

Ю.В. Кулешов, А.П. Доронин, К.О. Фролов, К.Ш. Хайруллин

**ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИГОДНОСТИ
АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЙ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ
ПО СОЗДАНИЮ ИСКУССТВЕННЫХ ТУМАНОВ**

Y.V. Kuleshov, A.P. Doronin, O.K. Frolov, K.Sh. Khairullin

**PHYSICAL AND STATISTICAL ANALYSIS OF THE SUITABILITY
OF ATMOSPHERIC CONDITIONS IN THE ARKHANGELSK REGION
FOR SOLVING PROBLEMS OF PLANNING AND ORGANIZATION
OF WORKS ON CREATION OF ARTIFICIAL FOGS**

В статье на основе обработки материалов, содержащихся в Справочниках по климату и Аэроклиматических справочниках атмосферы, приводятся результаты анализа атмосферных условий в Архангельской области применительно к проблеме создания искусственных туманов.

Ключевые слова: туман, облака, температура воздуха, влажность воздуха, инверсии температуры.

On the basis of processing the materials contained in the Handbooks on Climate and Aeroclimatic directories of atmosphere the results of the analysis of atmospheric conditions in the Arkhangelsk region in relation to the problem of creating artificial fogs are given in the article.

Key words: fogs, clouds, air temperature, air humidity, temperature inversions.

Введение

Архангельская область в настоящее время динамически и экономически развивающийся регион с многочисленными предприятиями, представляющими собой потенциальную экологическую опасность. К ним относятся химические и нефтегазоперерабатывающие комплексы, склады горюче-смазочных материалов, тепловые электростанции. Особую значимость Архангельской области придает тот факт, что на ее территории располагается единственный действующий в Российской Федерации в настоящее время космодром «Плесецк», с которого осуществляется основное количество пусков всех ракет-носителей. При этом в перспективе планируется перенос запуска многих космических аппаратов (КА) с космодрома Байконур на космодром «Плесецк».

В соответствии с классификацией чрезвычайных ситуаций [8], любой космодром должен быть отнесен к экологически потенциально опасным объектам, так как на нем в результате деятельности обслуживающего персонала или по иным причинам могут произойти аварии или катастрофы, приводящие к существенному ухудшению состояния окружающей среды. Это связано в первую очередь с тем, что

на космодромах находятся хранилища высокотоксичных компонентов ракетного топлива, технические и стартовые комплексы, заправочно-нейтрализационные станции и др.

Одной из наиболее серьезных экологических проблем, связанных с ракетно-космической деятельностью, является загрязнение атмосферного воздуха токсичными веществами, образующимися при старте ракеты-носителя (РН) в результате сгорания компонентов ракетного топлива. Особенно актуальной эта проблема становится в случае аварии или катастрофы ракеты-носителя на стартовом комплексе. Это обстоятельство указывает на необходимость поиска эффективных методов и средств снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха в районе старта РН. Используемые в оперативной практике методы сводятся, в основном, к организационным методам (ожидание времени, когда уровень загрязнения атмосферного воздуха снизится до предельно-допустимой концентрации в результате естественных синоптико-климатических условий, эвакуация обслуживающего персонала в зону безопасности и др.), а также к методам, основанным на использовании различных водных растворов в системах демпфирования и смыва загрязняющих веществ на стартовом комплексе. При этом в полной мере данная проблема не решается.

В последние годы в ряде работ [1–3] были предложены геофизические методы снижения уровня концентрации загрязняющих веществ в воздухе после старта РН, то есть методы, основанные на использовании определенных средств модифицирования атмосферных условий. Анализ этих методов показывает, что одним из наиболее перспективных является метод, основанный на локализации газоаэрозольного выброса путем создания искусственного тумана.

Положительный эффект от создания искусственного тумана для снижения концентрации загрязняющих веществ в районе старта РН основывается на известном факте уменьшения концентрации вредных примесей в атмосфере за счет их коагуляции с частицами тумана (капли воды, кристаллы льда и снежинки) и последующей седиментации (выпадения) этих частиц на подстилающую поверхность, что приводит к сокращению площади распространения газоаэрозольного облака загрязняющих веществ. Предлагаемый способ реализуется с помощью определенных химических реагентов и специальных наземных технических средств [2].

Интерес к созданию искусственных облаков и туманов обусловлен следующими обстоятельствами [6, 7]. Во-первых, с их помощью возможно решение широкого круга хозяйственных и экологических задач (вымывание вредных примесей из атмосферы, борьба с заморозками, снижение интенсивности засушливых явлений и др.); во-вторых, имеются технические средства для их создания (наземные установки, самолеты, оборудованные специальными генераторами для диспергирования химических реагентов); в-третьих, создание таких искусственных атмосферных образований является экономически выгодным.

Практическая реализация предлагаемого способа снижения уровня загрязняющих веществ в районе старта РН предполагает решение целого комплекса задач, среди которых одной из наиболее важных является задача, связанная с физико-статистическим анализом атмосферных условий в конкретном физико-географическом районе страны применительно к проблеме создания искусственных туманов [4, 5].

Целью настоящей работы является физико-статистический анализ и обобщение данных об атмосферных условиях в районе космодрома «Плесецк» для выявления возможностей создания искусственных туманов в теплое полугодие.

Для решения этой задачи необходимо знать комплекс метеорологических характеристик, включающих в себя термический режим, влажность воздуха, скорость ветра в пограничном слое, а также иметь данные об облачности нижнего яруса и повторяемости естественных туманов. Особую значимость для оценивания условий создания искусственных туманов (как теплых, так и кристаллических) имеют сведения о характере инверсионных слоев — их мощности и длительности существования.

Для выполнения этой задачи в работе использовалась имеющаяся климатологическая информация на близлежащих к Плесецку станциях: Конево, Каргополь, Няндама, а также пункта радиозондирования — Архангельск.

Исследование характеристик атмосферных условий у земной поверхности применительно к проблеме создания искусственных теплых туманов

Основным исходным материалом для выполнения настоящей работы явились данные, содержащиеся в Климатических справочниках [9–16].

В работе исследование атмосферных условий в Архангельской области проведено для месяцев теплого полугодия (апрель — сентябрь).

Прежде всего, было проведено исследование облаков и туманов с получением данных об их повторяемости и количестве. На рис. 1 и 2 для станций Няндама и Каргополь приведены данные об общем количестве облаков и количестве облаков нижнего яруса (баллы) в теплое полугодие. Средние многолетние значения количества облачности приведены за период 1936–1980 гг. [9].

Из анализа данных, приведенных на рис. 1–2, следует, что над рассматриваемыми районами практически ни для одного месяца теплого полугодия не наблюдается наличие сплошной облачности в количестве 8–10 баллов (за исключением сентября, когда количество облаков составляет величину 7,8 балла для района Каргополь и 7,9 балла для района Няндама). Среднемесячное общее количество облаков изменяется, как правило, в пределах от 6,4 до 7,2 баллов (в зависимости от района и месяца). При наличии облаков нижнего яруса их среднемесячное количество составляет гораздо меньшую величину, изменяясь в пределах от 3,8 до 5,1 баллов. Исключение, как и в случае общего количества облаков, составляет сентябрь, когда облака нижнего яруса наблюдаются в количестве 5,7 балла в районе Каргополь и 6,5 балла в районе Няндамы.

Можно ожидать, что в теплое полугодие облака нижнего яруса, которые представляют наибольший интерес для решения задач снижения загрязнения атмосферного воздуха (например, путем вызывания из них искусственных осадков) в районе аварии или старта РН, вряд ли могут быть использованы для этих целей прежде всего в силу малого количества (практически всегда они наблюдаются в количестве не более 5 баллов). Исходя из этого значительный интерес представляют данные о среднем числе дней с туманами над рассматриваемыми районами. Результаты выполненного в этом направлении исследования для станций Конево и Каргополь приведены на рис. 3 [9].

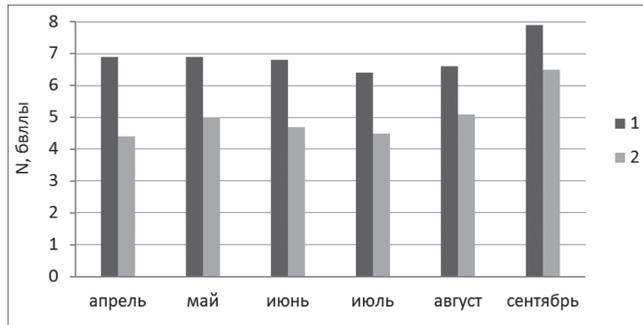


Рис. 1. Среднее месячное общее количество облаков (1) и количество облаков нижнего яруса (2) (баллы) для станции Няндомы в теплое полугодие

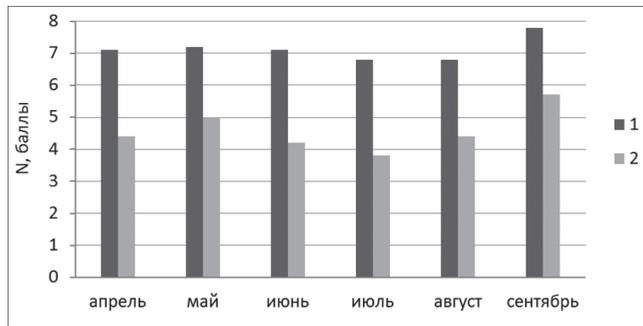


Рис. 2. Среднее месячное общее количество облаков (1) и количество облаков нижнего яруса (2) (баллы) для станции Каргополь в теплое полугодие

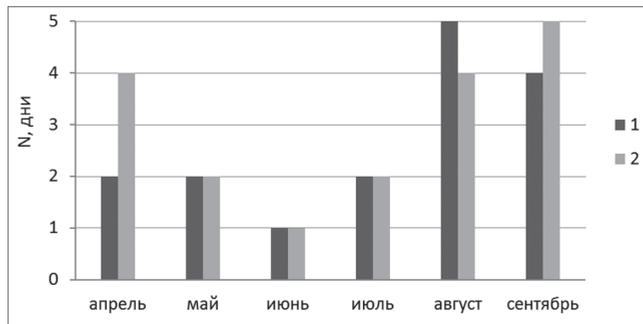


Рис. 3. Среднее число дней с туманом по месяцам в теплое полугодие для станций Конево (1) и Каргополь (2)

Проанализировав данные, представленные на рис. 3, можно сделать вывод, что даже в целом за весь теплый период года среднее количество дней с туманом невелико и изменяется в зависимости от рассматриваемого района от 16 до 18, что составляет 8,7–9,8 % от общего числа дней в этот период (183 дня). По месяцам среднее число дней с туманом не превышает в большинстве случаев величину 1–2. И только в августе и сентябре (а также в апреле для района Каргополя) число дней с туманом возрастает до 4–5 для обоих рассматриваемых районов. Однако даже величина дней с туманом, равная 5, составляет для августа и сентября всего 16,1–16,7 % от общего числа дней в эти месяцы.

Анализ данных о средней продолжительности туманов (ч) для станции Каргополь [10] позволяет сделать следующие выводы.

Наибольшие значения средней продолжительности туманов наблюдаются в сентябре (21 ч), апреле (16 ч) и августе (15 ч), что составляет 2,9; 2,2 и 2,0 % соответственно от общего числа часов в этих месяцах (720, 720 и 744 ч). В другие месяцы (май, июнь, июль) средняя продолжительность туманов существенно меньше и составляет для этих месяцев величины, равные 7, 3 и 4 ч соответственно. Необходимость в создании искусственных туманов может возникнуть в любое время суток и в любой из месяцев теплого полугодия.

Исходя из приведенных выше данных о повторяемости облаков и туманов над рассматриваемыми районами становится очевидной необходимость осуществления мероприятий по планированию, подготовке и проведению работ по созданию искусственных туманов в теплое полугодие.

Успешность проведения мероприятий по созданию искусственных туманов будет во многом определяться ветровым и температурно-влажностным режимами, а также наличием слоев инверсий над рассматриваемыми районами. Результаты выполненного в этом направлении исследования приведены ниже.

Данные о ветровом режиме на территории рассматриваемых районов необходимы для оценки времени существования искусственных туманов.

На основе анализа данных о повторяемости ветра определенного направления [14] можно сделать следующие выводы: для района Конево преобладающее направление ветра в теплое полугодие выделить довольно трудно, поскольку они одинаковы, за исключением восточного, юго-восточного и северо-западного направления; на повторяемость ветра этих направлений в зависимости от месяца приходится 4–8 %, 8–11 % и 8–14 %. На повторяемость ветра северного, северо-западного, южного, юго-западного и западного направлений в зависимости от месяца приходится 11–20, 9–17, 11–21, 14–22 и 10–17 % соответственно.

Аналогичная картина наблюдается и в отношении повторяемости направлений ветра в районе Каргополя, где выделить преобладающее направление ветра в теплое полугодие не представляется возможным. Реже всего в этих районах наблюдается ветер восточного, юго-восточного и северо-западного направлений; на повторяемость ветра этих направлений в зависимости от месяца приходится 5–8, 5–8 и 9–12 %. В свою очередь, значения повторяемости ветра северного, северо-восточного, южного, юго-западного и западного направлений в зависимости от месяца составляют 14–21, 9–19, 14–27, 14–20 и 9–15 % соответственно.

Данные о повторяемости ветра определенного направления для станции Конево и Каргополь Архангельской области в теплое полугодие могут быть использованы при планировании, подготовке и проведении работ по созданию искусственных туманов. Ценность этих данных возрастает при использовании их в сочетании со сведениями о значениях средней скорости ветра, которые для станций Конево, Няндомы и Каргополь для всех месяцев теплого полугодия проведены на рис. 4.

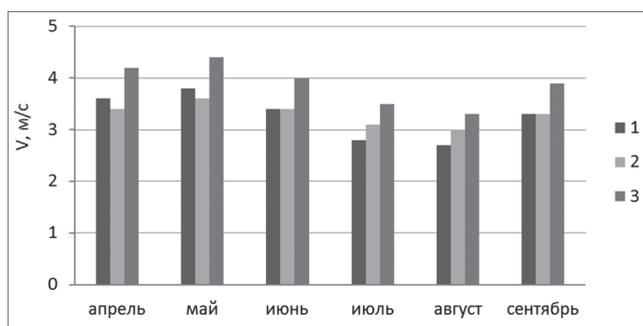


Рис. 4. Средняя месячная скорость ветра на станциях Конево (1), Няндомы (2) и Каргополь (3)

Приведенные на рис. 4 данные о средней скорости ветра для рассматриваемых станций свидетельствует о том, что ветровой режим для создания искусственных теплых туманов является благоприятным, поскольку его значения характеризуются величинами в диапазоне 2,7–4,2 м/с в зависимости от месяца и района. Наибольшие значения средней скорости ветра отмечаются в районе Каргополя (3,3–4,4 м/с), а наименьшие — в районе Конево (2,7–3,8 м/с). Таким образом, с точки зрения ветрового режима, выбранные районы являются благоприятными для создания искусственных теплых туманов, поскольку практика работ показала, что пригодными являются условия, когда значения скорости ветра не превышают величину 6 м/с.

Для оценивания возможности создания искусственных туманов необходимо иметь данные о температуре и относительной влажности воздуха не только у поверхности Земли, но и по высотам.

Так, например, данные о влажности воздуха применительно к проблеме создания искусственных облаков и туманов определяют запасы влаги в атмосфере в виде водяного пара, способного пойти на образование капель или кристаллов льда в создаваемом тумане (облаке).

Кроме того, влажность воздуха определяет выбор того или иного гигроскопического реагента, так как гигроскопическая активность разных химических реагентов различна. Зависимость от значений относительной влажности воздуха предопределяет выбор соответствующего химического реагента. Например, поваренная соль (NaCl) имеет точку гигроскопичности, соотношенную со значением относительной влажности воздуха, равной 75 %.

Поскольку образование теплых туманов (облаков) возможно при положительных значениях температуры воздуха, то исходя из этого в работе приведены данные о многолетних среднемесячных значениях температуры воздуха в теплый период года на станциях Конево, Няндомы и Каргополь, которые представлены на рис. 5. При этом статистическая ошибка расчета данных о температуре составляет 0,1–0,4 °С [15].

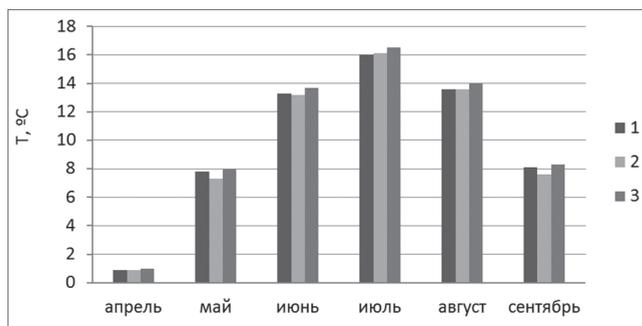


Рис. 5. Средняя месячная температура воздуха на станциях Конево (1), Няндомы (2) и Каргополь (3)

Из анализа представленных на рис. 5 данных следует, что во все месяцы теплого полугодия над рассматриваемыми районами наблюдаются положительные значения температуры воздуха. При этом самые высокие значения температуры воздуха отмечаются в июле и составляют 16,0–16,5 °С (в зависимости от района). В целом же диапазон положительных значений температуры воздуха составляет от 0,9 °С (апрель, ст. Конево и Няндомы) до 16,5 °С (июль, ст. Каргополь).

На основе полученных данных можно сделать вывод о том, что над рассматриваемыми районами у поверхности Земли в период с апреля по сентябрь (и особенно с июня по август) наблюдается благоприятный для создания искусственных теплых туманов температурный режим.

Вместе с тем, возможность создания теплых искусственных туманов наряду с температурным режимом будет в значительной мере определяться также и значениями относительной влажности воздуха. На рис. 6 приведены значения средней месячной относительной влажности воздуха (%) для рассматриваемых районов [16].

Приведенные на рис. 6 данные о средней месячной относительной влажности воздуха для рассматриваемых станций свидетельствуют о том, что влажностный режим для создания искусственных теплых туманов является благоприятным над рассматриваемыми районами, главным образом, в период с августа по сентябрь. Это связано с тем, что значения относительной влажности воздуха в эти месяцы больше 80 % (80–86 % в зависимости от района). Самые низкие значения влажности отмечаются в мае и июне и изменяются от 64 до 69 % (в зависимости от района). В апреле и июле значения относительной влажности находятся в пределах от 70 до 74 % (в зависимости от района).

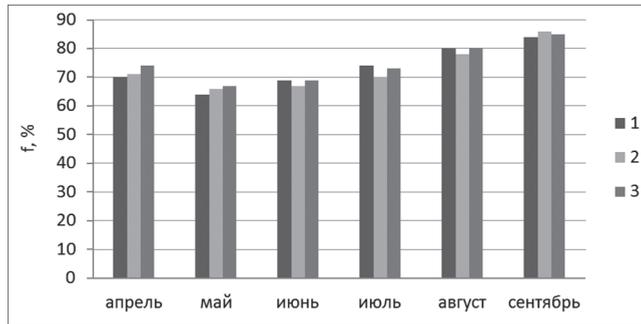


Рис. 6. Средняя месячная относительная влажность воздуха (%) на ст. Конево (1), Няндомы (2) и Каргополь (3)

Полученные значения относительной влажности воздуха указывают на то, что в зависимости от месяца и района создание искусственных теплых туманов должно осуществляться с учетом гигроскопической активности применяемых химических реагентов. Кроме того, следует принимать во внимание и тот факт, что используемые водные растворы гигроскопических реагентов будут увеличивать влагосодержание слоя, в котором создается туман. Поэтому можно предположить, что при влажности воздуха, меньшей значения гигроскопической точки химического реагента, время существования искусственного тумана будет определяться временем работы двигателя специальной наземной установки.

Поскольку вертикальная протяженность слоя искусственного тумана может составлять несколько десятков (а в ряде случаев и сотен) метров, то при планировании, подготовке и проведении работ по созданию туманов и низкой облачности необходимы данные о температурно-влажностном режиме на различных высотах в нижней тропосфере в конкретных физико-географических районах. Роль этой информации еще более возрастает, поскольку данные о распределении температуры и влажности воздуха позволяют выделить в атмосфере слои инверсии. Значения характеристик слоев инверсии (высота нижней границы слоев инверсии, их мощность и интенсивность) позволяют сделать правильный вывод о возможности достижения положительного результата при создании искусственных теплых туманов. Ниже приведены результаты исследования распределения температуры и относительной влажности воздуха по высотам в месяцы теплого полугодия над рассматриваемыми районами.

Исследование характеристик температурно-влажностного режима в пограничном слое атмосферы применительно к проблеме создания искусственных теплых туманов

В работе получены данные о распределении температуры и относительной влажности воздуха от земной поверхности до 3000 м для района Архангельска в месяцы теплого полугодия (апрель–сентябрь). Все расчеты выполнены на основе радиозондовых наблюдений за многолетний период (1961–1970 гг.). Статистические характеристики

метеорологических величин приводятся на уровне Земли, а также на высотах 200, 300, 500, 600, 900, 1 000, 1 500, 2 000 и 3 000 м. На каждом уровне проведено осреднение метеорологических величин для каждого месяца за указанный период наблюдений и по условному делению на ночь (03 ч), утро (09 ч), день (15 ч), вечер (21 ч), определяемому по местному солнечному времени [11]. В качестве примера на рис. 7 и 8 приведены данные о распределении средней месячной температуры и относительной влажности воздуха атмосферы для ст. Архангельск в июле.

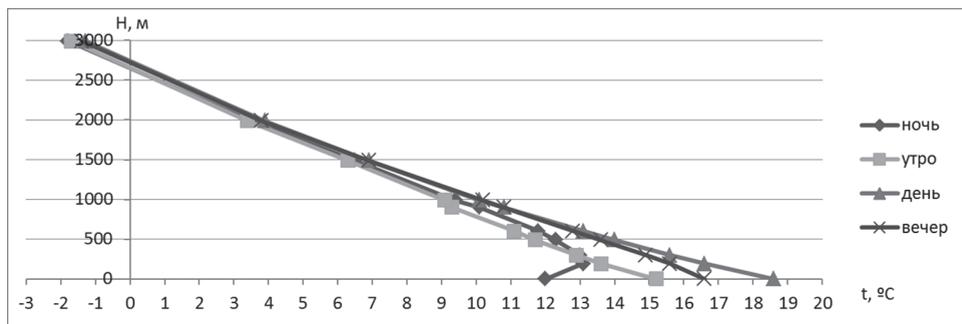


Рис. 7. Распределение средней месячной температуры воздуха в атмосфере для станции Архангельск в течение суток (июль)

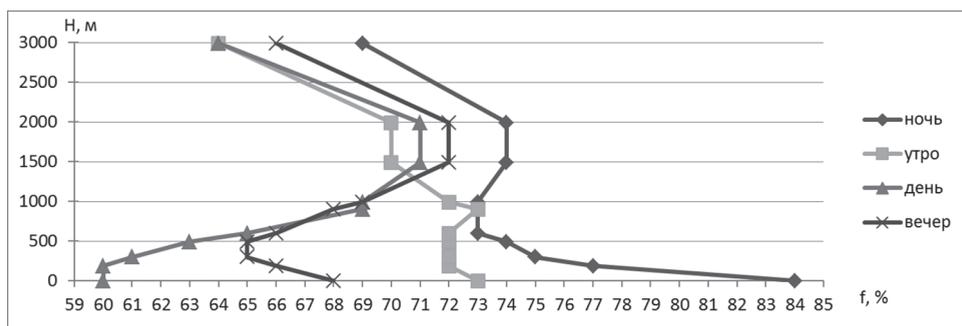


Рис. 8. Распределение средней месячной относительной влажности воздуха в атмосфере для станции Архангельск в течение суток (июль)

Образование искусственных туманов будет осуществляться в нижней части пограничного слоя до высот 300–500 м. С учетом этого обстоятельства в дальнейшем анализ данных о распределении температуры и относительной влажности воздуха проведен до высот 500 м. В слое от земной поверхности до этой высоты выполнены измерения на следующих уровнях: 0, 200, 300 и 500 м.

На основе анализа данных о распределении средней месячной температуры воздуха на станции Архангельск, приведенных в [11], можно констатировать следующее. Для всех месяцев теплого полугодия распределение температуры воздуха от земной поверхности

до высоты 3 000 м (включая и слой 0–500 м) за все сроки измерений характеризуется ее падением с высотой. Однако при детальном изучении распределения температуры воздуха в течение дня (ночь, утро, день, вечер) можно выделить некоторые закономерности ее изменения с высотой. В частности, для всех месяцев теплого полугодия ночью характерно наличие слоев инверсии. Данный вывод убедительно подтверждается данными о вертикальных градиентах температуры воздуха (γ), приведенными в таблице.

Средние значения вертикальных градиентов температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$) в слое от Земли до 500 м на станции Архангельск в теплое полугодие

Слой (м)	Сроки наблюдений				
	ночь	утро	день	вечер	все сроки
Апрель					
0–200	–0,52	0,24	0,87	0,75	0,14
200–300	0,02	0,32	0,78	0,56	0,39
300–500	0,34	0,35	0,82	0,68	0,68
Май					
0–200	–0,39	0,81	1,12	0,50	0,51
200–300	0,08	0,69	0,84	0,50	0,53
300–500	0,36	0,59	0,88	0,68	0,63
Июнь					
0–200	–0,48	0,87	0,19	0,67	0,56
200–300	0,03	0,82	0,87	0,60	0,58
300–500	0,38	0,60	0,89	0,71	0,65
Июль					
0–200	–0,55	0,88	1,08	0,54	0,48
200–300	0,00	0,63	0,86	0,58	0,52
300–500	0,41	0,41	0,91	0,69	0,65
Август					
0–200	–0,49	0,68	1,08	0,23	0,34
200–300	0,02	0,42	0,85	0,40	0,40
300–500	0,42	0,50	0,84	0,64	0,61
Сентябрь					
0–200	–0,15	0,41	0,90	0,11	0,32
200–300	0,21	0,30	0,77	0,45	0,43
300–500	0,44	0,42	0,82	0,61	0,57

Как следует из анализа данных этой таблицы, значения вертикальных градиентов температуры воздуха изменяются от минус 0,15 до минус 0,55 $^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ (в зависимости от месяца полугодия). В другие периоды суток (утро, день, вечер) температура воздуха понижается с высотой. Образование инверсии в слое 0–200 м вполне закономерно и объясняется радиационным охлаждением ночью земной поверхности. При этом значения температуры воздуха до высоты 500 м остаются положительными для всех

месяцев холодного полугодия, за исключением апреля. Так, значения температуры воздуха в слое 0–500 м за все сроки понижаются от минус 0,5 до минус 2 °С. Для других месяцев теплого полугодия значения температуры воздуха в этом слое за все сроки вместе понижаются от 6,1 до 3,4 °С в мае, от 12,1 до 9,1 °С в июне, от 15,6 до 12,9 °С в июле, от 13,7 до 11,4 в августе и от 8,3 до 6,1 °С в сентябре.

Это обстоятельство имеет большое значение, поскольку для создания искусственных теплых туманов целесообразно использовать водные растворы гигроскопических реагентов, которые лучше проявляют свою активность именно при положительных значениях температуры воздуха.

Таким образом, рассмотрев распределение температуры воздуха по высоте (см. табл.), можно сделать вывод о том, что наиболее благоприятные условия для создания искусственных туманов отмечаются ночью во все месяцы теплого полугодия в слое 0–200 м в связи с наличием инверсии температуры. Утром и вечером условия становятся менее благоприятными из-за отсутствия слоев инверсии. Днем в связи с прогревом подстилающей поверхности и развитием конвекции условия будут еще менее благоприятными. Вместе с тем, поскольку в слоях 0–200 и 0–500 м значения $\gamma < \gamma_a$ (в большинстве случаев), образование искусственных туманов вполне допустимо и возможно.

Анализ данных о распределении относительной влажности воздуха до высот 3000 м на станции Архангельск ночью, утром, днем, вечером позволяет выделить ряд закономерностей о распределении влажности воздуха по высоте которые сводятся к следующим.

Если рассматривать распределение относительной влажности за все сроки вместе, то видно, что для всех месяцев теплого полугодия характерно ее понижение в слое 0–200 м. Так, в апреле относительная влажность воздуха понижается от 74 до 71 %, в мае — от 68 до 66 %, июне — от 67 до 65 %, июле — от 71 до 69 %, августе — от 78 до 75 %, сентябре — от 83 до 81 %.

Вторая особенность распределения относительной влажности воздуха по высоте за все сроки вместе заключается в том, что в слое 200–500 м ее значения не изменяются. Эта особенность характерна для всех месяцев теплого полугодия.

В течение дня отмеченные выше закономерности в распределении относительной влажности воздуха в слоях 0–200 м и 200–500 м справедливы также и для ряда периодов суток, в частности, для утра и вечера для всех месяцев теплого полугодия.

Ночью распределение относительной влажности воздуха в слоях 0–200 м и 200–500 м характеризуется ее понижением: в апреле — от 80 до 73 %, в мае — от 80 до 71 %, в июне — от 80 до 69 %, в июле — от 84 до 74 %, в августе — от 88 до 78 %, в сентябре — от 88 до 83 %. Видно, что несмотря на понижение относительной влажности воздуха с высотой, ее значения остаются высокими (от 71 до 83 %), за исключением июня. В связи с этим можно полагать, что для создания искусственных теплых туманов с помощью гигроскопических реагентов условия в этом период суток являются достаточно благоприятными.

Днем распределение относительной влажности воздуха характеризуется либо ее повышением в слое от Земли до 500 м (май, от 58 до 62 %), либо постоянством ее значений до высоты 200 м: июнь (58 %), июль (60 %), август (65 %), сентябрь (74 %),

либо дальнейшим повышением в слое 200–500 м (июнь — от 58 до 61 %, июль — от 60 до 63 %, август — от 65 до 69 %, сентябрь — от 74 до 77 %). Для апреля распределение относительной влажности воздуха характеризуется ее понижением в слое 0–200 м от 66 до 65 %, а затем — ростом в слое 200–500 м от 65 до 67 %. Следует отметить, что несмотря на рост относительной влажности воздуха в слоях 0–200 м и 200–500 м условия для создания искусственных теплых туманов с помощью гигроскопических условий будут менее благоприятны, чем в другие периоды суток.

Приведенные выше данные о значениях относительной влажности воздуха на различных высотах могут быть использованы, в частности, для расчета количества влаги, которую необходимо внести в слой тропосферы, где планируется создание искусственного тумана. Расчет количества необходимой для внесения в атмосферу влаги должен осуществляться исходя из наличия данных о температуре воздуха в конкретном физико-географическом районе и в определенном месяце, сезоне, а также с учетом времени суток.

Для проведения работ по созданию теплых туманов необходимы данные о таких характеристиках слоев инверсии, как непрерывная продолжительность существования слоев инверсии, их мощность и интенсивность

Из анализа представленных в [12] данных следует, что наибольшие значения повторяемости длительности существования слоев инверсии для четырех месяцев теплого полугодия приходятся независимо от высоты слоя инверсии на градацию 0–6 ч (50–78 %). Исключение составляет в этом случае только лишь август, когда значения повторяемости длительности существования инверсии в слое 0,0–0,5 км составляет 42 %. Для апреля и сентября наиболее характерны инверсии с более длительными сроками существования, до 12–18 ч. В первом случае на инверсии в слое 0,0–0,1 км с таким сроком существования приходится 61 %, а в слое 0,0–0,5 км — 59 %. Во втором случае (сентябрь) эти значения повторяемости сроков существования слоев инверсии составляют 50 и 56 % соответственно.

Средние значения времени непрерывной продолжительности существования инверсии в слое 0,0–0,1 км изменяется от 7 (июнь) до 13 (апрель) ч, в слое 0,0–0,5 км — от 10 (июнь) до 15 (апрель) ч, а максимальные значения — от 30 до 48 и от 42 до 162 ч соответственно.

Данные о средних значениях мощности и интенсивности слоев инверсии для станции Архангельск в теплое полугодие, приведенные в [13], позволяют сделать следующие выводы:

- 1) средние значения мощности слоев инверсии в зависимости от интенсивности инверсий изменяются в пределах от 0,23 до 0,51 км. При этом чаще всего встречаются слои инверсии со значениями мощности в интервале 0,31–0,40 км;
- 2) средние значения интенсивности слоев инверсии по градациям мощности указывают на то, что они чаще всего лежат в пределах 1,1–2,0 °С, изменяясь в общем случае от 0,7 до 3,2 °С;
- 3) с увеличением мощности слоев инверсии средние значения интенсивности слоев инверсии, как правило, убывают. Слои инверсии со значениями интенсивности более 2 °С в теплое полугодие над рассматриваемыми районами практически не наблюдаются.

В целом же приведенные выше данные позволяют сделать вывод о том, что наличие слоев инверсии в приземном и пограничном слоях атмосферы и их характеристики (повторяемость, толщина и интенсивность) являются важным фактором, который должен непременно учитываться при планировании, подготовке и проведении работ по созданию искусственных теплых туманов.

Выводы

Из анализа данных о распределении облаков в теплое полугодие следует, что облачность нижнего яруса, которая представляет наибольший интерес для решения задач снижения загрязнения атмосферного воздуха (например, путем вызывания из нее искусственных осадков) в районе аварии или старта ракеты-носителя вряд ли может быть использована для этих целей прежде всего в силу малого количества (практически всегда она наблюдается в количестве не более 5 баллов).

Среднее число дней с туманами в теплое полугодие (апрель – сентябрь) в рассматриваемых районах (Конево, Няндомы, Каргополь), находящихся вблизи космодрома «Плесецк», не превышает в большинстве случаев величину 1–2. И только в августе и сентябре (а также в апреле для района Каргополя) число дней с туманом возрастает до 4–5.

В связи с этим для снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха в районе аварии или старта ракеты-носителя предлагается использовать методы и средства создания искусственных туманов и, прежде всего, теплых туманов в период апрель – сентябрь.

Исследование ветрового режима над рассматриваемыми районами показало, что для создания искусственных теплых туманов он является благоприятным, поскольку его значения характеризуются величинами в диапазоне 2,7–4,2 м/с в зависимости от месяца и района. Практика же работ по созданию искусственных туманов показала, что пригодными являются условия, когда значения скорости ветра не превышают величину 6 м/с.

Приведенные в работе данные о температурном режиме у поверхности Земли свидетельствуют о том, что во все месяцы теплого полугодия (и особенно с июня по август) над рассматриваемыми районами он является благоприятным для создания искусственных туманов. Влажностный режим для создания искусственных туманов является благоприятным, главным образом, в период с августа по сентябрь. Это связано с тем, что значения относительной влажности воздуха в эти месяцы больше 80 %. Самые низкие значения влажности отмечаются в мае и июне и изменяются от 64 до 69 % (в зависимости от района). В апреле и июле значения относительной влажности находятся в пределах от 70 до 74 % (в зависимости от района).

Полученные в работе данные о распределении температуры и относительной влажности воздуха в слоях 0–200, 0–300 и 0–500 м в различные периоды суток для каждого месяца теплого полугодия позволяют разработать практические рекомендации по применению методов и средств создания искусственных теплых туманов. Кроме того, подобные туманы могут позволить решать ряд экологических задач (вымывание вредных примесей из тропосферы, борьба с заморозками, очищение воздушных бассейнов угольных и рудниковых разрезов и др.).

Следует также отметить, что приведенные в работе данные о распределении температуры и относительной влажности воздуха выше 500 м, вплоть до 3000 м, могут быть использованы при планировании, подготовке и проведении работ по созданию слоистообразной облачности в интересах решения широкого круга прикладных задач.

Литература

1. *Авдюков В.М., Арзаманов Д.Н., Доронин А.П.* Перспективные методы снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха в районе старта ракеты-носителя и за его пределами путем модифицирования атмосферных условий // Инновац. деят-сть в Вооруж. Силах Росс. Фед.: Труды Всеарм. научно-практич. конф. 17–18 ноября 2005 г. — СПб., 2005, с. 23–25.
2. *Арзаманов Д.Н., Доронин А.П., Тимощук А.С.* Способ снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха в районе старта ракеты-носителя с помощью искусственного тумана // Инновац. деят-сть в Вооруж. Силах Росс. Фед.: Труды Всеарм. научно-практич. конф. 17–18 ноября 2005 г. — СПб., 2005, с. 29–31.
3. *Арзаманов Д.Н., Доронин А.П., Лямин К.А.* Локализация газоаэрозольного выброса путем создания искусственного тумана // Инновац. деят-сть в Вооруж. Силах Росс. Фед.: Труды Всеарм. научно-практич. конф. 23–24 ноября 2006 г. — СПб.: 2006, с. 94–95.
4. *Богачев П.С., Борисов А.А., Маков А.Б., Шукин Г.Г.* К вопросу о нормативной стороне метеорологического обеспечения пусков ракет космического назначения с космодромов России // Учёные записки РГГМУ, 2014, № 36, с. 54–59.
5. *Борисенко М.М., Ширинов Н.В., Шукин Г.Г.* Аэроклиматические закономерности распределения ветра в слое атмосферы до 30 км в районе космодрома «Байконур» // Учёные записки РГГМУ, 2011, № 19, с. 53–60.
6. *Доронин А.П., Шмалько С.А., Черцов А.А., Фролов К.О.* Перечень прикладных задач, решаемых при модифицировании облаков и туманов естественного и искусственного происхождения // Труды межрегион. семина. «Экология и космос» им. акад. К.Я. Кондратьева / Под общ. ред. М.М. Пенькова. — СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014, с. 116–120.
7. *Колосков Б.П., Корнеев В.П., Шукин Г.Г.* Методы и средства модификации облаков, осадков и туманов. — СПб.: РГГМУ, 2012. — 342 с.
8. *Кричевский С.В.* Актуальные вопросы обеспечения экологической безопасности ракетно-космической деятельности // Экологич. безоп-сть России: Мат-лы Всеросс. конф. по экологич. безоп-ти (Москва, 4–5 июня 2002 г.). — М.: МПР России, 2002, с. 110–112.
9. *Справочник по климату СССР. Вып. 1. Архангельская и Вологодская области, Коми АССР. Ч. V. Облачность и атмосферные явления.* — Л.: Гидрометиздат, 1968. — 371 с.
10. *Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 1. Архангельская и Вологодская области, Коми АССР. Кн. 2.* — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — 343 с.
11. *Новый аэроклиматический справочник пограничного слоя атмосферы над СССР. Т. I. Статистические характеристики температуры, давления, плотности, влажности. Кн. 1.* — М.: Моск. отд. Гидрометеоздата. — 146 с.
12. *Новый аэроклиматический справочник особых слоев атмосферы над СССР. Т. I. Инверсии температуры воздуха. Кн. 2. Непрерывная продолжительность.* — М.: Моск. отд. Гидрометеоздата. — 106 с.
13. *Новый аэроклиматический справочник особых слоев атмосферы над СССР. Т. I. Инверсии температуры воздуха. Кн. 4. Комплексы мощности и интенсивности инверсии. Ч. I.* — М.: Моск. отд. Гидрометеоздата. — 210 с.
14. *Справочник по климату СССР. Вып. 1. Архангельская и Вологодская области. Ч. III. Ветер.* — Л.: Гидрометеоздат, 1967. — 305 с.
15. *Справочник по климату СССР. Вып. 1. Архангельская и Вологодская области, Карельская и Коми АССР. Ч. II. Температура воздуха и почвы.* — Л.: Гидрометеоздат, 1965. — 359 с.
16. *Справочник по климату СССР. Вып. 1. Архангельская и Вологодская области и Коми АССР. Ч. IV. Влажность воздуха, осадки и снежный покров.* — Л.: Гидрометеоздат, 1968. — 318 с.