперсная соль и некоторые виды поверхностно-активных веществ. Реагенты вводились в облака мощностью от 2 до 6 км на нисходящей траектории полета ракеты ПГИ-М. Воздействия на конвективные облака приводили к выпадению осадков различной интенсивности и продолжительностью до 60 мин. Для наблюдения за результатами этих опытов использовался радиолокатор типа АРС-3, с помощью которого определялись радиолокационные параметры облаков, высоты верхней и нижней границ, скорость и направление движения облаков, производились расчеты для стрельб по облаку, а также наблюдались изменения его радиолокационных параметров после воздействия.

Сопоставляя цели и задачи противогорадовой службы с целями и задачами лесной охраны, можно сказать, что в методическом плане они не всегда совпадают и часто прямо противоположны. Во-первых, противогорадовая служба, воздействуя на облако, ставит своей основной задачей разрушить облако еще до образования в нем градового очага. При этом стимулирование осадков в виде дождя или мелкого града (крупы) имеет второстепенное значение. Главная же цель при тушении лесных пожаров заключается в воздействии на облака таким образом, чтобы из них выпадало максимальное количество осадков. Во-вторых, противогорадовая служба охраняет определенные, отграниченные в натуре площади, следовательно, все средства воздействия и наблюдения, которые она применяет в своей практике, являются стационарными.

При тушении крупных лесных пожаров искусственно вызываемыми осадками необходимо у каждого такого пожара создавать временный «ракетный» пункт со средствами воздействия на облака, наведения, наблюдения и связи. Разумеется, эти средства, доставляемые к отдельным лесным пожарам на вертолетах и самолетах, должны быть простыми и надежными в эксплуатации, легкими и предельно мобильными.

Было проанализировано пять типов средств доставки реагентов в облака, тактико-технические данные которых приведены ниже:

	«Эльбрус»	ПГИ-М	«Облако»	«Алазань» -2 ст.»	«Алазань» -1 ст.»
Диаметр, мм	100,0	82,5	125,0	82,5	82,5
Вес, кг	26,0	3,5	33,0	10,0	—
Длина, мм	—	410	2000	1420	932
Максимальная высота подъема, км	8,0	4,0	8,3	8,6	4
Максимальная дальность полета, км	12,0	5,2	12,0	11,6	—
Вес реагента, г	75,0	160,0	5100	1000	1000
Время диспергирования, сек . .	0	15,0	45	20	20
	(взрыв) }				
Расход реагентов, г/сек	75	10,0	110	50	50
Длина трассы диспергированного реагента, км	Локально	1,5	12,0	5,0	4,0
Количество ядер кристаллизации в 1 г вещества	$5 \cdot 10^{11}$	$4 \cdot 10^{12}$	$4 \cdot 10^{12}$	$4 \cdot 10^{12}$	$4 \cdot 10^{12}$
Общее количество ядер кристаллизации	$4 \cdot 10^{12}$	$6 \cdot 10^{16}$	$2 \cdot 10^{16}$	$4 \cdot 10^{15}$	$4 \cdot 10^{15}$
Цена изделия, руб.	177	76	1100	230	160

По тактико-техническим характеристикам наиболее полно отвечают поставленным задачам ракеты типа ПГИ-М и «Алазань» в одно- и двухступенчатом вариантах. Они выпускаются для противоголовоу службы большими сериями, имеют сравнительно небольшой вес и стоимость. Ниже приводится краткое описание этих изделий и пусковых установок к ним.

Ракета ПГИ-М (противоголовоу изделие модернизированное) — является одноступенчатой, неуправляемой, с пороховым двигателем. В головной части ракеты (рис. 10а) помещена шашка активного дыма; в очко головки ракеты ввинчивается дистанционная трубка, позволяющая устанавливать необходимое время начала выхода активного дыма. В корпусе ракеты размещены ликвидатор и разрывной заряд, при срабатывании которого корпус ракеты дробится на мелкие осколки, не представляющие опасности для людей, находящихся на земле. Двигатель ракеты обеспечивает ей поступательное и вращательное движение. Запуск двигателя производится через электрокапсюльный детонатор, вмонтированный в донную часть ракеты. Подключение ракеты

к пусковой установке осуществляется с помощью двух-полюсной электровилки.

Ракета «Алазань-2 ст.», состоит из головной части и двухрежимного двигателя (рис. 10в). Головная часть

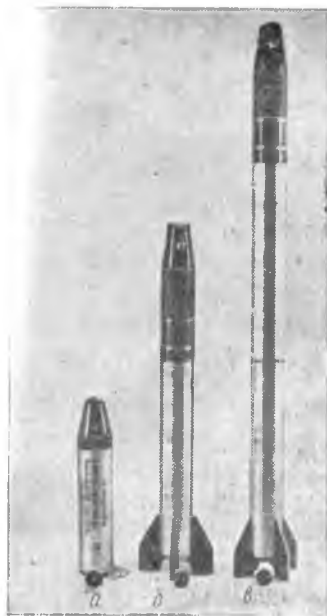


Рис. 10. Противораковые ракеты:

а — ПГИ-М, б — «Алазань-1ст.»,
в — «Алазань-2ст.»

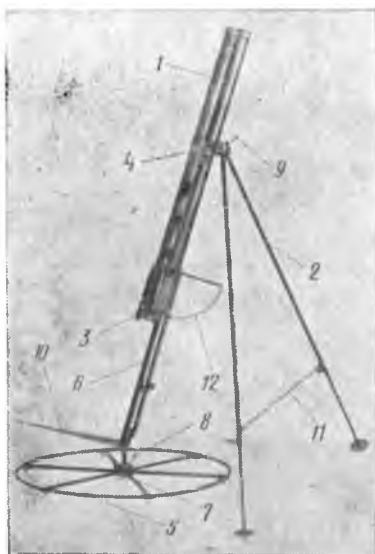


Рис. 11. Общий вид пусковой установки ПГИ-М:

1 — ствол; 2 — сошки; 3 — стопорное устройство; 4 — хомут; 5 — опорное кольцо с азимутальным кругом; 6 — направляющие; 7 — шаровое соединение; 8 — фиксатор; 9 — винт крепления сошек; 10 — стрелка; 11 — распорка; 12 — угломерное устройство

ракеты содержит дистанционную трубку, шашку активного дыма, донный дистанционный механизм и дно с шашкой разрывного заряда в случае отказа первой цепи ликвидации. Шашка разрывного заряда предназначена для подрыва корпуса ракеты на безопасные для людей осколки. Двухрежимный двигатель состоит из соплового блока, двух пороховых цилиндрических шашек и двух



Рис. 12. Общий вид пусковой установки для ракет типа «Алазань»

последовательно соединенных переходником камер, где находятся шашки пиротехнического состава. Для обеспечения устойчивого полета ракеты предусмотрено четыре пластмассовых пера, закрепленных на сопловом блоке.

Одноступенчатая ракета «Алазань-1 ст.» отличается от двухступенчатой ракеты только тем, что двигатель состоит из одной пороховой шашки (рис. 106).

Запуск двигателя ракеты «Алазань» осуществляется с помощью электрокапсюльной втулки, соединенной с электровзрывной машинкой КПМ-1 через колодку пусковой установки. Конструкция переносной одноствольной пусковой установки для ракет типа ПГИ-М (рис. 11) разработана ЛенНИИЛХ с использованием стволов от типовой четырехствольной установки. Пусковая установка состоит из ствола 1, сошек 2, стопорного устройства 3, опорного кольца 5 и направляющих 6.

Для наводки установки по азимуту на опорном кольце имеется азимутальный круг с делениями от 0 до 360°. Нужное направление пуска устанавливается с помощью стрелки 10.

Пусковая установка для ракет «Алазань» изготовлена с использованием направляющей от типовой уста-

новки и станины от заводских установок для ракет типа ПГИ-М. Пусковая установка «Алазань» (рис. 12) состоит из направляющей, вертлюга и колонки с основанием. В казенной части направляющей размещены стопорное устройство, предназначенное для удержания ракеты от выпадения и преждевременного схода, и штепсельные гнезда для подсоединения двухполюсной вилки электрокапсюльной втулки. Электрический импульс подается на пусковые установки от обычной взрывной машинки КПМ-1, широко используемой работниками авиационной охраны лесов при борьбе с лесными пожарами взрывным способом.

Для определения координат облаков, скорости и направления их переноса, а также качественного изменения в облаке после засева его реагентом использован самолетный радиолокатор с дальностью обнаружения мощных кучевых и грозовых облаков до 130 км. Антенна радиолокатора установлена на специальную станину высотой 2,5 м. Питание радиолокатора осуществляется от малогабаритной переносной электростанции постоянного тока. Вес всех блоков радиолокатора без станины составляет около 30 кг. Для связи ракетного пункта с патрульными самолетами и оперативными отделениями авиабаз применялись портативные радиостанции «Алмаз» и «РСО-5».

Опыты по тушению пожаров искусственно вызываемыми осадками с помощью противорадовых ракет проводились в июле—августе 1970—1971 гг. на территории Богучанского и Кежемского оперативных отделений Красноярской базы авиационной охраны лесов. С пункта воздействия устанавливалась прямая радиосвязь с аэропортами и оперативными отделениями, в зоне которых проводились данные работы. До 14 ч местного времени в аэропорты подавалась заявка на следующий день о сроках и месте проведения работ. В день производства работ, если прогноз и фактическое состояние погоды благоприятствовали проведению опытов, за 1 ч до начала пуска ракет подавалась радиограмма в соответствующие аэропорты о времени начала работ. Прогнозы погоды и данные вертикального зондирования атмосферы оперативная группа получала с метеостанций по каналам связи аэропортов или через радиостанции оперативных отделений.

Опыты по вызыванию осадков из облаков проводились не только в зонах действия крупных лесных пожаров, но и в районе с. Богучаны, где отрабатывалась методика наведения ракет на облака, изучались вопросы о необходимом количестве реагента для вызывания осадков из конвективных облаков и т. д.

Для успешного наведения осадков на зону горения крупного лесного пожара важное значение имеет выбор места для площадки для пуска ракет. Обычно площадка выбиралась в тыловой части пожара, в 8—12 км от фронтальной кромки, со стороны преобладающего в этом районе переноса мощных кучевых облаков. При таком размещении искусственно вызываемые осадки должны попадать на фронтальную кромку пожара в момент своего максимального развития, т. е. через 20—30 мин после внесения реагента в облако.

Если траектория движения облака проходила через пункт воздействия или на расстоянии не более 1,5—2 км и высота верхней границы не превышала 4000 м, то использовались ракеты типа ПГИ-М. Если траектория движения облака была удалена от рабочей площадки на расстояние 2—10 км, то применялась ракета «Алазань-2 ст.». Деления дистанционной трубки устанавливались исходя из траектории полета ракет, горизонтальной дальности до облака и высоты вершины верхней границы облака. В ряде случаев высота облаков и дальность до них определялись визуально. Наведение пусковых установок осуществлялось (особенно для ПГИ-М) методом прямой наводки при прохождении облака через огневой пункт с учетом траектории полета ракет при заданных углах. Пусковая установка наводилась на облако по определенным визуальным данным по высоте верхней границы и дальности.

После воздействия на облако проводились наблюдения за изменением его внешнего вида и фазового состояния, за высотой верхней и нижней границ и осадками. При наблюдениях использовались стереоскопический дальномер, радиолокатор и бинокль, с помощью которых отмечались начало появления кристаллизации вершины, изменение ее внешнего вида, визуально фиксировался момент появления видимой зоны осадков и велись наблюдения за дальнейшей эволюцией облака: изменением состояния нижней границы, появлением про-

светов в основании облака, изменением характера зоны отражения на экране индикатора, появлением зоны осадков и дальностью до нее и т. п. При наблюдении за осадками отмечались время начала их выпадения, продолжительность и интенсивность. При проходе зоны осадков через пункт наблюдения проводились измерения количества выпавших осадков. Наблюдения за осадками, выпадающими на фронтальную кромку пожара, проводили работники лесопожарных команд. Если после воздействия на мощное кучевое облако осадки не отмечались, то наблюдения велись за другими видимыми эффектами, в частности за распадом облака. Если в районе лесного пожара находились лесопатрульные самолеты или вертолеты, то экипажи их также вели наблюдения за результатами воздействия.

Длительность наблюдений была различной, но, как правило, они продолжались до начала отчетливого распада облака или прекращения выпадения из него осадков.

За период июль — август 1970—1971 гг. было проведено 18 опытов по воздействию на конвективные облака йодистым свинцом PbJ_2 , в том числе 15 опытов ракетами ПГИ-М и 3 опыта с использованием ракеты «Алазань-2ст.».

Введение реагента в облако, как правило, проводилось на восходящей траектории полета ракеты ПГИ-М на высоте от 2 до 4 км. Воздействия производились на кучевые облака мощностью от 1 до 3 км, при расчетной температуре на уровне воздействия от $+14$ до -14° . Расход реагента на одно облако при воздействии с помощью ракет ПГИ-М составлял 120 г. Только в одном опыте было проведено два пуска ракет в одно облако. Фактически в облако попадало меньше реагента, так как диспергирование йодистого свинца для ракеты ПГИ-М происходит на трассе длиной 1,5 км, а для ракеты «Алазань» — 5 км, поэтому часть реагента распылялась вне облака. Десять опытов было проведено в зоне действия крупных лесных пожаров, а остальные в районе с. Богучаны. Полученные результаты приведены в табл. 11.

Как видно из табл. 11, результаты опытов сводятся к следующему. Как известно, облаками, перспективными для воздействия с целью вызывания осадков, считают-

Результаты опытов по воздействию на облака с помощью ракет, запускаемых с земли

№ опыта	Дата проведения опыта	Время воздействия (местное)	Место проведения воздействия	Наименование изделия	Высота, км		Количество выпущенных ракет и вес реагента, г	Результаты наблюдений
					верхней границы	нижней границы		
1970 г.								
1	1/VII	11 ч 20 мин	Пожар № 16 в Богучанском оперативном отделении	ПГИ-М	—	—	1; 120	Слоисто-кучевое облако. Воздействие не привело к видимым изменениям
2	1/VII	12 ч 15 мин			—	—	1; 120	Слоисто-кучевое облако. Изменений в состоянии не обнаружено
3	9/VII	13 ч 40 мин			—	—	1; 120	Через 5 мин облако распалось на несколько отдельных частей
4	9/VII	15 ч 03 мин			—	—	1; 120	Через 3 мин отмечено появление просвета в нижнем основании. Через 10 мин облако распалось на несколько отдельных частей
5	14/VII	12 ч	Богучаны	ПГИ-М	—	—	1; 120	Заметных изменений в состоянии облака не отмечено
6	14/VII	12 ч 45 мин			3,2	2,0	1; 120	Воздействие не привело к видимым изменениям
7	15/VII	17 ч 20 мин			—	—	1; 120	Кучево-дождевое облако. До воздействия зона осадков была на расстоянии 4—5 км от точки пуска. Через 5 мин после воздействия появилась еще одна зона осадков до подхода основной.

№ опыта	Дата проведения опыта	Время воздействия (местное)	Место проведения воздействия	Наименование изделия	Высота, км		Количество выпущенных ракет и вес реагента, г	Результаты наблюдений
					верхней границы	нижней границы		
8	18/VII	12 ч 50 мин	Богучаны	ПГИ-М	3,2	2,0	1/120	Через 7 мин облако распалось почти полностью
9	18/VII	13 ч 13 мин			3,2	2,0	1/120	Через 2 мин отмечено начало рассеивания облака. Через 15 мин облако полностью распалось
10	18/VII	14 ч 35 мин			3,2	2,0	1/120	Через 15 мин облако полностью распалось
11	20/VII	11 ч 35 мин			4,2	1,5	2/240	Через 7 мин появились первые капли дождя. В 11 ч 46 мин сильный дождь. В 12 ч 15 мин отмечена очень сильная зона осадков. Продолжительность осадков около 1 ч
12	10/VIII	12 ч 15 мин	Пожар № 17 в Ванаварском оперативном отделе	ПГИ-М	3,0	1,0	1/120	На момент введения реагента отмечались отдельные капли дождя. Через 8 мин усиление осадков; дождь в пункте воздействия продолжался 5 мин. Выпало 1 мм осадков. Зона осадков сместилась в район кромки пожара. В 12 ч 45 мин наблюдения были прекращены

№ опыта	Дата проведения опыта	Время воздействия (местное)	Место проведения воздействия	Наименование изделия	Высота, км		Количество выпущенных ракет и вес реагента, г	Результаты наблюдений
					верхней границы	нижней границы		
13	10/VIII	12 ч 45 мин	Пожар № 17 в Ванаварском оперативном отделении	«Алазань-2 ст.»	4,0	1,0	1/1000	Воздействия на два одинаковых облака. Через 3 мин отмечено растекание и кристаллизация вершины. Через 8 мин отмечены полосы падения дождя. Нижняя часть облака стала рыхлой, лохматой. По данным работников лесопожарных команд, продолжительность ливневого дождя составляла около 1 ч
14	10/VIII	13 ч 20 мин	Пожар № 17 в Ванаварском оперативном отделении	ПГИ-М	2,5	1,0	1/120	Воздействие не привело к видимым изменениям Через 10 мин облако разрушилось. Остались отдельные небольшие хлопья
15	10/VIII	13 ч 45 мин			2,5	1,0	1/120	

№ опыта	Дата проведения опыта	Время воздействия (местное)	Место проведения воздействия	Наименование изделия	Высота, км		Количество выпущенных ракет и вес реагента, г	Результаты наблюдений
					верхней границы	нижней границы		
1971 г.								
16	29/VII	13 ч 56 мин	р. Каменка, пожар № 10	ПГИ-М	—	—	1/120	С 14 ч 10 мин до 14 ч 35 мин слабый дождь на пункте воздействия
17	30/VII	16 ч 01 мин		«Ала-зань-2 ст.»	3,6	—	1/1000	16 ч 08 мин — первые капли дождя, 16 ч 14 мин — слабый дождь, 16 ч 10 мин — резкая граница зоны осадков в секторе 15° при дальности 4 км, 16 ч 20 мин — зона осадков на расстоянии 4 км
18	30/VII	17 ч 15 мин			3,4	—	1/1000	17 ч 25 мин — на удалении 10 км зона осадков над пожаром в течении 1 ч

ся те, у которых мощность не менее 2 км при температуре верхней границы облака —6° и ниже.

Опыты № 1—10 были проведены с целью испытания пусковых установок и отработки методики наведения ракет в облако. Четыре опыта (№ 1—4) проводились в зоне действия крупного лесного пожара № 16 площадью 1000 га в течение 12 дней.

При первых же пусках ракет были выяснены трудности визуального наведения, так как траектории полета ракеты представляют собой не прямую линию, а параболическую кривую. Кроме того, за время между наведением и пуском (1—2 мин) облако смещалось на некоторое расстояние, и ракета проходила через его край. Из-за отсутствия облачности нужных параметров в районе пожара положительных результатов не было получено.

С 14 июля по 3 августа работы проводились в районе с. Богучаны. 15 июля проведено воздействие на облако, двигавшееся впереди гряды кучево-дождевых облаков. Зона осадков из этой гряды наблюдалась на расстоянии 4—5 км от пункта воздействия. Через 5 мин после воздействия было отмечено появление хорошо выраженной зоны осадков из облака. Наблюдения за этой зоной осадков продолжались в течение 20 мин и были прекращены из-за подхода основной зоны кучево-дождевых облаков.

В опытах № 8—10, проведенных 18 июля, воздействия проводились на кучевые облака мощностью 1—1,2 км и температурой на верхней границе 0—1°. После воздействия через 8—15 мин облака полностью разрушились, в то время как контрольные облака оставались без изменения.

При проведении опытов выяснилось, что визуальное наведение пусковых установок ПГИ-М лучше всего проводить так, чтобы ось ствола была направлена в центр основания, а траектория полета ракеты ПГИ-М совпала с направлением движения облака. При этом даже при попадании ракеты в тыловую часть основания во время своего полета она проходит через вершину облака и вносит в нее реагент.

Рассмотрим более подробно условия и результаты опыта № 11, проведенного 20 июля. В этот день погода Приангарья, по данным кольцевых синоптических карт,

обуславливалась слабовыраженной областью повышенного давления. В районе метеостанции Богучаны началось интенсивное развитие облаков кучевых форм. Облако, на которое проводилось воздействие, смещалось в северо-восточном направлении. Верхняя граница его достигала высоты 4,2 км и была измерена с помощью дальномера при нахождении облака от пункта наблюдений на расстоянии 10 км. Нижняя граница облаков, по данным, полученным с бортов самолетов, располагалась на высоте 1,5 км. По результатам утреннего (7 ч по местному времени) зондирования изотерма -7° находилась на высоте 4 км. Облако было изолировано от других кучевых облаков. Вершина была плотной, без признаков кристаллизации; осадков не наблюдалось. Нижняя граница облака была четкой и ровной.

Воздействие было произведено в 11 ч 35 мин с помощью ракеты ПГИ-М, запущенной в облако под углом возвышения 80° . На высотах от 3,5 до 4 км было внесено 120 г йодистого свинца. Температура воздуха на этих высотах соответственно была от -3 до -7° . Через 7 мин после воздействия были зафиксированы первые капли дождя. В 11 ч 46 мин был произведен пуск еще одной ракеты ПГИ-М в это облако, но уже при большем угле возвышения (85°). Облако после начала выпадения дождя изменило направление движения и стало двигаться на восток. На пункте воздействия слабый дождь продолжался до 12 ч 06 мин. В дальнейшем зона осадков сместилась на восток. В 12 ч 15 мин отмечена очень сильная зона осадков, которая наблюдалась до 12 ч 50 мин.

С 6 августа опытные работы проводились в зоне действия крупного лесного пожара № 17 на территории, охраняемой Ванаварским оперативным отделением (бассейн р. Подкаменная Тунгуска). Погода в этот период обуславливалась слабовыраженной циклонической деятельностью на арктическом фронте, наблюдались довольно низкие дневные температуры ($15-18^{\circ}$), временами проходили слабые осадки. Развитие конвективной облачности не наблюдалось до 10 августа.

По данным утреннего зондирования, 10 августа суммарный дефицит влажности на трех уровнях (800, 700 и 500 м) составлял 8 мб. По полученному из метеостанции Кежма прогнозу, в этот день ожидалось разви-



Рис. 13. Пуск ракеты «Алазань-2ст.» в облако

тие мощной кучевой и кучево-дождевой облачности. Нулевая изотерма располагалась на высоте 2000 м, а изотерма -7° на высоте 2900 м. К 11 ч местного времени было отмечено развитие мощных кучевых и кучево-дождевых облаков. Нижняя граница наблюдалась на высоте 800—1000 м, а вершины облаков достигали высоты 3000 м. При прохождении некоторых облаков над пунктом воздействия наблюдались отдельные капли дождя.

Первый пуск ракеты ПГИ-М (опыт № 12) был проведен в 12 ч 15 мин. Через 8 мин после воздействия произошло усиление осадков; интенсивный дождь продолжался 5 мин. Выпало 1 мм осадков. В этом опыте диспергирование реагента осуществлялось с 2400 до 3000 м. Зона осадков при движении облака в сторону фронтальной кромки пожара визуально наблюдалась в течение 15 мин после прекращения дождя на пункте воздействия. Дальнейшие наблюдения были прекращены из-за подготовки к следующему опыту.

В 12 ч 45 мин было проведено воздействие (опыт № 13) на мощное кучевое облако, которое располагалось в 6—8 км от пункта наблюдения. Облако имело две хорошо выраженные вершины, которые были плотными, без признаков кристаллизации; зоны осадков

под облаком не наблюдалось. Верхняя граница облаков, определенная визуально, располагалась на высоте 4,0—4,5 км. Пуск ракеты «Алазань-2 ст.» был произведен под углом возвышения 55° , установленным исходя из визуального определения высоты облаков (рис. 13). После пуска ракеты был отчетливо виден след полета ракеты и ее прохождение через обе вершины облака. Через 5 мин после воздействия были заметны первые признаки кристаллизации вершины; края ее стали менее четкими и плотными и начали растекаться. В 12 ч 55 мин под облаком были отмечены полосы падения дождя и началось расслоение нижней границы. Через 20 мин после момента воздействия облако подошло к фронтальной кромке пожара. По данным работников авиационной охраны лесов, находящихся на этом пожаре, в зоне горения с 13 ч пошел сильный ливневый дождь, продолжительностью около 1 ч, которым пожар был притушен.

В 13 ч 30 мин было проведено еще одно воздействие (опыт № 14), но ракета ПГИ-М из-за плохого визуального наведения прошла через край основания облака и реагент не попал в облако. Поэтому никаких изменений в облаке не было отмечено.

Опыт № 15 был проведен по мощному кучевому облаку с параметрами, определенными визуально; верхняя граница облака располагалась на высоте 2000—2500 м. Вершина облака была плотной, без признаков кристаллизации, осадков не наблюдалось. Нижняя граница облака располагалась на высоте 800—1000 м и была ровной и четкой. В 13 ч 45 мин с помощью ракеты ПГИ-М на высоту 2200—2500 м было введено 120 г йодистого свинца. Через 3 мин было отмечено начало рассеивания облака. В 14 ч был зафиксирован полный распад облака.

Из сказанного выше следует, что осадки из облаков выпадали в тех случаях, когда мощность облаков превышала 2 км. Через 7—12 мин наблюдалось выпадение из облаков отдельных капель, еще через 9—15 мин дождь усиливался. Максимальная продолжительность выпадения осадков превышала 60 мин.

В 1971 г. было проведено только три опыта. В опыте № 16, проведенном 29 июля 1971 г., облако проходило через пункт воздействия своей западной периферий-

ной частью. Пуск ракеты был произведен так, что траектория ее полета прошла через центральную часть облака. Через 14 мин пошел слабый дождь, который продолжался в течение 25 мин. В дальнейшем облако прошло пункт воздействия и осадки прекратились.

В опытах № 17 и 18 использовались ракеты «Алазань-2 ст.». 30 июля в 16 ч 01 мин был произведен запуск ракеты «Алазань-2 ст.» по облаку, которое проходило южным курсом относительно пункта воздействия. В момент внесения реагента облако находилось на расстоянии 7,1 км и вершина его располагалась на высоте 3,6 км (по данным РЛС). Через 9 мин на экране РЛС появилась зона отражения на удалении 4 км, что свидетельствует о начале выпадения осадков. В 16 ч 14 мин на пункте воздействия пошел слабый дождь, который продолжался 16 мин. Но основная зона осадков из облака прошла на некотором удалении от пункта. Визуально и по РЛС она наблюдалась до 16 ч 55 мин. В 17 ч 15 мин облако, которое перемещалось в сторону лесного пожара, было подвергнуто воздействию с помощью ракеты «Алазань-2 ст.». В 17 ч 25 мин на удалении 10 км по экрану индикатора РЛС появилась зона осадков, которая просматривалась по РЛС в течение 1 ч над лесным пожаром.

В итоге проведения этих опытов доказана принципиальная возможность тушения крупных лесных пожаров осадками, вызываемыми из облаков с помощью ракет, запускаемых с земли.

Было установлено, что наиболее совершенным средством доставки реагента в облако с земли является противорадовая ракета типа «Алазань» в одно- и двухступенчатом вариантах. Пусковая установка для ракеты «Алазань» отвечает основным тактико-техническим требованиям, проста по устройству и надежна в эксплуатации.

Первый опыт использования метеорологических ракет и пусковых установок к ним для активного воздействия на облака с целью тушения крупных лесных пожаров искусственно вызываемыми осадками показывает их перспективность и эффективность, однако в силу относительно малой мобильности ракетный способ воздействия не может заменить самолетный и его следует рассматривать лишь как дополнение к нему.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ ОСАДКАМИ

Как уже указывалось выше, искусственно вызванные осадки не всегда могут полностью потушить лесной пожар. Муравьиные кучи, старые пни, валеж, а местами подстилка продолжают гореть десятки дней, создавая угрозу нового возобновления пожара. Поэтому доушивание очагов на кромке и окарауливание пожаров до сих пор являются необходимыми операциями, отвлекающими в самый напряженный период большое количество рабочей силы.

Обычно окарауливание пожара продолжается до фронтальных осадков, полностью ликвидирующих горимость в лесу. Непотушенные участки кромки можно обнаружить по дымовому облаку над ними. Однако в лесу часто можно наблюдать беспламенную фазу горения или то, что мы часто называем тлением. Если горючие материалы сильно высохли, то они могут тлеть без выделения пара, дыма и обнаружить такие очаги невооруженным глазом чрезвычайно трудно.

Если кромка крупного пожара имеет протяженность несколько десятков километров, то качественное окарауливание его становится трудновыполнимой задачей, так как требует большого количества рабочей силы и техники.

Визуальное наблюдение дыма на фоне различных элементов лесного ландшафта осуществляется в видимой области спектра (0,4—0,7 $\mu\text{м}$) при максимуме чувствительности глаза человека 0,55 $\mu\text{м}$, т. е. в зеленых лучах спектра. Однако при всем совершенстве человеческого глаза визуальный метод наблюдений, основанный на сравнении различных яркостей объектов, имеет крупные недостатки. Глаз может только приблизительно оценивать различие в световых потоках и в случае малого яркостного контраста не различать их. Тем более разность в температуре двух нагретых тел глаз человека воспринять не может. Отсюда вытекает необходимость создания принципиально нового, технически совершенного метода, позволяющего обнаруживать очаги горения по их тепловому излучению, свойственному для всех нагретых тел. Таким методом, уже в значительной степени разработанным для других целей,

является инфракрасная (ИК), или тепловая аэросъемка, основанная на регистрации теплового излучения элементов ландшафта в интервале $1,8\text{—}14\text{ мкм}$, где имеются два атмосферных окна пропускания $1,8\text{—}5,3$ и $8,0\text{—}14\text{ мкм}$.

Максимум спектрального излучения элементов земной поверхности, нагретых до обычной температуры (25°), находится вблизи 10 мкм , для аномально нагретых объектов ($100\text{—}500^\circ$) он сдвигается к $7\text{—}3\text{ мкм}$. Таким образом, для регистрации умеренно нагретых элементов ландшафта лучше использовать интервал спектра $7\text{—}14\text{ мкм}$, где излучается максимальное количество энергии; для аномальных «горячих» объектов, к которым можно отнести и скрытые очаги горения, предпочтителен интервал $1,8\text{—}5,3\text{ мкм}$. Это связано с тем, что для данных объектов значительная часть энергии излучается в первом окне, кроме того, использование для регистрации первого окна обусловлено значительно большей простотой создания ИК-аппаратуры. Однако следует отметить, что регистрация излучений объектов земной поверхности во всем интервале $1,8\text{—}5,3\text{ мкм}$ не является в ряде случаев оптимальной. В основном это определяется условиями съемки и поставленной задачей. Например, при поисках значительных очагов огня (больше нескольких квадратных метров) в условиях солнечного освещения для ослабления его влияния более удобно использовать спектральный интервал $4,2\text{—}5,3\text{ мкм}$.

Для регистрации теплового излучения ландшафта используется специальная электронная аппаратура, преобразующая невидимое инфракрасное излучение в видимое на экранах электроннолучевых трубок, которое затем фотографируется на пленку (рис. 14). В качестве чувствительного элемента используется фотоэлектрический приемник, регистрирующий инфракрасное излучение в малом телесном угле γ . Продольная развертка осуществляется за счет поступательного движения самолета, поперечная — за счет вращения приемного элемента (зеркала), который обегает или сканирует местность в пределах определенного угла обзора α ($60\text{—}120^\circ$). Фотографирование экрана обычно производится на «бегущую» пленку, скорость которой синхронизирована со скоростью самолета (Шилин и др., 1969).

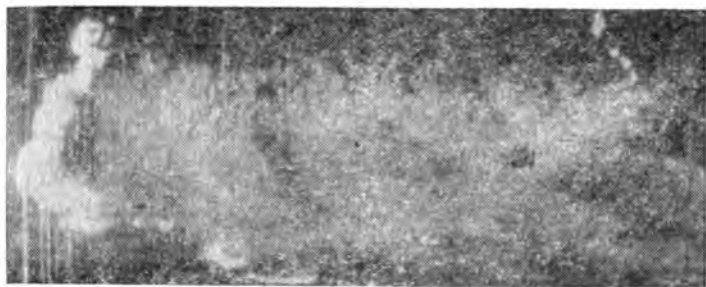


Рис. 14. Аэроснимок лесного пожара, полученный в инфракрасных лучах

При использовании ИК-аэросъемки на службе охраны леса можно решить две основные задачи: обнаружение «скрытых» очагов огня на кромке пожара после тушения его осадками и картирование в условиях сильного дыма (когда визуальные воздушные и наземные методы контроля неэффективны) контуров крупных пожаров; определение интенсивности и скорости их горения, обнаружение новых очагов загорания вне главного периметра. В обоих случаях значительно увеличивается эффективность противопожарных мероприятий за счет правильного распределения техники и людей, что позволяет быстро ликвидировать лесной пожар.

Специфическим устройством, характерным только для ИК-системы поиска лесных пожаров, является дискриминатор цели. С его помощью производится амплитудная селекция сигналов от нагретых небольших очагов зарождающихся пожаров. Сигналы отфильтровываются от сигналов большей длительности и меньшей амплитуды, свойственных для различных элементов ландшафта.

В США проведены эксперименты по выявлению параметров, влияющих на эффективность обнаружения малых «скрытых» очагов огня (Шилин и др., 1969). Объектами изучения были наиболее характерные типы леса с различным расположением объектов, имитирующих очаги загорания (баки с горящим древесным углем). Оказалось, что эффективность обнаружения зависит в первую очередь от характера «скрытого» очага огня, угла обзора и маскирующего влияния крон и

стволов деревьев. Определенная зависимость получена для угла обзора: эффективность обнаружения резко падает при значениях угла $\alpha/2 = 50-60^\circ$, когда экранирование очага происходит за счет древесных стволов.

Американскими учеными проведено также самое общее разделение типа леса по «трудности» обнаружения «скрытых» пожаров. К первому типу, где обнаружение наиболее просто, относятся, например, сосна пондерозовая (*Pinus ponderosa* Laws.), сосна дугласова (*Pinus contorta* Daugl.), осина (*Populus* L. opp.), ель аляскинская (*Picea glauca* Voss.), к третьему — северные лиственные породы, пихта дугласова (*Tsuga heterophylla* Sagr.). К промежуточному типу относятся дуб, ель Энгельмана (*Picea engelmannii*), сосна белая (*Pinus monticola* Dougl.) и др.

Наименее изученными оказались характеристики «скрытых» пожаров (размеры, интенсивность и длительность горения и т. д.), хотя именно они определяют параметры дискриминатора целей для автоматического выделения «пожарных» сигналов. Несмотря на это, использование данных дискриминатора совместно с ИК-изображением увеличило эффективность обнаружения скрытых пожаров.

Значительная экономия средств получена при опытно-производственных работах с ИК-аппаратурой в 1967 г. на территории трех штатов США. По самым скромным подсчетам, экономия за счет правильной направленности противопожарных мероприятий составила 1 млн. долларов, а стоимость сохраненного в результате этого леса — 10 млн. долларов.

Канадская лесная служба провела в 1965 г. небольшой объем исследований с экспериментальной ИК-системой AFDS-2 (Goodman, 1966). В отличие от вышеописанной американской системы она более проста по устройству и имеет следующие параметры: температурное разрешение 5° , геометрическое — 4 миллирадиана. Сканирующий элемент, приемник из сурьмянистого индия, электронные блоки и регистрирующее устройство с 70-миллиметровой пленкой скомпонованы в специальной капсуле, размещенной под крылом самолета. Пульт оператора и баллоны со сжатым азотом для охлаждения приемника размещены в кабине. Система имеет поперечное устройство, реагирующее на «пожарный» им-

пульс световым и звуковым сигналами. Для примерного определения местоположения источника огня угол обзора системы $\alpha = 120^\circ$ разделен на шесть секторов по 20° . Световой сигнал зажигается в соответствующем секторе.

По сравнению с американской системой канадская имеет лишь одно преимущество — холодильную установку на сжатом азоте, которая требует дозаправки только после проведения рабочих полетов и может находиться после этого в состоянии готовности долгое время.

Низкое температурное и геометрическое разрешение системы не позволяет получать изображение ландшафта хорошего качества, что затрудняет привязку обнаруженных очагов на местности. Компоновка всех элементов схемы в недоступной для оператора капсуле не позволяет производить действенный контроль и устранение неполадок в полете, что часто приводит к браку в работе, например из-за нарушений заданного режима работы регистрирующего устройства и т. д. Подвешивание капсулы у середины крыла приводит к некоторому экранированию местности элементами конструкции самолета. Тем не менее эксперименты канадской лесной службы подтвердили перспективность ИК-аэросъемки при поисках лесных пожаров, но показали также необходимость серьезных доработок созданной системы (Николаюк и др., 1968).

В последние годы в Канаде сконструирована более совершенная инфракрасная аппаратура, позволяющая получать инфракрасные аэроснимки очень высокого качества. Блок со сканирующей системой, теплоприемником и системой охлаждения монтируется под люком фюзеляжа патрульного самолета, что значительно упрощает его обслуживание и исключает экранирование деталями самолета.

В нашей стране большой объем исследований в этом направлении проведен в 1969—1970 гг. ЛенНИИЛХ совместно с ГГО им. А. И. Воейкова и лабораторией аэрометодов Министерства геологии. Была разработана обширная методика проведения наземных и авиационных опытов, изучены фоновые температурные характеристики леса, проводилась ИК-аэросъемка опытных моделей лесных пожаров в районах северо-запада СССР и крупных пожаров в различной стадии их развития в

Иркутской области. Проведенные опыты подтвердили перспективность применения ИК-аппаратуры в авиационной охране леса и одновременно позволили определить оптимальный вариант этой аппаратуры. Она должна иметь температурное и геометрическое разрешение, позволяющее определять с высоты 2000—4000 м



Рис. 15. Инфракрасный прибор для обнаружения «скрытых» очагов горения

очаги горения площадью не свыше $0,1 \text{ м}^2$, т. е. эти параметры должны иметь соответственно значения примерно $1'$ (на фоне 20°) и телесный угол 2—3 миллирадиана. Аппаратура должна обладать достаточно широким динамическим диапазоном для одновременной регистрации сигналов от низкотемпературного фона и нагретых очагов пожара. Это позволит получать изображение местности хорошего качества и быстро находить очаги горения на местности.

Наземные группы, занимающиеся дотушиванием и окарауливанием пожаров, необходимо оснащать портативными ручными ИК-системами, простыми в изготовлении и обслуживании, но эффективными при поисках скрытых очагов. Подобная система разработана в Ленинградском научно-исследовательском институте лесного хозяйства. Она состоит из усилителя с динамиком и блоком питания, смонтированных в одном корпусе, и выносного щупа с датчиком температуры, регулятором «нуля» и выключателем (рис. 15).

Исследования показали, что радиационная температура «мертвых» тел лесного ландшафта летом в пол-

день достигает 70°, поэтому прибор чувствителен к участкам, имеющим поверхностную температуру выше этого порога. На более интенсивное тепловое излучение прибор реагирует звуковым сигналом, тональность которого зависит от температуры нагрева. Изменение тона звукового сигнала позволяет установить места наибольшего теплового излучения от оставшихся непотушенных очагов лесного пожара. Прибор предназначен для работы в полевых условиях, поэтому имеет автономное питание (две плоские батарейки КБС-Л 0,5) и вес около 1700 г. Применение прибора позволит быстро обнаружить все скрытые очаги на потушенной кромке пожара и перейти к полной ликвидации пожара сразу же после тушения его искусственно вызванными осадками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования и результаты опытно-производственных работ подтвердили перспективность идеи использования искусственно вызванных осадков для борьбы с пожарами, особенно крупными, которые раньше не поддавались тушению. Однако было бы неправильным утверждать, что с внедрением указанного способа в практику авиационной охраны лесов проблема борьбы с лесными пожарами близка к своему решению. Усилия ученых и практиков по-прежнему должны быть направлены на разработку способов и средств предупреждения лесных пожаров и ликвидацию их на предельно малых площадях.

Что касается способа тушения лесных пожаров искусственно вызываемыми осадками, то для его совершенствования открываются самые широкие перспективы. Одним из узловых вопросов в этом плане является изучение периодических закономерностей возникновения и развития лесных пожаров в зависимости от погодных условий. Этот вопрос тесно связан с вопросом возникновения массовых вспышек лесных пожаров, когда создаются критические пожарные ситуации. Исследования эти важны и требуют объединенных усилий лесоводов, метеорологов, физиков и математиков. Они могут служить фундаментом для рождения новой науки — лесной метеорологии.

Важным вопросом является изучение процесса возникновения и разработка способов предупреждения лесных пожаров от молний. До сих пор этому вопросу лесные пирологи уделяли мало внимания. Однако наблюдения показывают, что в условиях Сибири и Дальнего Востока грозовые разряды являются основной причиной массовых вспышек лесных пожаров. Достижения метеорологической науки открывают перспективу активного воздействия на грозовые облака, и дальнейшие исследования в этом направлении могут дать эффективные результаты.

В настоящее время достаточно отработанным является способ искусственного вызывания осадков из переохлажденных, главным образом, мощных кучевых облаков. Тем не менее мы не используем и десятой доли атмосферной влаги, которая содержится в облаках других форм. Получение осадков из «теплых» облаков является одной из важнейших задач в совершенствовании указанного способа тушения пожаров.

Требует совершенствования и сама техника воздействия на облака. Наряду с опытами по воздействию с самолетов новых конструкций (ЯК-40, АН-24) необходимо разработать способ введения реагентов в облака с самолетов типа АН-2, который является основным патрульным самолетом в авиалесоохране. Решение этого вопроса открывает перспективу широкому внедрению способа в практику авиационной охраны лесов.

В последнее время интенсивно идет разработка новых технических средств доставки реагентов в облака. Разработано несколько типов пиропатронов для стрельбы из ракетниц и специальных кассет. В стадии испытаний находятся специальные реактивные патроны с дальностью полета свыше 1000 м, новые конструкции ракет для запуска с земли и т. д. Эти средства коренным образом меняют технологию воздействий на облака и резко повышают эффективность работ.

Эффективность способа тушения осадками в значительной степени зависит от достоверности прогноза развития ресурсной облачности в районе пожара. Существующие методы прогнозирования «ливневого положения» для ряда районов Сибири и Дальнего Востока вполне приемлемы и дают высокий процент оправданности. Тем не менее для районов, удаленных от ме-

теостанций на большие расстояния, должны быть разработаны иные методы прогноза облачной ситуации или уточнены существующие, чтобы количество безрезультатных вылетов на воздействие свести к минимуму. Это вполне осуществимо, если наряду с достоверными прогнозами организовать метеорологические наблюдения на самом пожаре и иметь надежную связь «самолет — пожар».

Необходимо организовать широкие климатические исследования ресурсной облачности для всей зоны тайги, чтобы обоснованно наметить районы для внедрения указанного способа. Эти исследования должны быть увязаны не только с классами пожарной опасности по условиям погоды, но и фактической горимостью на охраняемой территории.

И, наконец, важным вопросом лесной пирологии является изучение эффекта искусственно вызванных осадков на пожары различного вида и разной интенсивности. Как показали исследования, в решении этого вопроса важное место отводится инфракрасной технике.

Совершенствование способа тушения лесных пожаров искусственными осадками далеко не исчерпывается перечнем приведенных здесь задач. В процессе их решения неизбежно появятся новые вопросы, требующие познаний в самых разнообразных направлениях науки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андышкин С. П. Противопожарная охрана леса, М.—Л., Гослесбумиздат, 1957, 188 с.

Арцыбашев Е. С., Орлов О. К. Звукоусилительная станция для ведения противопожарной пропаганды с патрульных самолетов и вертолетов. — «Лесное хозяйство», 1969, № 11, с. 54—57.

Арцыбашев Е. С., Губин П. А. Тушение лесных пожаров искусственно вызываемыми осадками из облаков. — «Лесное хозяйство», 1970, № 3, с. 55—58.

Арцыбашев Е. С., Столярчук Л. В. Анализ ресурсной облачности, перспективной для вызывания осадков над лесными пожарами. — «Лесное хозяйство», 1971, № 9, с. 57—60.

Арцыбашев Е. С., Мельников В. Н., Шилин Б. В. Инфракрасная аэросъемка лесных пожаров с высотных самолетов и искусственных спутников земли. — «Лесное хозяйство», 1971, № 5, с. 60—64.

Арцыбашев Е. С., Калинин Л. Б., Трунов И. А., Гумба М. А. Водосливное оборудование к вертолету Ка-26. — «Лесное хозяйство», 1972, № 6, с. 61—62.

Атлас облаков. Л., Гидрометеониздат, 1957, с. 114.

Бержерон Т. Физика облаков и осадков. — В кн.: Физика образования осадков. Л., Гидрометеониздат, 1951, с. 15—31.

Вейнберг Б. П. К теории осаждения облаков посыпанием их наэлектризованным песком. — «Русск. физ.-хим. об-во», т. VI, вып. 5—6, 1925, с. 84—87.

Виткевич В. И. Об исследовании атмосферы на аэропланах. — «Научные исследования атмосферы», вып. 1, 1923, с. 18—27.

Воейков А. И. Воздействия человека на природу. М., Изд-во АН СССР, 1963, с. 38—86.

Воннегат Б. Образование ледяных кристаллов в переохлажденных водяных облаках под действием йодистого серебра. — В кн.: Физика образования осадков. М., изд. НИЛ, 1951, с. 133—146.

Гайворонский И. И. Об исследованиях, проведенных Центральной аэрологической обсерваторией в области искусственных воздействий на облака и туманы. — «Труды ЦАО», вып. 26, 1959, с. 39—56.

Дессенс А. Можем ли мы изменить климат? Л., Гидрометеониздат, 1969, 116 с.

Китредж Д. Влияние леса на климат, почвы и водный режим. Л., Гидрометеониздат, 1951, с. 451.

Кондратьев К. Я., Крошкин М. Г., Морачевский В. Г. Наша планета из космоса. Л., Гидрометеониздат, 1964, 74 с.

Краус Е., Скуайрс П. Опыт по искусственному вызыванию осадков, проведенному в Новом Южном Уэльсе (Австралия). — В кн.: Физика образования осадков. М., изд. НИЛ, 1951, с. 190-192.

Курбатский Н. П. Проблема лесных пожаров. — В кн.: Возникновение лесных пожаров, М., «Наука», с. 5—53.

Леонов М. П., Перелет Г. И. Активные воздействия на облака в холодное полугодие. Л., Гидрометеиздат, 1967, 150 с.

Кунс Р., Джентри Р., Ганн Р. Отчеты об опытах по искусственному вызыванию осадков. Второй отчет. Кучевообразные облака. — В кн.: Физика образования осадков. Л., Гидрометеиздат, 1951, с. 199—202.

Мейсон Б. Дж. Физика облаков. Перевод с англ. под ред. В. Г. Морачевского и Е. С. Селезневой. Л., Гидрометеиздат, 1961, 541 с.

Мелехов И. С. Лесная пирология и ее задачи. — В кн.: Современные вопросы охраны лесов от пожаров и борьбы с ними. М., «Лесная промышленность», 1965, с. 5—25.

Морачевский В. Г., Дубрович Н. А., Потанин А. Н., Попов А. Г. О льдообразующих свойствах метальдегида. — «Труды ГГО», вып. 278, Л., Гидрометеиздат, 1972, с. 189—199.

Никандров В. Я. Искусственные воздействия на облака и туманы. Л., Гидрометеиздат, 1959, с. 190.

Николаюк В. А., Арцыбашев Е. С., Телегин Н. П. Особенности лесного хозяйства Канады. — «Лесное хозяйство», 1968, № 6, с. 88—91.

Нестеров В. Г. Общее лесоводство. Гослесбумиздат, М.—Л., 1949, с. 664.

Оболенский В. Н. Условия устойчивости облаков и туманов и условия выделения из них осадков. — «Метеорологический вестник», 1931, № 2—4, с. 46—61.

Прихотько Г. Ф. Искусственные осадки из конвективных облаков. Л., Гидрометеиздат, 1968, 171 с.

Седунов Ю. С. Исследования по физике облаков и активному воздействию в США. — В кн.: Проблемы физики и облаков и активных воздействий. М., изд. ИЭМ, вып. 19, 1970, с. 3—23.

Сулаквелидзе Г. К. Борьба с градобитиями. — В кн.: Метеорология и гидрология за 50 лет Советской власти. Л., Гидрометеиздат, 1967, с. 227—242.

Сумин Ю. П., Торопова Н. В. Результаты исследований льдообразующего действия пиротехнических составов с йодидами серебра и свинца при воздействиях на переохлажденные слоистообразные облака. — «Труды ГГО», вып. 278, Л., Гидрометеиздат, с. 78—90.

Федоров Е. К. Активное воздействие на метеорологические процессы. — В кн.: Метеорология и гидрология за 50 лет Советской власти. Л., Гидрометеиздат, 1967, с. 215—226.

Финдайзен В., Шульц Т. Экспериментальное исследование образования ледяных частиц в атмосфере. — В кн.: Физика образования осадков. Л., изд. НИЛ, 1951, с. 59—84.

Шефер В. Образование ледяных кристаллов в лаборатории и в атмосфере. — В кн.: Физика образования осадков. Л., Гидрометеиздат, 1951, с. 120—132.

Шилин Б. В., Арцыбашев Е. С. и др. Перспективы использования тепловой аэросъемки для обнаружения лесных пожаров. — «Лесное хозяйство», 1969, № 7, с. 52—59.

Шишкин Н. С. Облака, осадки и грозовое электричество. М., Гостехиздат, 1954, 401 с.

Barrows J. S. Control of lighting fires in american forests. Proceedings of the fifth world forestry congress, v. 2, p. 851—856, Washington, 1962.

Bowen E. G. Australian experiments on artificial simulation to mechanisms of rainfall. Weather, 7, p. 204, 1952.

Davis K. P. Forest fire: control and use. McGraw-Hill Co., New-York, Toronto, London, p. 432, 1959.

Davies D. A., Hepburn D. and Sanson H. W. Report on experiments at Kongwa on artificial simulation of rain, Jan. April, 1951. Mem. East African Met. Dept., 2, No 9, p. 31, 1951.

Goodman J. Report on the airborne fire detection system AFDS-2 evaluation trials. Ontario, p. 61, 1966.

Ludlam F. H. The production of showers by the growth of ice particles. Q. J. Roy. Met. Soc., 77, p. 402, 1951.

Zon R. Forests and water in the light of scientific investigation. U. S. Nat. Waterways comm. Final Rpt., App. V, 205—302, 62d Congr., 2d Sess., Sen. Doc., p. 469, 1927.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
История исследования активных воздействий на облака . .	7
Виды лесных пожаров и их особенности	12
Облака, их образование и развитие	18
Образование облаков над пожарами	24
Искусственное вызывание осадков из облаков вертикального развития	28
Результаты опытных и опытно-производственных работ по тушению лесных пожаров искусственно вызываемыми осад- ками	33
Анализ ресурсной облачности, перспективной для вызывания осадков над лесными пожарами	46
Оценка ресурсной облачности по фотоизображениям с искус- ственных спутников земли (ИСЗ)	53
Некоторые результаты опытов по воздействию на облака с помощью ракет, запускаемых с земли	57
Применение инфракрасной техники для оценки результатов тушения пожаров осадками	75
Заключение	81
Список литературы	84

Арцыбашев Евгений Степанович
ТУШЕНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ
ИСКУССТВЕННО ВЫЗЫВАЕМЫМИ
ОСАДКАМИ ИЗ ОБЛАКОВ

Редактор издательства *Гущина Р. Н.*

Технический редактор *Новикова Е. И.*

Корректор *Курятникова В. Н.*

Художественный редактор *Плотников Н. И.*

Обложка художника *Петухова В. Д.*

Сдано в набор 2/1—1973 г. Подписано
в печать 15/VI—1973 г. Т-07599
Формат 84×108¹/₃₂. Бумага
типографская № 3. Физ. п. л. 2,75
Усл. п. л. 4,62. Уч.-изд. л. 4,69
Тираж 5200 экз. Изд. № 120/72. Зак. № 7
Цена 24 коп.

Тематический план 1973 г., № 7

Издательство «Лесная промышленность».
Москва, Центр, ул. Кирова, 40а.
Московская типография № 32
«Союзполиграфпрома» при Государственном
комитете Совета Министров СССР по делам
издательств, полиграфии и книжной
торговли.
Москва, К-51, Цветной бульвар, д. 26.