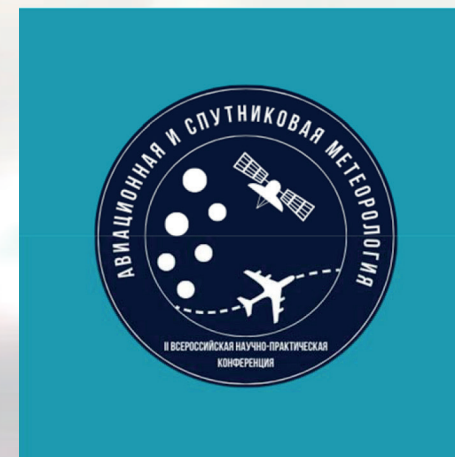


МАТЕРИАЛЫ
II ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«АВИАЦИОННАЯ И СПУТНИКОВАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ»,
ПОСВЯЩЁННОЙ 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ
СЕРГЕЯ ВАСИЛЬЕВИЧА СОЛОНИНА
9 октября 2023



Санкт-Петербург
Издательско-полиграфическая ассоциация
высших учебных заведений
2023

МАТЕРИАЛЫ
II ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ
«АВИАЦИОННАЯ И СПУТНИКОВАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ»,
ПОСВЯЩЁННОЙ 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ
СЕРГЕЯ ВАСИЛЬЕВИЧА СОЛОНИНА
9 ОКТЯБРЯ 2023

Санкт-Петербург
Издательско-полиграфическая ассоциация
высших учебных заведений
2023

УДК 551.5
ББК 26.20
М34

Р е д к о л л е г и я:

Анискина О. Г., к.ф.-м.н.

Волбуева О. В., к.г.н.

Дробжева Я. В., д.ф.-м.н.

Ермакова Т. С., к.ф.-м.н.

Материалы II Всероссийской научно-практической конференции «Авиационная и спутниковая метеорология», посвящённой 100-летию со дня рождения Сергея Васильевича Солонина. 9 октября 2023. — СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2023. — 206 с.

В издании представлены материалы докладов участников конференции по направлениям научных исследований в области внедрения современных автоматизированных и дистанционных методов наблюдений и систем сбора/обработки данных, цифровых технологий в гидрометеорологии, анализа и прогноза изменений климата, математического моделирования гидрометеорологических процессов, фундаментальных и прикладных проблем океанологии и гидрологии, совершенствования методов прогнозов погоды. В конференции участвовали ученые и студенты научно-исследовательских организаций и учреждений Российской академии наук, Росгидромета, Минобрнауки России.

Материалы конференции могут быть полезными специалистам в области геофизики, физики атмосферы, гидрометеорологии, гидрологии, океанологии, экологии, а также студентам соответствующих специальностей.

Материалы докладов выходят в редакции авторов.

© Коллектив авторов, 2023
© Издательско-полиграфическая
ассоциация высших учебных
заведений, 2023

ISBN 978-5-91155-261-9

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

| | |
|---|----|
| Мазуров Г.И., Акселевич В.И. | 7 |
| Научные идеи и деятельность профессора С.В. Солонина и их связь с современными проблемами авиационной и космической метеорологии Солонин А.С. | 11 |
| Конвергенция наук и технологий в авиационной метеорологии Петрова М.В., Быкова С.Г. | 14 |
| Развитие авиаметеорологического обслуживания в Российской Федерации | |

СЕКЦИЯ 1

СИСТЕМЫ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ: МОДЕРНИЗАЦИЯ, ЦИФРОВИЗАЦИЯ, ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПИЛОТИРУЕМОЙ И БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ

| | |
|--|----|
| Мазуров Г.И., Акселевич В.И. | 20 |
| Возможности использования информации об атмосферном давлении и параметрах ветра по маршруту для обеспечения безопасной высоты БПЛА при полетах на малых и предельно малых высотах Гусев С.О. | 25 |
| Комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция КРАМС-4 | |
| Лялюшкин А.С., Коломеец Л.И., Тетерин Е.А. | 27 |
| Обмен радиолокационными данными в странах СНГ: текущее состояние и перспективы | |
| Пугачев А. А., Коломеец Л.И., Тетерин Е. А., Зубков Р. А. | 32 |
| Использование веб-технологий для метеорологического обеспечения полетов БВС | |
| Русанов Д.В., Яременко И.А. | 35 |
| Анализ подходов к идентификации и классификации облачности на основе технологий искусственных нейронных сетей | |
| Цепелев В.Ю., Газизов И.Ш. | 36 |
| Мобильный комплекс аэрологического зондирования на базе беспилотного летательного аппарата | |
| Глибчук С.А., Коломеец Л.И., Воронин О.С., Лебедев А.В. | 38 |
| Метеорологическое обеспечение дронопортов (вертипортов) для проектов городской аэромобильности (аэротакси) | |
| Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Максимов А.В., Сероухова О.С., Симакина Т.Е., Солонин А.С. | 43 |
| К вопросу о точности современных средств измерения высоты нижней границы облачности | |
| Букатиц С. В., Лебедев А. В., Коломеец Л.И. | 47 |
| Автоматизированная информационная система интеграции метеорологической информации для автоматизированных систем управления воздушным движением (АС УВД) | |

СЕКЦИЯ 2

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: МЕТОДЫ, ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ

| | |
|---|----|
| Бузаева С.В., Евдокимова Т.А. | 50 |
| Актуальность использования спутниковых данных при обеспечении безопасности полетов | |
| Федосеева Н.В., Комнатов И.В. | 53 |
| Анализ мезомасштабных вихрей над Чёрным морем С использованием спутниковой съемки | |
| Симакина Т.Е., Федосеева Н.В., Сюткин Г.А. | 58 |
| Анализ когерентных конвективных структур в нижнем слое атмосферы по данным спутниковой съемки | |

СЕКЦИЯ 3

АВИАЦИОННАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ: МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ

| | |
|---|-----|
| Михайловский Ю.П., Синькевич А.А., Куров А.Б., Веремей Н.Е., Торопова М.Л., Кашлева Л.В. | 64 |
| Использование методов машинного обучения и искусственного интеллекта для прогноза и диагноза грозоопасности облаков Северо-Западного региона | |
| Солдатенко С.А. | 69 |
| Искусственный интеллект в задачах метеорологического обслуживания гражданской и экспериментальной авиации | |
| Краснов А.В., Семенов О.Г., Формазов А.К. | 73 |
| Особенности метеорологической обстановки в Арктической зоне Северного Ледовитого океана и ее влияние на безопасное использование пилотируемой авиационной техники | |
| Сажин И.В. | 77 |
| ИСКУССТВЕННОЕ увеличение осадков в целях тушения лесных пожаров в Сибири и На Дальнем Востоке в 2017-2023 гг.: результаты и вопросы оценки эффективности | |
| Ломакин И.В., Кашлева Л.В. | 77 |
| Условия развития сухих гроз, как причина возникновения пожаров в Якутии | |
| Переведенцев Ю.П., Васильев А.А., Мирсаева Н.А., Шерстюков Б.Г., Шанталинский К.М. | 82 |
| Особенности климатических изменений на территории России в последние десятилетия | |
| Сафонова С.Н. | 86 |
| Режим концентрации основных газовых компонент в воздушном бассейне Казани | |
| Глушкова В.Д., Кашлева Л.В. | 91 |
| Условия формирования рулонных облаков | |
| Малыгина Т.И. | 96 |
| Анализ электрической активности грозовых облаков на Северном Кавказе и в северо- западном регионе Европейской территории России | |
| Тюриков И.АИ., Саенко А.Г. | 97 |
| Получения поля переводных коэффициентов между радиолокационной отражаемостью и интенсивностью осадков | |
| Шишкина Т.Р. | 100 |
| Обзор современных методов исследования и прогноза града | |
| Винокурова Е.В., Алексеева Е.Г., Анискина О.Г. | 102 |

| | |
|--|-----|
| Исследование взаимодействия стратосферы и тропосферы | |
| Соколова А.П., Волобуева О.В. | 105 |
| Метеорологические наблюдения за космической погодой и информационное обеспечение воздушных судов | |
| Симакина Т.Е., Федосеева Н.В., Соловых А.Д. | 110 |
| Опасность турбулентности ясного неба в горном районе на севере Африки | |

СЕКЦИЯ 4

ПРОБЛЕМЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ В ИНТЕРЕСАХ ФОИВ

| | |
|--|-----|
| Моисеева Н.О., Караваев Д.М., Лебедев А.Б., Арзаманов Д.Н. | 116 |
| Методические основы разработки автоматизированной системы информационной поддержки принятия решений при планировании использования воздушного пространства | |
| Доронин А.П., Козлова Н.А., Петроченко В.М., Филиппёнок В.В. | 121 |
| Современный взгляд на классификацию атмосферных аэрозольных образований применительно к проблеме их дистанционного зондирования | |
| Елисейкин С.А., Подрезов В.А. | 122 |
| Оценка влияния вариаций метеопараметров на траектории неуправляемых авиационных изделий | |
| Борисов А.А., Жильчук И.А., Маков А.Б., Новиков Н.С. | 127 |
| Методологические основы оценивания качества метеорологического обеспечения полетов государственной авиации | |
| Александров В.Я., Капустин А.В., Харсов А.А. | 132 |
| Оценка возможности использования ГМСК «ХАРАКТЕР-К» при метеобеспечении полетов морской авиации | |
| Дорофеев В.В., Степанов А.В., Насонов А.А., Подгузов М.Ю., Яшинин А.Д. | 136 |
| Методика оценки видимости на местных воздушных линиях при полетах по правилам визуальных полетов | |
| Веселов В. С., Глушенко Д.Е., Чжан-Энь-Хын Д.С., Головин С.С. | 140 |
| Технологии дистанционного зондирования земли | |
| Чжан-Энь-Хын Д.С., Веселов В.С., Глушенко Д.Е., Жалнин А.Ю., Головин С.С. | 145 |
| Современные методы дистанционного зондирования Земли | |
| Жданов И.А., Глуховской И.И., Головин С.С. | 150 |
| Применение спутников в мониторинге и предотвращении последствий стихийных бедствий | |
| Руднев И.А., Чжан-Энь-Хын Д.С., Глуховской И.И. | 153 |
| Применение геоинформационных технологий в мониторинге и предотвращении лесных пожаров | |
| Жалнин А.Ю., Чжан-Энь-Хын Д.С., Семёнов В.А. | 156 |
| Применение автоматизированных информационных измерительных систем метеорологического мониторинга | |
| Хурасев А.М., Ситниченко Е.В., Асмолов К.Г. | 160 |
| Мониторинг радиоактивных загрязнений из космоса методом поправки химического потенциала | |
| Глуховской И.И., Глушенко Д.Е., Денисов А.А., Хомак А.В. | 163 |
| Метеорологическое обеспечение полетов на аэродроме Хабаровск (новый) | |
| Бутко М. А., Яковлев В.И., Климов Р.А. | 168 |
| Метеорологическое обеспечение воздушных судов полярной авиации с помощью спутниковой системы АРКТИКА-М | |

| | |
|--|-----|
| Асмолов К.Г., Ситниченко Е.В., Хурасев А.М. Метеорологические системы наблюдения | 171 |
| Глущенко Д.Е., Веселов В.С., Чжан-Энь-Хын Д.С., Жалнин А.Ю. Северный морской путь. развитие системы гидрометеорологического обеспечения в акватории северного морского пути | 175 |
| Закусилов В.П., Буи Т.Д., Базаррагчаа Ц.Э. Анализ конвективной деятельности в восточных прибрежных районах субэкваториального пояса южного полушария африканского континента | 179 |
| Закусилов В.П., Янсане И.С. Повторяемость гроз в континентальных и прибрежных районах субэкваториальных широт западной части африканского континента | 184 |
| Кузнецов И.Е., Шувакин Е.В., Смирнов М.В. Направления повышения эффективности системы гидрометеорологического обеспечения в условиях изменяющегося климата | 189 |
| Расторгуев И.П., Матюшенцев Д.С., Ширяев Д.В. Методика сверхкраткосрочного прогноза осадков в зоне атмосферных фронтов в холодный период года по радиолокационным данным | 194 |
| Расторгуев И.П., Сыпченко Н.А., Бойко Н.Д. Физико-статистический анализ и прогноз метеорологических условий на основе использования характеристик задерживающих слоёв | 201 |

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

НАУЧНЫЕ ИДЕИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРОФЕССОРА С.В. СОЛОНИНА И ИХ СВЯЗЬ С СОВРЕМЕННЫМИ ПРОБЛЕМАМИ АВИАЦИОННОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ

Мазуров Г.И.¹ Акселевич В.И.²

¹ Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова

² Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики
nanmaz@rambler.ru , vaksster@gmail.com

Аннотация. В статье даются основные сведения о профессоре Солонине, как выдающемся организаторе науки, одном из основоположников навигационной метеорологии. Рассматриваются результаты его научной деятельности через призму сегодняшнего дня и их связь с актуальными проблемами авиационной метеорологии и космической погоды. Выделяются основные направления развития и совершенствования авиационной метеорологии.

Ключевые слова. Навигационная метеорология, проблемы авиационной и космической метеорологии, метеобеспечение полетов авиации, космическая погода.

SCIENTIFIC IDEAS AND ACTIVITIES OF PROFESSOR S.V. SOLONIN AND THEIR RELATION WITH MODERN PROBLEMS OF AVIATION AND SPACE METEOROLOGY.

Mazurov G.I.¹, Akselevich V.I.²

¹ Main Geophysical Observatory named by A.I. Voeikov

² St. Petersburg University of Technologies Management and Economics

Annotation. The article provides basic information about Professor Solonin as an outstanding organizer of science, one of the founders of navigational meteorology. The results of his scientific activity are considered through the prism of today and their connection with the actual problems of aviation meteorology and space weather. The main directions of development and improvement of aviation meteorology are highlighted.

Keywords. Navigational meteorology, problems of aviation and space meteorology, meteorological support for aviation flights, space weather.

6 октября 2023 года исполняется 100 лет со дня рождения профессора Сергея Васильевича Солонина. Он прожил короткую, но яркую жизнь.

С первых дней Великой Отечественной войны был ее активным участником, а с 1956 по 1971 г. г. служил на военной кафедре ЛГМИ (впоследствии РГТМИ), с которой уволился в звании полковника.

В 1966 году он создал научно-исследовательский институт авиационной метеорологии (НИИАМ) при ЛГМИ, директором которого был до своей смерти в 1978 году. К сожалению, тогда никто не смог этим институтом руководить и институт распался.

В 1971 году профессор создал первую в стране и, пожалуй, первую в мире, кафедру Космических и авиационных методов исследований в гидрометеорологии (КАМИ), заведующим которой был до конца своей кончины в 1978 году. В последствии подобные кафедры стали создаваться в других институтах и университетах.

Настоящая Российская конференция посвящена памяти выдающегося организатора науки, одного из отечественных основоположников авиационной метеорологии летательных аппаратов (ЛА) сверхзвуковых скоростей и космической метеорологии, доктора физико-математических наук, профессора, полковника в отставке Солонина Сергея Васильевича. Поскольку изначально Сергей Васильевич преподавал на военной кафедре ЛГМИ авиационную метеорологию, то широкий круг его интересов в первую очередь включал

вопросы бурно развивавшейся науки о метеобеспечении полетов авиации. Он рассматривал эффективность полетов летательных аппаратов, экономии топлива в зависимости от выбора высоты и расчета траектории полета с учетом ветра. Было посвящено несколько статей трассам минимального времени (ТМВ) [1], а также АСМОП – автоматизированной системе метеорологического обеспечения полетов [2, 3]. В настоящее время последняя проявилась в виде автоматизированных мест синоптика и штурмана.

Сергей Васильевич Солонин прошел на военной кафедре ЛГМИ (1956-1971) ряд служебных ступенек от старшего лейтенанта до полковника. Это был талантливый организатор науки, дальновидный ученый, высококвалифицированный педагог. С.В. Солонин был очень энергичным офицером и самым крупным ученым за все время существования кафедры. Он подготовил более полутора десятков кандидатов наук, в том числе несколько будущих полковников: В.С. Агалакова, Г.И. Мазурова и некоторых других.

За 26 лет службы и работы в университете он развивал научные идеи в нескольких направлениях. Рассмотрим их более подробно.

1. Повышение безопасности полетов исследовалось, как вблизи подстилающей поверхности, так и на высотах. При исследовании повышения безопасности полетов вблизи подстилающей поверхности исследовались вопросы рационального учета при взлете и посадке. Здесь следует учитывать работы многих его учеников, и в том числе В.Г. Глазунова по сдвигу ветра.

2. На высотах исследования проводились по турбулентности атмосферы, приводящие к болтанке летательных аппаратов. Здесь рассматривались в основном высокие слои тропосферы и нижней стратосферы. В этом направлении много проработал О.Г. Богаткин, начиная с 1961 года [4]. Ему удалось собрать обширный материал по болтанке самолетов в названных слоях атмосферы и довести работу под руководством Сергей Васильевича до защиты кандидатской диссертации в 1968 году.

3. По экономичности полетов самолетов исследования проводились с учетом ветрового и термического режима при полетах в верхней тропосфере и особенно в зоне тропопаузы, где высока повторяемость струйных течений. Направления исследований, выбранных С.В. Солониным, связаны с тем, что он окончил штурманское училище и летал на самолетах типа ТУ-104 по протяженным маршрутам. При этом он сразу почувствовал на личном опыте влияние ветра на дальность и продолжительность полета через путевую скорость. После окончания Военного гидрометеорологического факультета Советской армии (ВГМФ СА) в 1956 году он начинает служить на военной кафедре ЛГГМИ. Изучает более подробно книгу генерал-майора, профессора Г.Ф. Молоканова «Учет ветра в дальних полетах». С тех пор он говорил, что «бросил силы на ветер». В 1959 году успешно защищает кандидатскую диссертацию по физико-математическим наукам. В ней он подробно исследует навигационный треугольник скоростей, доказывает целесообразность использования барического метода навигации и вводит понятие «эквивалентного ветра». В итоге в соавторстве с Наровлянским пишет книгу «Эквивалентный ветер». Позднее под его руководством этими вопросами занимались В.И. Ершова, Г.И. Мазуров, В.И. Мазовер и другие.

К проблеме повышения экономичности относится исследование по регулярности полетов [5]. В 1966 году он создает научно-исследовательский институт авиационной метеорологии (НИИАМ) и становится его директором вплоть до кончины в 1978 году.

Вопросами повышения регулярности полетов занимались практически все сотрудники НИИАМ. Идея исследования заключалась в том, что время вылета целесообразно было согласовать с погодными условиями, как на аэродроме вылета, так и на аэродроме посадки. Сотрудники рассчитывали повторяемости сложных (не благоприятных) условий погоды у подстилающей поверхности в различных аэропортах. Затем выбирали периоды суток в тех или иных аэропортах, когда такие условия не наблюдались.

Вопросами рационального учета распределения ветра на таких протяженных трассах, как Москва—Хабаровск, Москва—Гавана, Москва—Токио, Москва—Нью-Йорк и Мурманск—Анкара. Этими исследованиями многие сотрудники НИИАМ, в том числе Г.А. Дегтеренко, В.С. Ершова и Г.И. Мазуров. В 1972—1973 годах названные трое защитили кандидатские диссертации. В этих работах рассматривались вопросы экономичного расхода топлива с учетом ветрового и термического режима. Данная проблема особенно актуальной оказывается в настоящее время, в связи с возникающим энергетическим кризисом в планетарном масштабе. Здесь чувствуется научная дальнорзкость Сергея Васильевича, который задал темы исследований. В этих работах доказывалась целесообразность выбора пространственного масштаба осреднения поля ветра, по барическому полю (расширение сферы использования барического метода навигации) и введение понятия трасс ТМВ. В последнем случае учитывался не только термический, но и ветровой режим, что повышает экономичность расходования топлива.

4. По проблеме экологии в первую очередь следует назвать работы по исследованию поля озона вблизи стратосферы над северным полушарием (Н. Виноградова) и как по его отрицательному влиянию на полеты самолетов и самочувствие пассажиров, так и обратного влияния самолетов на измене параметров этого поля. На эту тему была успешно защищена кандидатская диссертация В.В. Осечкиным. Это было примерно за 10 лет до выявления озонной «дыры» над Южным полушарием. Кстати, сказать до сих пор с причинами ее возникновения и существования разобраться не могут. Однако нобелевскую премию три иностранных ученых получили.

Навигационная метеорология изучает процессы, происходящие в атмосфере, и саму атмосферу, погоду и Климат в различных участках земного шара.

Вместе с учениками Сергей Васильевич попутно намечал исследования болтанки в облаках, общего содержания и вертикального распределения озона, основы метеорологического обеспечения полетов на больших высотах, включая космос и космическую погоду, и сверхзвуковых скоростях, а также вертолетов.

Здесь так же проявляется научная дальновидность Сергея Васильевича при задании темы диссертации.

В целом 1970-ые годы являются наиболее ярким периодом творчества Сергея Васильевича, который безвременно скончался 24 июня 1978 года. Так, в 1968 году он проводит конференцию по авиационной метеорологии, а в 1971 году Всесоюзную конференцию по вопросам метеорологического обеспечения сверхзвуковой авиации. Обе конференции проводятся на базе ЛГМИ. На последней выступает космонавт, Герой Советского Союза Е.В. Хрунов, а также лауреат Государственной премии академик К.Я. Кондратьев и другие крупные ученые П.Д. Астапенко, В.И. Воробьев, Г.П. Гушин, Л.Т. Матвеев, В.Д. Степаненко и др.

В 2008 году (7-10 октября) на базе РГГМУ проводилась Международная конференция по авиационной и спутниковой метеорологии, посвященная 85-тиятилетию со дня рождения (памяти) Сергея Васильевича Солонина. На ней с докладами выступает несколько крупных ученых: Гусейнов Н.Ш. (Азербайджан), Дегтяренко Г.А., Вильфанд Р.М., Карлин Л.Н., Логинов В.Ф. (Беларусь), Переведенцев Ю.П., Тертышников А.В. и др. Был выпущен Сборник трудов конференции.

На военной кафедре Сергей Васильевич прослужил 15 лет. В 1971 году он увольняется из рядов Советской Армии в звании полковника и организует кафедру космических и авиационных методов исследования (КАМИ). В это время расцветает творческая деятельность НИИАМ.

Им написано несколько книг по авиационной метеорологии, которые неоднократно переиздавались, а также он был активным участником и редактором нескольких выпусков трудов ЛГМИ.

Перечислить всех его учеников затруднительно. Из наиболее ярких следует отметить: академика двух академий, бывшего начальника кафедры математики Морского корпуса им. Петра Великого профессора Г.А. Дегтеренко, бывшего декана метеорологического факультета Казанского государственного университета профессора Ю.П. Переведенцева, а также профессоров О.Г. Богаткина, Г.И. Мазурова и некоторых других.

Под его научным руководством защищено более полутора десятков кандидатских диссертаций. Следует выделить в лучшую сторону диссертации В.С. Агалакова, О.Г. Богаткина, В.С. Ершовой, С.И. Мазовер, В.В. Осечкина и некоторых других.

В целом, анализируя короткий жизненный путь Сергея Васильевича Солонина, следует сказать, что он характеризуется большим количеством новых научных идей в области авиационной и спутниковой метеорологии.

Известно, что наука развивается по спирали. Поэтому некоторые проблемы изучаются неравномерно с учетом складывающейся ситуации. Но даже исследование проблем, казавшихся тупиковыми и нерешаемыми, на следующем историческом витке выходит на передний план. Казалось бы, значительная часть научного наследия Сергея Васильевича сегодня находится в тени и не востребована, но вдруг его находки, формулы и подходы всплывают применительно к обслуживанию деятельности беспилотных ЛА (БПЛА) или дронов. В настоящее время мы мечтаем о космических просторах и о сверхзвуковых скоростях. Но видимо в космические просторы полетит искусственный интеллект (ИИ), о котором мечтал Сергей Васильевич в своих разработках об АСМОП. К сожалению, не получили развития при обеспечении гражданских перевозок сверхзвуковые самолеты. Их загубила не только экономическая нерентабельность, а и нерасторопность наземных служб. Получалось, что 10 тыс. км сверхзвуковой самолет преодолевает за 3 часа, на получение багажа пассажир в пункте назначения тратит еще 3 часа, а в связи с участвовавшими случаями угона самолетов террористами на таможенный досмотр требуется еще больше. Сверхзвуковые самолеты получили применение в военном ведомстве.

В гражданской авиации укрепились скорости в 600-900 км/ч, а в последние 10-20 лет и того меньше в связи с совершенствованием и развитием тихоходных дронов, поскольку их себестоимость в 20 раз меньше, чем самолетов и, главное не гибнет пилот.

Существует ряд подходов к определению наиболее приоритетных для отрасли наук направлений развития и ключевых проблем. Среди них изучение Википедии и подобных энциклопедических статей, анализ частоты встречаемости проблемы в реферативных журналах. Интересным индикатором важности метеорологических проблем является основанная в 1989 году программа Comet, поддерживаемая целой группой правительственных и общественных организаций со всего света. Эта программа создана UCAR и Национальной метеорологической службой (NWS) NOAA для содействия лучшему пониманию мезомасштабной метеорологии синоптиками и максимального использования преимуществ новых погодных технологий, появившихся в ходе программы модернизации NWS.

COMET служит международному геолого-геофизическому сообществу, преобразовывая возникающие знания и компетенции в области геолого-геофизических наук в образовательные ресурсы.

Основные проблемы зарубежной авиационной метеорологии связаны со структурой авиационной программы NWS, метеорологическими наблюдениями для авиационного прогнозирования, производством метеорологического анализа и инструментами прогнозирования для авиации.

Основные проблемы отечественной авиационной метеорологии отражены в названиях секций конференции и ее целях. Это все, что связано с метеорологическими наблюдениями, их распространением и усвоением, модернизацией и цифровизацией, моделирование и прогнозирование параметров авиационной метеорологии, обеспечение прикладных

гидрометеорологических и экологических задач в интересах ФОИВ, спутниковым мониторингом и космической погодой.

Среди множества проблем современной авиационной метеорологии выделяются 3. Первая – обеспечение полетов беспилотных летательных аппаратов. Проблема серьезная и многообразная с учетом обилия размеров БПЛА и задач, решаемых ими. Вторая проблема связана с распространением и усвоением информации. К сожалению, образовался серьезный разрыв между оснащением передовых научно-исследовательских и прогностических метеоподразделений и основной сетью метеорологических организаций. Разрыв обусловлен весьма различной материально-технической базой и уровнем подготовки большинства метеоспециалистов, а короче недофинансированием. Со второй проблемой тесно связана и третья – подготовка высококвалифицированных кадров и удержание их в отрасли. Это затруднительно, поскольку оклады в метеорологической отрасли достаточно низкие.

И снова главной проблемой является недостаток финансовых средств и как следствие недофинансирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солонин С.В., Ершова В.С., Мазовер С.И. Определение траектории минимального времени полета самолета методом динамического программирования с учетом сферичности Земли – Труды ЛГМИ, 1971, вып. 42, с. 43-50.
2. Солонин С.В., Еникова В.Д. Алгоритмы принятия решения в автоматизированных системах управления воздушным движением. – В кн.: Авиационная и космическая метеорология. Межвузовский сб., 1977, вып. 64, с. 16-23 (ЛГМИ)
3. Солонин С.В., Еникеева В.Д. Методы теории распознавания образов в приложении к задачам авиационной метеорологии. В кн.: Проблемы авиационной метеорологии. Межвузовский сб.: 1976, вып. 61. с. 8-10 (ЛПИ);
4. Солонин С.В., Богаткин О.Г., Толстоброва Л.И., Аэросиноптические условия и прогноз болтанки сверхзвуковых самолетов в стратосфере. Тр. Всесоюзный копер. по вопросам метеор. обеспечения сверхзвуковой авиации Л.: 1971. с. 150-159
5. Солонин С.В., Барабанов А.Е., Солонин А.С. О принципах составления расписания движения воздушных судов с учетом метеорологических условий. В кн. авиационная и космическая метеорология. Межвузовский сб. 1977. вып. 64, с 5-15 (ЛГМИ)

КОНВЕРГЕНЦИЯ НАУК И ТЕХНОЛОГИЙ В АВИАЦИОННОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ

Солонин А.С.

Институт радарной метеорологии
iram@iram.ru, sas@iram.ru

Аннотация. В статье отражены вопросы конвергенции наук и технологий в авиационной метеорологии, рационального учета физического состояния атмосферы при построении траекторий минимального времени и оптимизации режимов полета самолета.

Ключевые слова. Конвергенция. Авиационная метеорология. Метеорологическое обеспечение полетов самолетов.

CONVERGENCE OF SCIENCES AND TECHNOLOGIES IN AVIATION METEOROLOGY

Solonin A.S.

Institute of Radar Meteorology

Annotation. The article reflects the issues of convergence of sciences and technologies in aviation meteorology, rational consideration of the physical state of the atmosphere when constructing trajectories of minimum time and optimization of aircraft flight modes.

Keywords. Convergence. Aviation meteorology. Meteorological support for aircraft flights.

Конвергенция наук и технологий в авиационной метеорологии – объединение, взаимопроникновение наук и технологий при изучении влияния метеорологических условий на авиационную технику и ее применение.

Авиационная метеорология широко использует достижения аэродинамики, теории самолетовождения и воздушной навигации, радиометеорологии, космонавтики и др.

Конвергенция авиационной метеорологии с перечисленными отраслями научных знаний вполне закономерна. Без конвергентного подхода нельзя глубоко познать физическую сущность влияния атмосферных условий на полеты самолетов и вертолетов, на деятельность авиации в целом.

Аэродинамика, теория самолетовождения и воздушная навигация, решая свои задачи, также соприкасаются с авиационной метеорологией.

Аэродинамика затрагивает такие вопросы, как строение и термодинамики атмосферы, турбулентность и т.п.

Теория самолетовождения при решении ряда задач опирается на современные сведения о полях воздушных течений и их особенностях на различных высотах.

Авиационная метеорология, конструируя достижения физики атмосферы, динамической, синоптической метеорологии и других разделов метеорологической науки, в свою очередь стимулирует развитие метеорологической науки в целом.

До появления реактивных самолетов сведения о метеорологических условиях в верхней тропосфере и стратосфере были весьма ограниченными. Необходимость обеспечения полетов реактивных самолетов поставила перед авиационной метеорологией в качестве одной из задач изучение метеорологических условий полетов на больших высотах и инициировала разработку технических средств для ее решения. Регулярные и многочисленные исследовательские полеты современных самолетов позволили получить информацию о полях облачности, ветра турбулентности в свободной атмосфере.

При полетах самолетов гражданской авиации особое значение имеет учет метеорологических факторов при инженерно-штурманских расчетах для более эффективного использования летно-технических данных воздушных судов.

Степень сложности метеорологических условий полетов в основном определяется состоянием облачности и видимостью. Взлет и посадка самолетов и вертолетов, их пилотирование и самолетовождение, комфортабельность и безопасность полетов, эффективность выполнения летных задач в основном зависят от состояния облачности и от связанных с ней метеорологических явлений, таких, как грозы, шквалы, ливни, град и т. п. Безопасность полетов на больших высотах невозможно обеспечить без тщательного учета влияния температуры и плотности воздуха, ветра и других характеристик физического состояния атмосферы.

Современные скоростные самолеты давно перешагнули скорость звука и вышли за пределы тропосферы. Полеты в верхней стратосфере и мезосфере со скоростями, значительно превышающими скорость звука, стали реальностью. Авиация перенесла поле своей деятельности в околоземное космическое пространство. Это обязывает авиационных метеорологов изучать условия полетов в верхней атмосфере и космическом пространстве. Поэтому проблемы условий полетов в околоземном космосе интенсивно разрабатываются авиационной метеорологией. Важным компонентом метеорологического обеспечения полетов становится космическая погода.

Значительные достижения в области математической теории больших систем и теории оптимального управления, появление цифровых платформ и экосистем, успехи в области искусственного интеллекта и машинного обучения позволяют по-новому организовать сбор, обработку и анализ метеорологической информации и открывают большие возможности для автоматизации метеорологического обеспечения полетов в целом.

Тем не менее, как показывает анализ многих авиационно-метеорологических задач, нельзя добиться существенных результатов путем «слепого» применения математических методов без учета особенностей структуры полей метеорологических элементов и физических процессов, происходящих в атмосфере.

Так при решении задач, связанных с определением оптимальных режимов полета самолета в реальных полях метеорологических элементов, весьма важно принимать во внимание особенности пространственной и временной структуры этих полей. Это позволяет существенно упростить многие задачи и довести их до практического приложения. В частности, как показывает анализ траектории полета самолета в барическом поле, очень большие преимущества получаются при использовании квазигеострофического приближения. При интегрировании дифференциальных уравнений траектории самолета в барическом поле с привлечением геострофических соотношений происходит переход в новое качество, связанный с основным свойством крупномасштабных атмосферных движений – адаптацией поля давления к полю ветра.

Задачи, связанные с оптимальным учетом физического состояния атмосферы в авиационной практике, являются вариационными. Условно их можно разделить на три класса:

- определение оптимальных траекторий полета (так называемые «траекторные» задачи);
- определение оптимальных режимов полета;
- комплексное определение оптимальных траекторий и режимов.

При решении этих задач обычно используются следующие основные критерии оптимальности: минимальное время полета, минимальный расход топлива, минимум эксплуатационных расходов.

Задача построения траектории минимального времени (ТМВ) полета самолета в поле переменного ветра решена в работах С.В. Солонина следующими различными методами:

- метод изохрон и решение уравнения Гамильтона – Якоби;
- определение траектории минимального времени полета самолета на основе принципа Ферма
- принцип максимума Л.С. Понтрягина
- метод динамического программирования Р. Беллмана.

Для оценки загрязнения атмосферы выбросами продуктов сгорания из двигателей высотных самолетов одной из основных характеристик является время полета, так как с ним непосредственно связано количество расходуемого топлива. Сокращение времени полета самолета в конечном итоге приводит к уменьшению расхода топлива, а, следовательно, и самолетных загрязнений атмосферы.

Результаты, полученные при вариационном подходе к задаче о минимальном загрязнении атмосферы, с достаточной определенностью указывают на достижимость значительного сокращения авиационных загрязнений в результате экономии топлива при полетах по оптимальным траекториям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов А.М., Солонин С.В. Авиационная метеорология, Л., Гидрометеиздат, 1975, 390 с.

2. Ершов В.С., Солонин С.В. О наиболее выгодной скорости полета самолета с учетом ветра. – «Тр. ЛГМИ», 1968, вып. 34, с. 102-109.
3. Молоканов Г. Ф. О законе управления самолетом, перелетающим из одного пункта в другой в кратчайшее время. – «Изв. АН СССР. Техническая кибернетика», 1966, № 1, с. 161-169.

РАЗВИТИЕ АВИАМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Петрова М.В.¹, Быкова С.Г.²

¹ФКУ «Гидрометсервис», Москва

²Санкт-Петербургское региональное отделение РГМО, Санкт-Петербург

¹*petrovamv@mail.ru*, ²*nwf2005@inbox.ru*

Аннотация. В статье рассматривается связь научной концепции С.В. Солонина об автоматизированной системе метеорологического обслуживания полетов с современными аспектами метеобеспечения. Актуальные проблемы единой авиационной метеорологической системы в России и современные вызовы, стоящие перед авиаметеорологическим обслуживанием.

Ключевые слова. Авиаметеорологическое обслуживание, авиационная метеорологическая система, проблемы авиаметеорологической системы, концепция развития АМО в РФ.

DEVELOPMENT OF AVIATION METEOROLOGICAL SERVICES IN THE RUSSIAN FEDERATION

Petrova M.V.¹, Bykova S.G.²

¹FGI «Hydrometservice», Moscow

²St. Petersburg Regional Branch of Russian Hydrometeorological Society, Saint Petersburg

Annotation. The connection between the scientific concept of S.V. Solonin, based on the use of an automated flight meteorological service system, and modern aspects of aviation meteorological provision is considered. Current problems of the unified aviation meteorological system in Russia are discussed, as well as modern challenges facing aeronautical meteorological services.

Keywords. Aviation meteorological services, aviation meteorological system, concept for the development of aviation meteorological services in the Russian Federation.

Создание автоматизированной системы метеорологического обслуживания полетов (АСМОП) было главной целью деятельности Сергея Васильевича Солонина. В 1961 г. у Сергея Васильевича уже полностью сформировалась собственная научная концепция автоматизации навигационно-метеорологического обеспечения полетов, которая заключалась в следующем:

- Обеспечить безопасность полетов в метеорологическом отношении, т.е. предотвратить возникновение в полете критических ситуаций, связанных с возникновением опасных для авиации атмосферных явлений, попаданий ВС в условия ниже установленного погодного минимума;

- способствовать повышению регулярности полетов;
- содействовать максимальному экономическому эффекту воздушных перевозок.

В 1968 г. им была разработана структурная схема будущей АСМОП в следующем виде:

- управляющее устройство (метеоусловия);
- управляемый объект (самолет);
- возмущающее воздействие (непредвиденные изменения метеорологических условий).

И обязательное условие - задача автоматизации АМО должна решаться в комплексе с автоматизацией управления воздушным движением.

После безвременной кончины Сергея Васильевича работы по дальнейшему развитию АСМОП, к сожалению, начали сокращаться, а в 1990 г., в связи с общим экономическим кризисом в стране, вообще прекратились.

Какие же изменения произошли в целом за десятилетия и какие вызовы стоят сейчас перед авиаметеорологическим обслуживанием (АМО).

Скорректированы требования к авиаметеобслуживанию и его цели:

1 Цель АМО - поддержка безопасной, эффективной, надежной, экономически устойчивой и экологически ответственной деятельности гражданской авиации (ГА).

2 Выполнение и будущее развитие АМО в настоящее время рассматривается в контексте Долгосрочного плана по развитию авиационной метеорологии (ВМО), Глобального аэронавигационного плана (GANP ИКАО), Глобального плана обеспечения авиационной безопасности (GASP ИКАО), Концепции развития аэронавигационного обслуживания в РФ.

3 Метеорологическая компонента признана ключевым фактором, способствующим развитию многих оперативных областей GANP, таким как взлет, посадка, полет по маршруту и пр. Модернизация воздушного транспорта в течение этого десятилетия и в последующий период обусловлена переходом к общесистемной среде управления информацией (SWIM) и необходимостью повышения эксплуатационной совместимости, позволяющей лучше интегрировать авиационную метеорологическую информацию (АМИ) в системы управления воздушным движением (ОрВД) и совместного принятия решений (CDM).

АМО в России осуществляется в пределах территории и воздушного пространства Российской Федерации, превышающие 25 млн. кв. километров, протяженность воздушных трасс составляет 532 тыс. километров, из которых 150 тыс. километров являются международными.

В Государственный реестр аэродромов и вертодромов гражданской авиации Российской Федерации включено 226 аэродромов, 91 аэропорт отнесен к аэропортам федерального значения и 79 имеют статус международного аэропорта. Кроме того, в стране существует более 2400 посадочных площадок, часть из которых эксплуатируется в интересах регулярного местного и регионального авиационного сообщения.

Основой предоставления аэронавигационного метеорологического обслуживания являются отношения между поставщиком/потребителем, поставщиком услуг/клиентом.

Росгидромет и Росавиация являются партнерами и очень тесно сотрудничают по вопросам АМО. Росавиация осуществляет предоставление государственных услуг по аэронавигационному обслуживанию, составной частью которого является АМО. Тактические и стратегические планы развития аэронавигации в РФ, формируются с поддержкой Росгидромета в отношении метеорологического компонента.

АМО в РФ осуществляют 250 оперативных подразделения АМЦ/АМСГ, как в составе Росгидромета, так и не входящих в состав Росгидромета, но имеющих полномочия и лицензию Росгидромета, обеспечивающие выпуск и предоставление свыше 6 млн. единиц АМИ ежегодно. Это единая авиационная метеорологическая система (АМС) организации и осуществления АМО аэронавигации и всех групп пользователей воздушного пространства Российской Федерации.

АМС подразумевает интегрированное взаимодействие человека, технологий, средств и служб, при поддержке современных и перспективных наземных средств наблюдений,

средств дистанционного зондирования атмосферы (ДЗА), вычислительных систем высокой производительности, высокоскоростных телекоммуникационных систем.

Принадлежность к АМС означает, что деятельность целиком или частично направлена на решение задач АМО. Координация деятельности и развития АМО в интересах аэронавигации, обслуживания пользователей воздушного пространства осуществляется Росгидрометом, независимо от того, находятся или нет подразделения АМС в его прямом подчинении и независимо от их ведомственной принадлежности.

В подразделениях АМС для оперативной деятельности применяется следующие технические средства наблюдения, прогнозирования, представления информации:

- автоматизированные метеорологические измерительные системы (АМИС) для наблюдения за фактической погодой на аэродромах с формированием климатических сводок;
- автоматизированные рабочие места синоптиков с ГИС технологиями, комплексирующими разнородные метеорологические данные с программными средствами генерации любой необходимой для АМО информации;
- информация всех существующих в РФ ДМРЛ с автоматизированной системой обработки радиолокационной информации, а также информации метеоспутников;
- средства автоматизированного сопряжения источников метеоинформации и систем УВД;
- средства автоматизации представления полетной документации авиационным пользователям;
- технологии автоматизированного наблюдения, обработки информации и централизованного удаленного прогнозирования условий погоды для ГА;
- информационные порталы накопления, обработки и персонализированного представления информации авиационным пользователям и др.

Основу технического оснащения АМС составляют традиционные технические и технологические средства и системы как иностранного, так и отечественного производства, ограниченные по своим функциональным возможностям, причем около 80% этих средств и систем (из 7500 единиц) выработали свой технический ресурс и подлежат замене. Несмотря на работы, проводившиеся в рамках ФЦП «Модернизация ЕС ОрВД», Государственной программы «Развитие транспортной системы» проблема переоснащения и модернизации, обеспечения современного технического и технологического уровня АМС, решена далеко не в полном объеме.

Стратегической задачей АМС является ускоренный переход на отечественное метеорологическое оборудование. При реализации указанной задачи необходимо ориентироваться на возможности отечественной промышленности по импортозамещению техники метеорологического назначения, учитывать и применять самые современные отечественные решения на базе сквозных цифровых технологий (искусственный интеллект, Интернет вещей, большие данные, и др.). Многие виды отечественного оборудования требуют доработки/разработки его новых видов, с целью повышения надежности работы, повышения ресурсов, его сертификации и т.д.

К проблемам, требующим в настоящее время особого подхода, относятся:

- ограничение в решении вопросов сопряжения и внедрения перспективных цифровых технологий, реализующих автоматизированное взаимодействие с системами органов аэронавигационной системы в реальном масштабе времени, автоматизированными системами планирования и аэронавигационной информации авиакомпаний;
- отсутствие унифицированных форматов распространения и хранения данных наблюдений и прогностической продукции, что затрудняет их непосредственное использование и интеграцию в пользовательские автоматизированные системы принятия решений;

• не осуществляется на должном уровне автоматизированное взаимодействие всех информационных модулей авиаметеорологического обслуживания, как между собой, так и с элементами базовой инфраструктуры Росгидромета;

• отсутствие приемлемого количества данных наземных метеорологических наблюдений и ДЗА. Плотность этих сетей наблюдений в ряде регионов страны является недостаточной для идентификации опасных явлений погоды, составления качественных авиационных прогнозов погоды;

• отстающее от ведущих зарубежных национальных метеослужб (далее - НМС) численное прогнозирование погоды (ЧПП) в Российской Федерации как фундаментальной основы для развития авиационного прогнозирования и импортозамещения продукции зарубежных прогностических центров, включая ВСЗП ИКАО;

• зависимость ЧПП в Российской Федерации от поступления исходных метеорологических данных зарубежных НМС;

• отсутствие надежных методов объективного прогноза опасных явлений погоды, точных количественных методов авиационных прогнозов осложняют прогнозирование быстрых изменений метеопараметров атмосферы и явлений; практически отсутствуют методы и системы сверхкраткосрочного прогноза от 0 до 6 часов (наукастинга).

Вышеперечисленные факторы ограничивают функциональные возможности существующей АМС, а в сочетании с ее недостаточностью финансирования не позволяют в полной мере реализовать структурный потенциал АМС для ее институциональных преобразований и развития.

Таким образом, сохраняется необходимость проведения в приоритетном порядке дальнейшей глубокой модернизации, как инфраструктуры метеорологического обслуживания авиации, так и поддерживающих его базовых систем наблюдений в части их эксплуатации и технического состояния.

Назрела острая потребность (еще вчера) в принятии в РФ концепции развития АМО на краткосрочный, среднесрочный и долгосрочный период (далее – Концепция).

Концепция должна определить основные организационные, экономические, технические и социальные направления развития и модернизации АМС и быть ориентирована на:

• обеспечение национальных интересов Российской Федерации в сфере выполнения полетов гражданской и экспериментальной авиации;

• выполнение существующих и перспективных требований авиационных пользователей с учетом суверенизации АМО, положений международных документов стратегического уровня.

Концепция важна для отраслевого планирования, направленного на создание инвестиционных, инфраструктурных и технологических условий для регулирования и устойчивого развития АМС в Российской Федерации.

Для достижения поставленных целей в рамках развития АМС Российской Федерации необходимо будет решить следующие задачи:

• институциональное целостное укрепление национальной системы АМО за счет системного подхода к структурной, технической и технологической модернизации авиационных метеорологических подразделений, их финансирования;

• сохранение и укрепление позиций Российской Федерации на международном рынке авиаметеорологических услуг;

• создание системы консультативных центров прогнозирования и выпуска прогностической продукции и консультативных сообщений об опасных для авиации явлениях и условиях погоды, оперативных данных в соответствии с национальными и международными требованиями, укрупнение и реструктуризация прогностических центров;

- улучшение обеспеченности авиационных пользователей своевременной и достоверной метеорологической информацией на основе совершенствования технологий обслуживания пользователей АМИ;

- организация новой иерархии прогностических авиаметеорологических центров, выпуска консультативных сообщений различного вида об опасных для авиации явлениях и условий погоды, оперативных данных в соответствии с национальными и международными требованиями. Совершенствование системы метеорологических наблюдений на сети наземных станций и средств ДЗА.

Мероприятия Концепции позволяют:

- обеспечить эффективное государственное регулирование организации и осуществления авиаметеорологического обслуживания в Российской Федерации;

- провести модернизацию технического обеспечения АМС;

- обеспечить проведение единой экономической и технической политики в сфере метеорологического обслуживания, добиться унификации используемых при этом исключительно отечественных технических средств и систем, снижения затрат на их разработку, закупку и эксплуатацию;

- устранить недостаточную координацию развития систем метеорологических наземных, дистанционных наблюдений, связи и технико-технологического обеспечения предоставления авиаметеорологической информации и услуг;

- повысить управляемость, функциональность АМС с учетом интересов аэронавигационной системы, авиаперевозчиков;

- обеспечить предоставление полного объема метеоинформации для выполнения аэронавигационного обслуживания ВС с использованием перспективной техники и технологий по методу «от перрона до перрона», с учетом развития аэродромной сети Российской Федерации;

- обеспечить содействие повышению уровня безопасности воздушного движения и экономической эффективности использования воздушного пространства в том числе, при полетах в районах Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока.

Меняющаяся парадигма предоставления АМО определяет необходимость дальнейшего развития партнерских отношений, координации взаимодействия в рамках современных моделей предоставления услуг.

Очевидно, что авиационное метеорологическое обслуживание в полной мере будет ценным только тогда, когда оно хорошо интегрировано в процессы принятия решений конечными пользователями. Авиационное метеорологическое обслуживание не может разрабатываться или предоставляться изолированно.

Операционная среда с множеством факторов риска требует безупречной бесшовной модели предоставления услуг. Несмотря на неопределенность авиационной метеопрогнозов, авиационным пользователям необходима общая ситуационная осведомленность обо всех метеорологических опасностях во всех требуемых пространственных и временных масштабах. По мере восстановления полетов авиации в последующие годы темпы изменений, несомненно, ускорятся и Росгидромет, как поставщик авиаметеорологических услуг, должен соответствовать этим изменениям.

Таким образом, разработанная в 60-70-е годы научная концепция автоматизации навигационно-метеорологического обеспечения полетов, положила начало и получила развитие в современных концептуальных положениях развития АМО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солонин С.В., Еникова В.Д. Алгоритмы принятия решения в автоматизированных системах управления воздушным движением. Авиационная и космическая метеорология. Межвузовский сб., 1977, вып. 64, с. 16-23 (ЛГМИ).

2. Всемирная метеорологическая организация (ВМО), Долгосрочный план программы по авиационной метеорологии, серия AeM (Авиационная метеорология) – 5, 2019, вып.1, с. 29.
3. Международная организация гражданской авиации (ИКАО). Глобальный аэронавигационный план на 2016-2030 гг., Дос 9750-AN/96, изд. пятое – 2016 (ИКАО), вып.2018, с.142.
4. Международная организация гражданской авиации (ИКАО), Глобальный план обеспечения авиационной безопасности 2023–2025, Дос 10161, изд. первое – 2023 (ИКАО), вып. 2023, с.122.
5. Всемирная метеорологическая организация (ВМО), Руководство по услугам для авиации ВМО- 732, (взамен ВМО-732 вып. 2003), изд. первое, вып. 2023, с.118.
6. Постановление Правительства Российской Федерации от 23 июля 2004 года № 372 «О Федеральной службе по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».
7. Распоряжение Правительства РФ от 3 сентября 2010 г. N 1458-р «Стратегия деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях на период до 2030 года (с учетом аспектов изменения климата)».
8. Государственная программа «Развитие транспортной системы», подпрограмма «Гражданская авиация», утв. постановлением Правительства РФ от 20 декабря 2017 г. N 1596, с изменениями и дополнениями от 2018 г.

СЕКЦИЯ 1

СИСТЕМЫ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ: МОДЕРНИЗАЦИЯ, ЦИФРОВИЗАЦИЯ, ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПИЛОТИРУЕМОЙ И БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ ОБ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ И ПАРАМЕТРАХ ВЕТРА ПО МАРШРУТУ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ВЫСОТЫ БПЛА ПРИ ПОЛЕТАХ НА МАЛЫХ И ПРЕДЕЛЬНО МАЛЫХ ВЫСОТАХ

Мазуров Г.И.¹, Акселевич В.И.²

¹ Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова

² Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики

¹ nanmaz@rambler.ru, ² vaksster@gmail.com

Аннотация. В последнее время, особенно в связи с проведением СВО, большое внимание уделяется беспилотным летательным аппаратам (БПЛА). В связи с этим рассматривается влияние метеорологических величин на обеспечение полетов БПЛА, а также навигационной обстановки на безопасность полетов.

Ключевые слова. Навигационная обстановка, БПЛА, метеорологическое обеспечение полетов, безопасность полетов, дроны, подстилающая поверхность, номограмма

POSSIBILITIES OF USING INFORMATION ABOUT ATMOSPHERIC PRESSURE AND WIND PARAMETERS ALONG THE ROUTE TO ENSURE A SAFE ALTITUDE OF THE UAV WHEN FLIGHTING AT LOW AND EXTREMELY LOW ALTITUDES

Mazurov Gennady Ivanovich¹, Akselevich Vitaly Iosifovich²

1. Main Geophysical Observatory named after. A.I. Voeikov

2. St. Petersburg University of Technologies Management and Economics

Annotation. Recently, especially in connection with the implementation of the SVO, much attention has been paid to unmanned aerial vehicles (UAVs). In this regard, the influence of meteorological quantities on the provision of UAV flights, as well as the navigation environment on flight safety, is considered.

Keywords. Navigation environment, UAVs, meteorological flight support, flight safety, drones, underlying surface, nomogram

Профессор Солонин Сергей Васильевич начинал свою военную службу с авиационного штурмана. Поэтому он много внимания уделял ветру, который своей скоростью и направлением в сочетании с воздушной скоростью летательного аппарата (ЛА) определял его местоположение. В учебном пособии (1966 года выпуска), соавтором которого он являлся, им написана ведущая глава 1 и глава 2, посвященная влиянию ветра на полет самолета [1]. В ней приводится ряд новых подходов к решению проблемы рационального учета влияния метеовеличин и, в частности ветра, которые в дальнейшем были развиты в его последующих исследованиях.

В 1970-х г. г. получили широкое распространение вертолеты, которые часто выполняли полеты над не освещенными в метеорологическом отношении территориями на малых и предельно-малых высотах и возникала вероятность столкновения с наземными препятствиями. Поэтому в 1976 году в журнале «Авиация и космонавтика» № 10 была

опубликована статья Г.И. Мазурова «Ветер слева - теряешь высоту» (текст статьи почти полностью помещен в [2, с. 55-58]. В ней показано, что экипаж вертолетов, выполняя полет в таких условиях, не зная распределения атмосферного давления у подстилающей поверхности (ПП), может определить распределение ветра по маршруту следования, и исключить вероятность столкновения с одиночным препятствием, высота которого может достигать 50 м (труба промышленного предприятия или дерево), используя предложенную номограмму.

За последние 20-25 лет появились новые беспилотные ЛА (БПЛА) или дроны. Они получили очень широкое распространение во многих отраслях промышленности, сельском хозяйстве, медицине и других отраслях, а также в специальных военных операциях. Они применяются также для доставки наркотиков. Безусловно, профессор С.В. Солонин обратил бы внимание на влияние ветра на эти тихоходные и малоинерционные ЛА.

Пока дроны использовались в единичных случаях и на малых высотах опасность их столкновения с пассажирскими ЛА была маловероятна. Однако, интенсивность полетов тех и других будет возрастать и, как и в ситуации с птичками, будет увеличиваться вероятность их опасного сближения с воздушными судами и столкновения. Поскольку масса дронов колеблется от 1 до 600 кг, при длине до 6,5 м и размахе крыла до 12 м, то они оказываются серьезным препятствием при столкновении друг с другом и с пассажирским самолетом. При массовом применении дронов вероятность их столкновения резко возрастает, что может привести к катастрофе. По аналогии с обеспечением орнитологической безопасности, когда может происходить столкновение воздушного судна с птичкой массой от 0,5 до 5 кг, следует ввести и понятие дронной или дронологической безопасности, которая позволила бы резко уменьшить вероятность опасного сближения, как дронов друг с другом, так и с самолетами.

Дело осложняется тем, что дроны далеко не всегда эшелонируются, как пассажирские самолеты. Мало того, что они пересекают многие эшелоны при взлете и при снижении, они и на крейсерском режиме, как мало инерционные и не скоростные, могут за счет влияния бокового ветра выходить за пределы горизонтального воздушного коридора (+/-10 км) и нарушать вертикальное эшелонирование за счет интенсивной турбулентности и изменения высоты изобарической поверхности, по которой они выполняют полет. Поскольку дроны, как правило, имеют небольшие скорости полета, то соотношение воздушной скорости полета к скорости ветра может достигать 0,3 – 0,5 и даже 1. В последнем случае их скорости сравнимы и дроны будут подвержены большому боковому сносу, а при встречном ветре иметь путевую скорость близкую к 0 км/ч или отрицательную. Такие случаи отмечались во время Второй Мировой войны, когда американские винтомоторные самолеты, имевшие воздушную скорость полета 400-500 км/ч попадали над Японией во встречное струйное течение и практически не смещались относительно наземных ориентиров.

Навигационная обстановка усложняется при выполнении полета на малых и предельно-малых высотах, когда изобарическая поверхность может иметь наклон и даже пересекаться с ПП или уходить под нее.

В настоящее время операторы дронов могут получать информацию о ветре по маршруту полета при малооблачной погоде со спутника Земли и тогда можно, используя номограмму, предложенную Г.И. Мазуровым для вертолетов в 1976 г., рассчитать безопасную высоту полета дрона с тем, чтобы исключить его столкновение с ПП или высотным наземным препятствием.

Если же удастся определить распределение атмосферного давления у ПП, то не требуется использовать номограмму, как для вертолетов. Следует помнить, что при полетах в северном полушарии при ветре слева происходит снижение высоты полета, в южном полушарии это будет наблюдаться при ветре справа.

Расчеты безопасной высоты полета упрощаются. Для этого достаточно знать значение давления в конечных пунктах, маршрут и разницу между ними, а также минимальное его значение по маршруту. Рассчитанную разность необходимо умножить на 8 гПа. Если же эта разница выражена в мм высоты ртутного столба, то умножать на 11 мм рт. ст. Это

приблизительная величина барической ступени в приземном слое воздуха при атмосферном давлении 1000 гПа и температуре 0° С.

Если же распределение давления воздуха по маршруту неизвестно, то придется использовать информацию о распределении ветра и вычислять изменение высоты полета по номограмме. Способ является очень приближенным, поскольку используется ряд приближенных значений - при расчете скорости ветра в приземном слое вводился коэффициент $K = 0,8$, учитывающий влияние трения воздуха о подстилающую поверхность, а угол отклонения ветра от изобар на высоте 100 м принимался равным 30°. В реальных условиях он может колебаться от 0° при сильном ветре до 90° при очень слабом ветре (менее 1 м/с).

Способ основан на использовании выводов из фундаментальных работ А. М. Обухова [3], И.А. Кибеля [4], А. С. Моница [5], М. Ю. Юдина [6] о соблюдении геострофического равновесия в атмосфере, т. е. о балансе силы барического градиента и силы Кориолиса, и работ Г. Ф. Молоканова [7], С.В. Солонина [8, 9] по барическим методам навигации, когда по разности показаний радио- и баровысотомера определяется поправка на ветер по полю давления [10].

Для оценки изменений безопасной высоты полета вертолета, а в данном случае беспилотника, авторами [11] решена обратная задача, когда по известным значениям ветра определяется наклон изобарической поверхности, вдоль которой перемещается вертолет, а в данном случае будет перемещаться беспилотник по указаниям их операторов. Такое допущение возможно, поскольку в полете определяется осредненная (интегральная) скорость ветра, а не его порывы в отдельные моменты времени.

Разработанный способ для северного полушария формулируется приблизительно так: при ветре слева — теряешь высоту. При выполнении полетов в южном полушарии — наоборот. Это означает что при таком ветре необходимо учитывать высоту наземных предметов на ПП.

Для расчета потерянной высоты при полете в пограничном слое атмосферы предлагается номограмма (рис. 1).

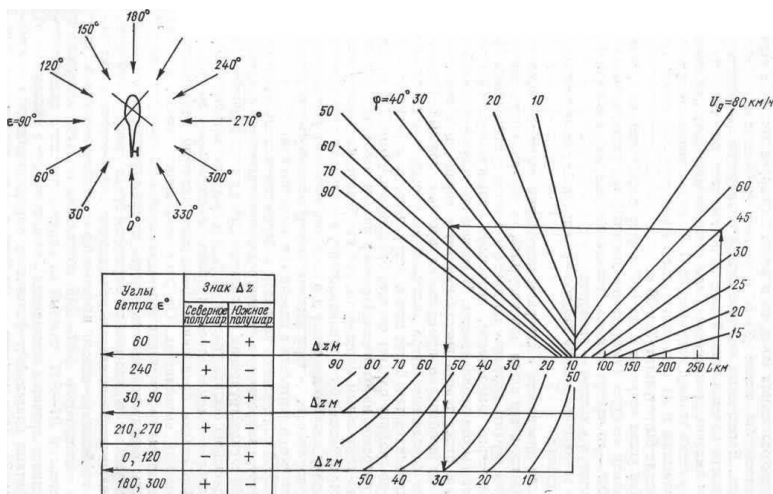


Рисунок 1 – Номограмма для расчета изменения высоты ЛА на малых и предельно малых высотах по данным о ветре, измеренным экипажем в полете.

При ее построении использована известная формула градиентного ветра [12]

$$U_g = \frac{1}{2\omega \rho \sin \varphi} \frac{d\rho}{dn}, \quad (1)$$

где U_g - скорость градиентного ветра; ω - угловая скорость вращения Земли; ρ - плотность воздуха; $\frac{d\rho}{dn}$ - изменение давления по нормали к изобарам, направленной в сторону понижения давления; φ - средняя географическая широта маршрута или участка.

После некоторых преобразований формулы, подстановки численных значений, перехода к конечным приращениям и использования тех же приближенных значений барической ступени в приземном слое (11 м высоты на 1 мм рт. ст.), что и для случая использования значений давления, построена номограмма (рис.1), предназначенная для расчета изменения высоты полета по известным данным о ветре. Для этого использовалась модель градиентного ветра. Поскольку она хорошо выполняется только в свободной атмосфере, то для полетов в приповерхностном слое введены указанные выше приближения.

При построении номограммы на горизонтальной шкале вправо отложено расстояние L , пролетаемое ЛА при осредненном ветре, а влево на трех горизонтальных шкалах — изменение высоты полета Δz при соответствующих углах ветра ε . Слева даны наклонные изолинии средней географической широты φ маршрута или участка, а справа - наклонные изолинии известной средней скорости ветра U_g . Изменения высоты не будет при ветре на маршруте, направленном под углом 30° : т. е. попутно-боковым справа ($\varepsilon = 150^\circ$) и встречно-боковым слева ($\varepsilon = 330^\circ$), так как в этих случаях вертолет летит параллельно изобарам. Или по одной изобарической поверхности. Эти углы в номограмме не указаны [11].

Максимальное изменение высоты будет при углах ветра $\varepsilon = 60^\circ$ (попутно-боковым слева) и $\varepsilon = 240^\circ$ (встречно-боковым справа). В этих условиях ЛА летит перпендикулярно к изобарам. В первом случае экипажу надо быть особенно внимательным, ибо здесь будет уменьшаться истинная высота полета (в северном полушарии).

Например, полет совершается на расстояние 300 км. Ветер имеет скорость 45 км/ч и направлен под углом 60° к оси полета (попутно-боковой слева). Средняя географическая широта маршрута 50° с. ш. По номограмме находим, что ЛА незаметно потеряет 55 м высоты. Опасность же заключается в том, что барометрический высотомер не покажет никаких изменений.

Следовательно, если бы экипажу ЛА была задана высота полета 80 м, то в конце маршрута истинная высота оказалась бы менее 25 м, а за счет турбулентности, которая особенно сильна летом во второй половине дня (при нисходящих потоках) - и того меньше. Если ветер по маршруту наблюдался под другими углами, например 30° , 120° , то изменение высоты было бы меньшим и на соответствующей горизонтальной шкале слева отсчитали бы результат 43 и 30 м.

При углах ветра от 0 до 140° (ветер слева) поправка берется со знаком «минус» (уменьшение высоты), при углах ветра от 180° до 320° — со знаком «плюс» (увеличение высоты) в северном полушарии, а в южном — наоборот. При полете в сторону низкого давления (циклона) будет происходить понижение высоты полета, а в сторону повышенного (антициклона) — повышение высоты. Поэтому при полете в сторону низкого давления воздуха высоту полета необходимо выбирать не менее 200 м с учетом того, что на маршруте могут встретиться здания высотой в 100 м. Это позволит сократить вероятность столкновения дронов с наземными препятствиями, тем более с такими объемными, как кварталы высоких домов.

В заключение можно выработать следующие практические рекомендации. Если при полете в северном полушарии на малой высоте наблюдается ветер слева или попутный, то

ЛА теряет высоту и следует вводить поправку по данным о ветре к показаниям барометрического высотомера, используя номограмму. При ветре справа высота увеличивается. В южном же полушарии, наоборот, экипаж будет терять высоту при ветре справа, и в номограмме знак Δz необходимо поменять на противоположный. В целом, результаты расчета по графику следует считать ориентировочными. Тем не менее учет поправок на барической рельеф крайне необходим при полетах по длительным маршрутам, так как безопасная высота полета не всегда может быть гарантирована, а в случаях перелета в сторону низкого давления по причине потери высоты может возникнуть предпосылка столкновения ЛА с наземными препятствиями.

В настоящее время мы мечтаем о космических просторах и о сверхзвуковых скоростях, а приходится заниматься совершенствованием и развитием тихоходных ЛА таких, как беспилотники, поскольку их себестоимость в 20 раз меньше, чем самолетов и отсутствует гибель пилотов.

В заключение следует сказать, что даже интенсивные полеты беспилотников позволяют рассчитать безопасную высоту их полета и исключить их столкновение друг с другом, с другими ЛА и наземными препятствиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов А.М., Мазурин Н.И., Солонин С.В. и др. Авиационная метеорология Л.: Гидрометеиздат 1966, 286 с.
2. Мазуров Г.И., Нестерук В.И. Метеорологические условия и полеты вертолетов. // СПб.: Гидрометеиздат. - 1992. – 286 с.
3. Обухов А.М. К вопросу о геострофическом ветре//Изв. АН СССР. Сер.географ. и геофиз. - 1949. - Т.4, № 73. - С. 143-147.
4. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. - Т.1, - М.; Л.: Физматгиз, 1963. - 535 с.
5. Монин А.С., Красицкий В.П. Явления на поверхности океана. - Л.: Гидрометеиздат, 1985 - 375 с.
6. Юдин М.И. Физико-статистические и гидродинамико-климатические методы прогноза погоды//Применение статистических методов в метеорологии: Труды Всесоюз.совещания. - Л.: Гидрометеиздат, 1971. - С. 15-22.
7. Молоканов Г.Ф. Точность и надежность навигационных летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1967. - 235 с.
8. Солонин С.В. Использование квазигеострофического приближения при решении задач, связанных с необходимостью учета влияния ветра на полеты самолетов//Труды ЛГМИ. - 1967. - Вып. 31. - С. 3-38.
9. Солонин С.В., Мазуров Г.И. О допустимом масштабе пространственного осреднения поля геопотенциала в стратосфере при учете влияния ветра на полет сверхзвукового самолета//Труды Гидрометцентра СССР. - 1975. - Вып. 95. - С. 51-59.
10. Мазуров Г.И. Исследование точности барического метода в зависимости от аэросиноптических условий//Труды Всесоюз. конф. по вопросам метеорол. обеспечения сверхзвуковой авиации. - Л., 1971. - С. 127-131.
11. Мазуров Г.И., Нестерук В.Н. Ветер слева – теряешь высоту// Авиация и космонавтика. 1976. №10. – С. 17
12. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат. 1984. – 752 с.

КОМПЛЕКСНАЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКАЯ АЭРОДРОМНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ КРАМС-4

Гусев С.О.

ООО «Институт радарной метеорологии», Санкт-Петербург
gso@iram.ru

Аннотация. Рассматривается конструкция, функциональные возможности, особенности применения и опыт эксплуатации комплексной радиотехнической аэродромной метеорологической станции КРАМС-4 для метеорологического обеспечения полетов воздушных судов.

Ключевые слова. АМИС, КРАМС-4, метеорологическое обеспечение полетов воздушных судов.

INTEGRATED RADIO-TECHNICAL AIRFIELD METEOROLOGICAL STATION KRAMS-4

Gusev S.O.

LLC “Institute of Radar Meteorology”, Saint-Petersburg

Annotation. The design, capabilities, application features and operating experience of the integrated radio-technical meteorological station KRAMS-4 for meteorological support of aircraft flights are considered.

Keywords. AWOS, KRAMS-4, aircraft flights meteorological support

НАЗНАЧЕНИЕ

КРАМС-4 предназначена для: измерения и сбора метеоинформации об основных параметрах атмосферы на аэродроме, обработки этой информации, формирования метеорологических сообщений, отображения, регистрации и распространения информации по каналам связи.

КРАМС-4 обеспечивает автоматическое измерение метеорологических величин для метеорологического обеспечения полётов на одной или нескольких ВПП, включая аэродромы, имеющие ВПП (направления) точного захода на посадку по минимумам I, II и III категории ИКАО.

РЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ

- Автоматический непрерывный сбор и обработка информации, поступающей от измерительных преобразователей метеорологических величин (датчиков);
- автоматическое определение и контроль достоверности явлений погоды;
- опрос измерительных преобразователей метеорологических величин (датчиков) резервного комплекта аппаратуры в случае отказа основного комплекта преобразователей
- индикация состояния измерительных преобразователей метеорологических величин (датчиков);
- прием по каналу связи прогноза типа TREND;
- прием по каналу связи предупреждения по аэродрому и предупреждения о сдвиге ветра
- автоматическое формирование и передача по каналам связи метеорологической информации на выносные средства отображения метеорологической информации;
- автоматическое формирование и передача по каналу связи метеосводок в кодах METAR (SPECI), MET REPORT (SPECIAL), ATIS и SYNOP;
- автоматическое формирование и передача по каналу связи метеорологической информации в центр сбора для дальнейшей обработки и отображения;
- автоматическое формирование и передача по каналу связи специальных сводок при переходе метеорологических величин через установленные штормовые критерии.

- ведение архива (запись в архив с возможностью распечатки на принтере) всей автоматически измеренной, введенной вручную, вычисленной и выдаваемой информации; время хранения записанной в архив информации не менее 30 суток

- ведение журнала событий работы станции;
 - работа в полностью автоматизированном режиме (режим AUTO_METAR);
- КОМПЛЕКТАЦИЯ**

- Центральное устройство, состоящее из комплекта технических средств и специального программного обеспечения (СПО). Реализовано полное резервирование комплекта технических средств центрального устройства.

- Рабочее место наблюдателя.
 - Выносные средства отображения метеорологической информации АИС «Метеодисплей». Количество выносные средства отображения не ограничено.
 - Измерительные преобразователи метеорологических величин (датчики).
- Возможно подключение основного и резервного комплектов измерительных преобразователей.

ИЗМЕРЯЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ

- Метеорологическая оптическая дальность видимости
- Высота нижней границы облаков (вертикальная видимость);
- Скорость и направление ветра;
- Температура и влажность воздуха;
- Атмосферное давление
- Количество и интенсивность осадков
- Распознавание явлений погоды

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

- скользящая выборка второго минимального значения ВНГО за истекшие 2 минуты (для включения в местные сводки);
- коррекция направления ветра с учетом магнитного склонения;
- скользящее осреднение мгновенных значений скорости и направления ветра за истекшие 2 мин и 10 мин;
- скользящий выбор максимального значения скорости ветра за истекшие 2 и 10 мин;
- скользящий выбор минимальных и максимальных значений скорости и направления ветра за истекшие 2 и 10 мин;
- анализ изменения направления ветра за истекшие 2 или 10 мин с целью включения в сводки погоды информации о переменном ветре и экстремальных значениях;
- приведение измеренного атмосферного давления к уровню ВПП (QFE)
- приведение измеренного атмосферного давления к уровню моря по стандартной атмосфере (QNH)
- вычисление температуры точки росы и упругости водяного пара, абсолютной влажности, дефицита насыщения;
- контроль достоверности автоматически определенных явлений погоды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метеорологическое оборудование аэродромов и его эксплуатация. Гидрометиздат, Санкт-Петербург, 2003 г.

2. Метеорологические измерения на аэродромах. Гидрометиздат, Санкт-Петербург, 2008 г.

ОБМЕН РАДИОЛОКАЦИОННЫМИ ДАННЫМИ В СТРАНАХ СНГ: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Лялюшкин А.С.¹, Коломеев Л.И.^{1,2}, Тетерин Е.А.¹

¹ ООО «Институт радарной метеорологии», Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург
las@iram.ru

Аннотация. Рассматривается опыт национального и межгосударственного оперативного обмена радиолокационной информацией (первичных данных и пользовательских продуктов) и даётся описание «дорожной карты» проекта REANET (Евразийская метеорологическая радиолокационная сеть).

Ключевые слова. Радиолокационные сети, международный код BUFR FM-94, оперативный обмен радиолокационной информацией.

WEATHER RADAR DATA EXCHANGE IN CIS: ACTUAL STATE AND FUTURE

Lialushkin A.S.¹, Kolomeets L.I.^{1,2}, Teterin E.A.¹

¹ LLC “Institute of Radar Meteorology”, Saint-Petersburg

² Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg

Annotation. The experience of national and interstate operational exchange of radar information (primary data and user products) is considered and the “road map” of the REANET project (Eurasian Meteorological Radar Network) is described.

Keywords. Weather radar networks, international code BUFR FM-94, radar information operational exchange.

В 2021 г. ПАО «НПО «Алмаз», изготавливающее в качестве продукции гражданского назначения метеорологические радиолокационные комплексы (поставляются в рамках ФЦП «Создание и развитие системы мониторинга геофизической обстановки над территорией РФ» для нужд Росгидромета [1], экспортируются в Беларусь, Казахстан и другие страны), инициативно внесло в Евразийскую экономическую комиссию предложение создать межгосударственную метеорологическую радиолокационную сеть в странах Евразийского региона. Рабочее название сети: REANET (Weather Radar Eurasian Network).

Проект был поддержан Исполкомом СНГ, Минпромторгом, Минэкономразвития, Внешэкономбанком, Минприроды России, Росгидрометом и метеослужбами большинства стран СНГ. Евразийская экономическая комиссия поддержала разработку проекта REANET в качестве проекта-символа евразийской интеграции. В ходе 32 сессии Межгосударственного совета по гидрометеорологии СНГ по просьбе ПАО «НПО «Алмаз» Росгидромет выступил с презентацией проекта REANET и предложил вынести его на обсуждение метеослужб стран Содружества.

По состоянию на начало 2023 г. сеть Российской Федерации (рисунок 1) состоит из 53 доплеровских метеорологических радиолокаторов (ДМРЛ) производства ПАО «НПО «Алмаз», 1 ДМРЛ производства фирмы Selex / Leonardo (Германия), 1 ДМРЛ производства фирмы Vaisala (Финляндия) и 4 МРЛ-5 (завод «Электромаш», г. Нижний Новгород). Указанные ДМРЛ находятся в ведении Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). В роли Центра сети выступает ЦСО РЛИ НТИР ДМРЛ в ЦАО Росгидромета (Центр сбора и обработки радиолокационной

информации Научно-технического центра по развитию и эксплуатации сети ДМРЛ, ФГБУ «Центральная аэрологическая обсерватория», г. Москва) собственной разработки.



Рисунок 1 – Теоретическая область покрытия сети России на начало 2023 г.

В Республике Казахстан сеть (рисунок 2) состоит из 18 ДМРЛ производства фирм Selex / Leonardo (Германия), Vaisala (Финляндия), ПАО «НПО «Алмаз» (Россия), ЕЕС (США), Baron Weather (США), которые находятся в ведении РГП «Казэронавигация» и РГП «Казгидромет». Роль Центра сети выполняет Центр сбора данных, установленный в Центрально-Казахстанском Районном центре Организации воздушного движения РГП «Казэронавигация» (г. Астана), производства ООО «ИРАМ».

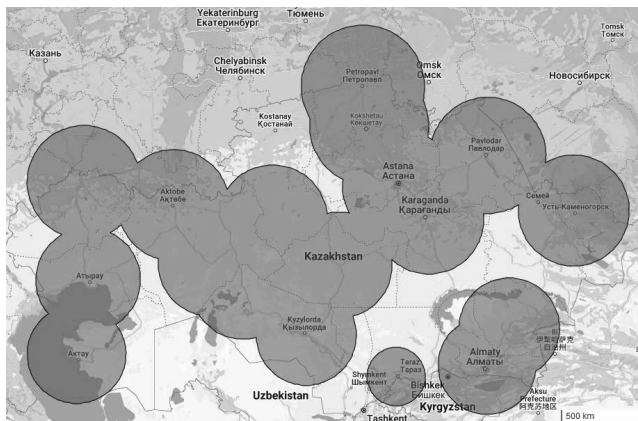


Рисунок 2 – Теоретическая область покрытия сети Казахстана в 2023 г.

В Республике Беларусь сеть (рисунок 3) состоит из 5 ДМРЛ производства фирм Selex / Leonardo (Германия) и ПАО «НПО «Алмаз» (Россия), которые находятся в ведении ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» (Белгидромет). В качестве Центра сети выступает Центр

сбора данных, установленный в ПТЦС ДМРЛ Белгидромета (Программно-технический центр сети ДМРЛ, г. Минск), производства ООО «ИРАМ».

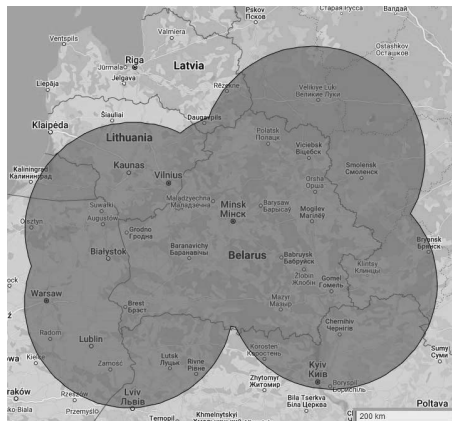


Рисунок 3 – Теоретическая область покрытия сети Беларуси в 2023 г.

Пример отображения единого радиолокационного поля, построенного в ЦСД ПТЦС ДМРЛ (Белгидромет) на основе данных ДМРЛ нескольких стран [2], приведён на рисунке 4.

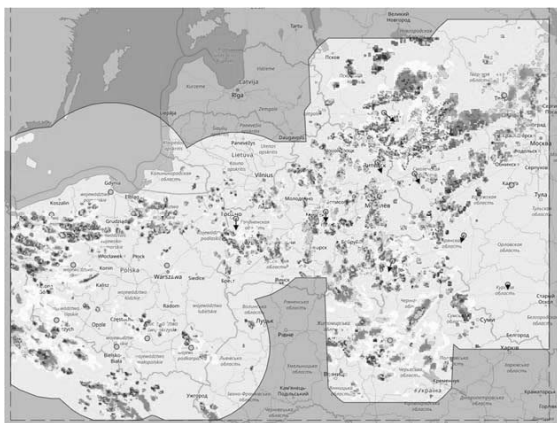


Рисунок 4 – Карта метеорологических явлений по данным ДМРЛ Беларуси, России и Польши.

Во всех этих трёх странах уже существуют национальные многофункциональные метеорологические радиолокационные сети, которые обеспечивают метеорологической информацией всех заинтересованных потребителей внутри каждой из этих стран. Кроме того, в ряде стран СНГ установлены метеорологические радиолокаторы без объединения в национальные сети, а именно: в Азербайджанской Республике, Республике Таджикистан, Туркменистане и Республике Узбекистан.

Для обмена радиолокационной информацией внутри стран используется международный код BUFR FM-94 [3] и закрытые проприетарные форматы производителей радиолокационных систем. В России передача в коде BUFR регламентируется Приказом Росгидромета от 21 июня 2004 года №95. В Беларуси и Казахстане придерживаются этого же регламента для сохранения совместимости с сетью Росгидромета.

При обмене данными в коде BUFR предусмотрены следующие радиолокационные продукты с пространственным разрешением 4 x 4 км:

радиолокационная отражаемость в слоях 1, 2, ..., 10, 11 км;

метеорологические явления, типы облачности и осадков;

высота верхней границы радиоэха облачности;

интенсивность осадков;

сумма осадков за 1, 3, 6, 12, 24 часа.

В настоящее время между центрами сетей ДМРЛ Беларуси и России ведётся оперативный обмен радиолокационной информацией в коде BUFR по каналам сети АСПД. Помимо этого, в тестовом режиме осуществляется обмен первичными данными нескольких ДМРЛ в формате ODIM_H5 – открытый современный формат на базе информационной модели ODIM (OPERA Data Information Model) и файлового формата HDF5 (Hierarchical Data Format).

Между центрами сетей ДМРЛ Казахстана и России в начале 2023 года в тестовом режиме запущен обмен радиолокационной информацией в коде BUFR по каналам сети АСПД.

Вместе с тем, низкое пространственное разрешение данных и ограниченный набор типов данных, используемых при обмене в коде BUFR, уже не удовлетворяют современным требованиям к метеорологическим радиолокационным наблюдениям и сильно ограничивают возможность их использования в задачах наукастинга, численного прогноза погоды, раннего предупреждения об опасных явлениях погоды и т.п., особенно в приграничных областях.

Таким образом, в ряде стран СНГ в настоящее время уже созданы или создаются национальные сети ДМРЛ и для повышения эффективности их использования целесообразно организовать трансграничный обмен первичными радиолокационными данными высокого пространственного разрешения, либо его расширить там, где он уже запущен. Организация такого обмена требует, в первую очередь, разработки и согласования правил и порядка обмена.

Для обеспечения всех заинтересованных потребителей внутри государств-участников СНГ качественной и наиболее полной радиолокационной информацией представляется актуальным создание международной многофункциональной автоматизированной радиолокационной метеорологической сети REANET (Евразийская метеорологическая радиолокационная сеть) с целью объединения данных национальных радиолокационных сетей стран СНГ в единое радиолокационное поле высокого пространственного разрешения (рисунок 5).

Основной целью проекта REANET является предоставление национальным метеослужбам стран-участниц единого радиолокационного поля как основы для создания систем раннего предупреждения об опасных явлениях погоды, связанных с облачностью и осадками (ливни, грозы, град, шквалы и т. д.), с целью минимизации наносимого ими ущерба.

Для достижения заявленной цели помимо организационных вопросов в рамках проекта REANET должны быть решены следующие научно-методические задачи:

- 1) Создание межгосударственной региональной автоматизированной метеорологической радиолокационной сети REANET на основе существующих национальных сетей стран СНГ с использованием имеющихся технологий, программных продуктов и серийно выпускаемого оборудования стран Содружества.

- 2) Обеспечение бесперебойного функционирования и контроля качества данных сети REANET.
- 3) Дальнейшее повышение метеорологического потенциала сети REANET путём её территориального и технического расширения.

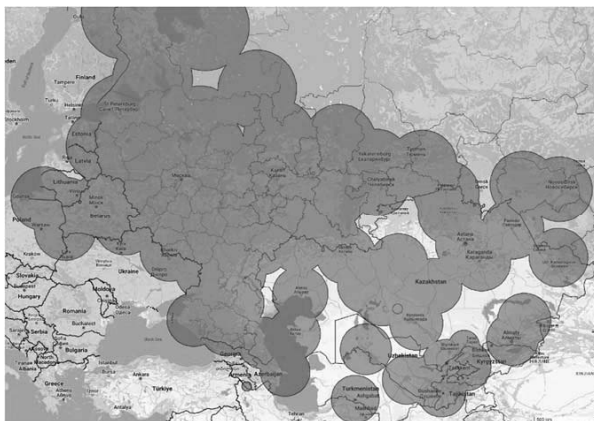


Рисунок 5 – Теоретическая область покрытия сети REANET. Учтены только действующие на 2023 г. лоаторы. На карту не вошли ДМРЛ Дальнего Востока России и г. Мурманск.

Ценность радиолокационной метеорологической информации [4, 5], поступающей с сети REANET, для изучения и прогноза состояния атмосферы будет особенно высока в районах с редкой сетью метеостанций, а её эффективность возрастает при использовании данных с территории, соизмеримой с масштабами синоптических процессов (порядка 1000 км). В связи с этим развитие межгосударственной многофункциональной метеорологической радиолокационной сети способствует организации на новом качественном уровне прогнозирования штормовых условий и штормового оповещения; измерения атмосферных осадков; метеорологического обеспечения авиации и прочих видов транспорта, сельского хозяйства и многих других секторов народного хозяйства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Общесистемные решения по сбору, анализу, контролю и представлению радиолокационной информации от ДМРЛ-С. Технический проект. / ФГБУ «ЦАО», Росгидромет, г. Долгопрудный, 2013 г.
2. Лялюшкин А.С., Коломеец Л.И., Хайбуллов М.В., Топтунова О.Н. Анализ радиолокационных характеристик смерчеобразующих конвективных ячеек. / Всероссийская научно-практическая конференция «Гидрометеорология и физика атмосферы: современные достижения и тенденции развития» (Санкт-Петербург, 21-23 марта 2023 г.)
3. WMO-No. 306. Manual on Codes. International Codes. Volume I.2. Part B – Binary Codes. 2015 edition. Updated in 2018.
4. Радиолокационные метеорологические наблюдения. Т. II: Вопросы практического применения радиолокационной метеорологической информации / Под ред. А.С. Солонина. – СПб.: Наука, 2010. – 517 с.
5. Fabry, F. Radar Meteorology: Principles and Practice. Cambridge: Cambridge University Press, 2015.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕБ-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ БВС

Пугачев А. А.¹, Коломеец Л.И.^{1,2}, Тетерин Е. А.¹, Зубков Р. А.¹

¹ ООО «Институт радарной метеорологии», Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

paa@iram.ru

Аннотация. Рассматривается опыт создания специализированного веб-сервиса для метеорологического обеспечения полетов БВС. Веб-сервис позволяет получать, обрабатывать и отображать текущую и прогнозическую метеорологическую информацию, позволяющую выполнять безопасные полеты БВС.

Ключевые слова. БВС, конвекция, профиль ветра, турбулентность, зоны обледенения.

WEB TECHNOLOGY FOR METEOROLOGICAL SUPPORT OF UAV FLIGHTS

Pugachev A.A.¹, Kolomeets L.I.^{1,2}, Teterin E. A.¹, Zubkov R. A.¹

¹ LLC "Institute of Radar Meteorology", Saint-Petersburg

² Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg

Annotation. The experience of creating a specialized web service for meteorological support of UAV flights is considered. The web service allows to receive, process and display current and forecast meteorological information, allowing to perform safe UAV flights.

Keywords. UAV, convection, wind profile, turbulence, icing.

При планировании полетов БВС необходимо учитывать прогнозируемые условия погоды и необходимость ввода ряда ограничений в условия эксплуатации, не встречающиеся в других транспортных средствах [1]. Некоторыми примерами являются ограничения на дальность полета БВС, которые зависят от погодных условий, правил и ограничений воздушного пространства, а также загруженность с точки зрения предотвращения столкновений и безопасного расстояния, характеристик БВС, таких как скорость, масса, максимальная полезная нагрузка, энергоемкость, размеры и т.д.

Погодные условия и их изменения влияют на планировании полетов, особенно направление и скорость ветра, температура, турбулентность и другие характеристики атмосферы, поскольку они напрямую влияют на потребление энергии и летные характеристики. Крайне важно учитывать атмосферные условия, ландшафт местности и застройку. Турбулентные потоки и порывы ветра вокруг зданий и другой городской инфраструктуры влияют на безопасный полет БВС.

На разных стадиях требуется соответствующая метеорологическая информация:

- Планирование/подготовка полета – прогноз погоды на требуемый период времени для района полета;
- Перед полетом - прогноз погоды на требуемый период времени, данные о текущей погоде высокого разрешения и предупреждения об опасных погодных условиях – для района полета, включая места для запасной посадки;
- Взлет - данные о текущей погоде высокого разрешения – для места взлета;
- Во время полета - текущая погода и предупреждения об опасных погодных условиях для маршрута полета;
- Посадка - данные о текущей погоде высокого разрешения – для места посадки;
- После полета – архивные данные, по запросу.

Стандартных сводок авиационной погоды недостаточно для обеспечения полетов БВС, в особенности при полетах в приземном слое атмосферы. Требования, предъявляемые к метеоинформации, зависят от типа выполняемой задачи и пороговых значений для конкретного типа БВС.

На каждом этапе полета необходимо обеспечить внешнего пилота БВС детализированной метеорологической информацией (фактической и прогностической) [2].

К критичным метеорологическим параметрам, влияющим на выполнения полета БВС, относятся следующие метеорологические параметры и явления:

- ветер (три компоненты);
- порывы ветра;
- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- атмосферное давление;
- конвективные явления (грозы, град, шквал);
- турбулентность;
- атмосферные осадки;
- обледенение;
- видимость (ухудшение видимости в тумане, осадках);
- низкая облачность.

Для решения задач метеобеспечения полетов БВС ООО «ИРАМ» разработал специализированный веб-сервис. Сервис позволяет получить доступ к следующим функциям:

1. Просмотр данных метеорологических наблюдений.
2. Специализированный прогноз ветра, температуры, обледенения и турбулентности.
3. Прогноз в точке, по трассе и по району полета.
4. API для интеграции с внешними системами

Данные метеорологических наблюдений

Веб-сервис позволяет просматривать данные метеорологических наблюдений со всех подключенных дронопортов, вертодромов, вертолетных площадок (рисунок 1).

Данные доступны в графическом, табличном и картографическом виде. Используется цветовая индикация при превышении параметрами критических уровней.

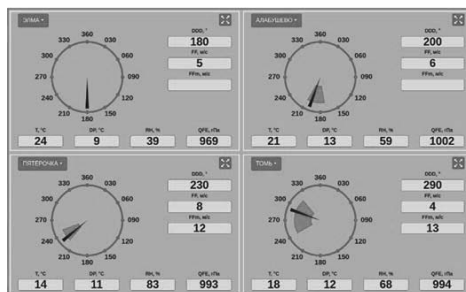


Рисунок 1 – Отображение текущих данных наблюдений с дронопортов

Прогноз по трассе

Прогноз готовится для 15 уровней в слое от 0 до 150 м с шагом 10 м. Пользователь может указать планируемый маршрут полета и просматривать прогностическую информацию в точках маршрута (рисунок 2).

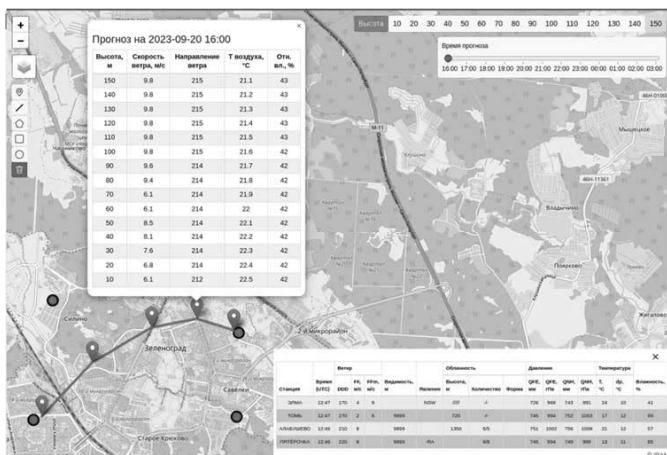


Рисунок 2 – Отображение прогностической информации по маршруту полета

Прогноз по району полета

Район полета может задаваться различными фигурами: кругом, прямоугольником, многоугольником. Для выбранного района доступен прогноз максимальных и минимальных значений метеорологических величин для конкретного срока и уровня (рисунок 3).

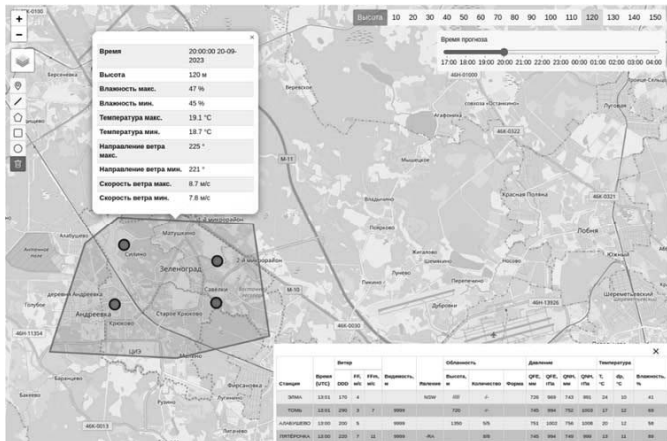


Рисунок 3 – Отображение прогностической информации по району полета

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. SESAR Joint Undertaking (SESAR JU), Drones outlook study - Unlocking the value for Europe, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2016

(https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European_Drones_Outlook_Study_2016.pdf), 2016 г

2. Федеральные авиационные правила «Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации» (утв. приказом Минтранса РФ от 31 июля 2009 г. N 128)

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ИДЕНТИФИКАЦИИ И КЛАССИФИКАЦИИ ОБЛАЧНОСТИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Русанов Д.В., Яременко И.А.

¹ – ВКА имени А.Ф. Можайского, г.Санкт-Петербург, Россия
vka@mil.ru

Аннотация: В докладе проанализированы подходы к идентификации и классификации облачности на основе технологий искусственных нейронных сетей. Анализируются такие модели нейронных сетей, как Mask R-CNN и YOLO.

Ключевые слова: Методы классификации облачности, искусственные нейронные сети, машинное обучение.

METHODS OF ORGANIZING THE PROCESSING AND STORAGE OF METEOROLOGICAL INFORMATION USING BIG DATA APPROACHES

Rusanov D.V.¹, Yaremenko I.A.².

Mozhaysky Military Space Academy, Saint-Petersburg, Russian Federation

Annotation: The report describes the method of fog forecasting based on artificial neural network technologies. The method has adaptability to physical and geographical features and has an average 88% justification for forecasting fog.

Keywords: Methods of weather hazard prediction, artificial neural networks, machine learning.

В настоящее время существует множество автоматизированных метеорологических станций, расположенных по всему миру, но большая их часть не обладают функцией идентифицировать и классифицировать облачность. Следует отметить, что существуют районы местности (например, район Скандинавии) в которых нет других метеорологических станций, кроме автоматических. Это, в свою очередь, создает трудности для обеспечения безопасности полетов авиации.

Решением данной проблемной ситуации может являться создание нового подхода к идентификации и классификации облачности на основе искусственных нейронных сетей, обладающего наибольшими производительностью и точностью классификации.

Результаты анализа подходов позволяют сделать вывод о применимости метода на автоматизированных метеорологических станциях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhang J., Pu L., Zhang F., Song Q. CloudNet: Ground-Based Cloud Classification With Deep Convolutional Neural Network [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://doi.org/10.1029/2018GL077787> – свободный. – Англ.

2. Gemma J., Donald D., Machine Learning Predictions of a Multiresolution Climate Model Ensemble [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://doi.org/10.1029/2018GL077049> – свободный. – Англ.

3. Kalchbrenner N., Sønderby C., A Neural Weather Model for Eight-Hour Precipitation Forecasting <https://ai.googleblog.com/2020/03/a-neural-weather-model-for-eight-hour.html> – свободный. – Англ.

4. Линдигрин, А. Н. Искусственные нейронные сети как основа глубинного обучения // Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. №12. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennye-neyronnye-seti-kak-osnova-glubinnogo-obucheniya>.

МОБИЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС АЭРОЛОГИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ НА БАЗЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Цепелев В.Ю.¹, Газизов И.Ш.²

¹Российский Государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

²Московский Физико-Технический Институт, Москва, Россия
v0010200@mail.ru

Аннотация. Аэрологическое зондирование атмосферы, производимое при помощи серийных аэрологических зондов размещенных на базе беспилотных летательных аппаратов, позволяет увеличить плотность сети аэрологического зондирования нижней и средней тропосферы в труднодоступных районах с сохранением точности измерений, благодаря использованию стандартного, сертифицированного аэрологического радиозонда. Описаны эксперименты с размещением радиозонда МР3-Н1 на беспилотном летательном аппарате «БВС IRBIS-432» производства компании «Ирбис» и использование, в качестве приемного устройства, радиосканера типа RTL-SDR, показали сохранение точности аэрологического зондирования в сравнении с данными получаемыми стандартными средствами измерений.

Ключевые слова. аэрологические наблюдения, радиозонд, беспилотный летательный аппарат, радиосканер

MOBILE COMPLEX OF ATMOSPHERIC MEASUREMENTS BASED ON AN UNMANNED AERIAL PLATFORM

Tsepelev V.Y.¹, Gazizov I.S.²

¹The Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia

²Moskovsky Institute of Physics and Technology, Moscow, Russia

Abstract. Aerological sounding of the atmosphere, carried out with the help of serial radiosondes located on the basis of Unmanned Aerial platform, allows to increase the density of the observation network of tropopause sounding systems in hard-to-reach areas with the preservation of measurement accuracy, thanks to the use of a serial, certified radiosonde. Experiments with the placement of the МР3-Н1 radiosonde on the Irbis BVS IRBIS-432 Unmanned Aerial platform and the use of an RTL-SDR radio scanner as a receiving device showed the preservation of the accuracy of atmospheric sounding in comparison with the data obtained by serial balloon radiosonde. Due to the possibility of repeated use of radiosonde device and use of the radio scanner as a receiving device, the cost of measurements is reduced several times.

Keywords. atmospheric sounding, radiosonde, Unmanned Aerial platform, radio scanner RTL SDR

Введение. Для получения информации о вертикальных профилях температуры, влажности, скорости и направлении ветра, а также о давлении воздуха в атмосфере до высот 30–40 километров используются приборы, называемые радиозондами, которые поднимаются с помощью специальных, латексных шаров, наполняемых лёгким газом – водородом или гелием. К точности радиозондовых измерений предъявляются требования, сформулированные Всемирной метеорологической организацией [1].

Аэрологическая сеть Росгидромета крайне неравномерна, её низкая плотность в Арктических районах и в Сибири не позволяет получать необходимую информацию о состоянии тропосферы и стратосферы и улучшать качество прогнозов погоды.

По состоянию на декабрь 2022 года в РФ дважды в сутки, в сроки 00 и 12 мирового времени, производились запуски радиозондов только на 114 аэрологических станциях.

Альтернативой радиозондам может служить зондирование на базе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), которые позволяют проводить аэрологические наблюдения за атмосферой экологически чистым и экономически эффективным способом.

Зондирование атмосферы при помощи БПЛА. Использование малых БПЛА в качестве платформы для метеорологических датчиков началось с 1960-х годов, но их внедрение в оперативную практику стало возможным только после появления дешевых и эффективных БПЛА [2]. БПЛА являются не просто гибким инструментом атмосферного зондирования, но и, как правило, более дешевым по сравнению с традиционными методами зондирования. Многоразовое использование датчиков на БПЛА позволяет потенциально использовать более дорогие и точные приборы, эксплуатация которых в противном случае была бы экономически неэффективна.

БПЛА не смогут полностью заменить сеть радиозондирования, так как высота зондирования ими не превышает 5 км, но потребность в радиозондовых измерениях на высотах до 35 км можно проводить раз в сутки, так как временная изменчивость метеорологических величин в верхних слоях атмосферы низка.

Принимая во внимание мировой опыт использования БПЛА как средства вертикального зондирования атмосферы нами была поставлена цель по созданию аналогичного отечественного комплекса.

В качестве доступного для проведения эксперимента образца БПЛА был взят БПЛА «БВС IRBIS-432» производства компании «Ирбис».

В связи с тем, что зондирование атмосферы предполагается проводить в столбе атмосферы строго вертикально над точкой взлета и посадки, то определение высоты БПЛА необходимо производить при помощи системы глобального геопозиционирования ГЛОНАСС или GPS.

В отличие от шаров-зондов БПЛА не удаляются от точки взлета на десятки и сотни километров, следовательно, прием сигнала с радиозонда МР3-Н1 можно осуществлять недорогим радиосканером RTL-SDR с простой антенной.

Использование БПЛА, укомплектованного радиозондом МР3-Н1 и радиосканером, удешевляет получение вертикальных профилей атмосферы в десятки раз при аналогичном качестве получаемых данных. Использование радиосканера RTL-SDR в комплекте со свободно распространяемым программным обеспечением для обработки и декодирования сигнала радиозонда позволяет применять для приема данных обычный ноутбук или смартфон, вместо дорогостоящей базовой станции системы радиозондирования «Полус».

Измерение скорости и направления ветра комплексом БПЛА и радиозонда МР3-Н1 не может быть осуществлено при помощи штатного датчика глобального позиционирования так как радиозонд поднимается вместе с БПЛА строго вертикально над точкой зондирования, а не перемещается под воздействием воздушного потока в горизонтальной плоскости. В связи с этим измерение скорости и направления ветра производится при помощи программного обеспечения БПЛА. Принцип определения скорости и направления ветра базируется на том предположении, что БПЛА полностью неподвижен и имеет автопилот, способный удерживать БПЛА в одном и том же положении независимо от направления и скорости воздействующего на БПЛА ветра. При этом предполагается, что угол наклона БПЛА полностью коррелируется со скоростью ветра, а типичные погрешности в определении скорости и направлении ветра меньше 0,5 м/с и 30°, соответственно. Направление ветра определяется с высокой погрешностью, но неопределенность измерений может быть

уменьшена за счет усовершенствования аппаратуры автопилота и процедуры постобработки данных о скорости и воздействующего воздушного потока.

Сравнение стандартных радиозондовых измерений и измерений с помощью БПЛА. Измерения температуры, влажности и ветра, производимые с БПЛА в целом согласуются с измерениями, проводимыми с помощью радиозондов. В статьях [3, 4, 5] доказана согласованность вертикальных профилей средней температуры воздуха, скорости и направления ветра согласие измеряемых с помощью БПЛА с данными других измерительных систем. Измерения температуры, влажности и ветра с использованием БПЛА, в целом согласуются с временными и пространственными измерениями радиозондов.

В результате исследования была предложена оптимальная комплектация БПЛА, которая предполагает многократное использование стандартного радиозонда МРЗ-Н1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Guide to meteorological instrument and observing practices // WMO. 1984. Vol. 6. Pp. 600.
2. Konrad T., Hill M., Rowland J., et al. A Small, Radio-Controlled Aircraft as a Platform for Meteorological Sensors. // Johns Hopkins APL Tech. Dig. 1970. Vol.10. P. 11–21.
3. Чечина Д. Г., Артамонова А. Ю., Бодунков Н. Е., и др. Опыт исследования турбулентной структуры атмосферного пограничного слоя с помощью беспилотного летательного аппарата. // Известия РАН. Физика Атмосферы и Океана. 2021. № 57. С. 602–610
4. Ross T., Palomaki V., Nathan T., et al. Wind Estimation in the Lower Atmosphere Using Multirotor Aircraft. // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 2017. Vol. 34. Issue 5. P. 1183–1191.
5. Barfuss K., Schmithusen H., Lampert A. Drone-based meteorological observations up to the tropopause. // Atmospheric Measurement Techniques. 2023. Vol. 16. P. 3739–3765

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДРОНОПОРТОВ (ВЕРТИПОРТОВ) ДЛЯ ПРОЕКТОВ ГОРОДСКОЙ АЭРОМОБИЛЬНОСТИ (АЭРОТАКСИ)

Глибчук С.А.¹, Коломеец Л.И.^{1,2}, Воронин О.С.¹, Лебедев А.В.¹

¹ ООО «Институт радарной метеорологии», Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург
gsa@iram.ru

Аннотация. Рассматривается опыт установки метеорологического оборудования на дронах на дронах для метеорологического обеспечения проектов городской аэромобильности (аэротакси) вертикального взлёта и посадки типа eVTOL на примере г. Зеленоград (Россия)

Ключевые слова. Дронопорт, вертипорт, городская аэромобильность, влияние погодных условий, аэротакси, eVTOL, БВС, БАС, метеостанция.

METEOROLOGICAL SUPPORT OF VERTIPOINTS FOR URBAN AIR MOBILITY PROJECTS (AIR TAXI)

Glibchuk S.A.¹, Kolomeets L.I.^{1,2}, Voronin O.S.¹, Lebedev A.V.¹

¹ LLC “Institute of Radar Meteorology”, Saint-Petersburg

² Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg

Annotation. The experience of installing meteorological equipment at vertiports for the eVTOL type drones meteorological support of urban air mobility projects (air taxi), using the example of Zelenograd (Russia), is considered.

Keywords. Droneport, vertiport, urban air mobility, influence of weather conditions, air taxi, eVTOL, UAV, UAS, weather station.

БВС (беспилотные воздушные суда) типа eVTOL, общая концепция летательного аппарата. eVTOL — это electric vertical take off and landing. Это электрические летательные аппараты с вертикальным взлетом и посадкой.

Концепция предполагает, что управлять летательным аппаратом будет не сложнее, чем автомобилем. Соответственно, не понадобятся трудное и длительное обучение и лицензия пилота. Кроме того, летательные аппараты сконструированы таким образом, что им не нужны аэропорты и прочая громоздкая инфраструктура. В идеале eVTOL будет доставлять пассажиров от дома к дому.

На данный момент концепция развития БВС типа eVTOL делится на два типа:

- с членом экипажа (пилотом) и пассажирами;
- без члена экипажа, только с пассажирами

Таблица 1. Модели беспилотных БВС (без членов экипажа).

| Производитель | Модель | Тип | Вместимость | Полёты |
|---------------|--------|-------------------------|-------------|--|
| Ehang | EH184 | Городское аэротакси | 1 пассажир | Тестируется |
| Ehang | EH216 | Городское аэротакси | 2 пассажира | Тестовый полёт над городом осуществлён |
| Ehang | VT-30 | Междугороднее аэротакси | 2 пассажира | Тестируется |
| Wisk Aero | Gen 6 | Городское аэротакси | 4 пассажира | На стадии макета лётного образца |

В данной работе рассматриваются БВС типа eVTOL, которые уже прошли или заканчивают прохождение лётных испытаний без членов экипажа, а только с пассажирами, так как данная ветка развития БВС более подвержена влиянию погодных условий развиваемых в рассматриваемой нами зоне проведения полётов до высот 150 метров.

Из представленных выше БВС, только Израиль провёл первый полёт БВС типа eVTOL,

модель EHang EH216 (рисунок 1), над городской территорией 14 сентября 2023 года.



Рисунок 1 – БВС eVTOL, модель EHang EH216.

Воздушное такси вылетело из иерусалимской больницы «Адаса» и, пролетев через весь город, менее чем через полчаса вернулось и успешно приземлилось на территории медицинского центра. В ходе демонстрационного полета была протестирована возможность транспортировки пациентов в лечебницу в чрезвычайных ситуациях, а также перевозки медицинских препаратов и анализов.

Для взлёта и посадки БВС планируется использовать дронопорты под общим названием «Vertiport». Vertiport (вертипорт) – это участок земли, воды или конструкции, используемый или предназначенный для использования для посадки и взлета воздушных судов вертикального взлёта и посадки (VTOL) (рисунок 2).

Вертипорты являются специальными участками, которые предоставляют инфраструктуру, необходимую для безопасного коммерческого воздушного транспорта пассажиров или товаров, которые путешествуют по VTOL.

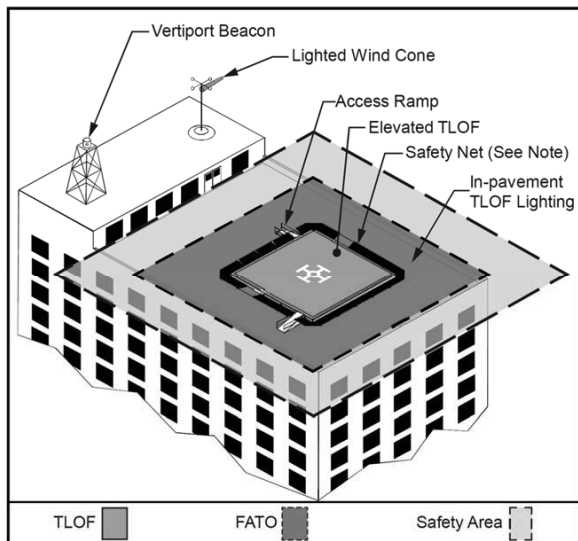


Рисунок 2 – Схематичное изображение вертипорта с основными зонами.

Пример реализации проекта городской аэромобильности в России

В 2023-м году осуществляется проект по установке и техническому обеспечению дронопортов с инфраструктурой обслуживания БАС (беспилотных авиационных систем) в г. Зеленоград (рисунок 3).

Это проект Правительства Москвы, реализуемый Центром управления городской аэромобильностью (ЦУГАМ).

Задачи этого проекта:

Отработка применения БАС в городской среде, обеспечение безопасности при взлёте и посадке, развитие сервисов и услуг с использованием БАС и организации безопасного воздушного движения БАС.

Отличительные особенности проекта:

- на 2023-й год запланировано 100+ полётов БВС, зона полётов располагается в 18 км от МКАД, максимальная протяжённость зоны – 6 км, площадь пилотирования 1500 Га.



Рисунок 3 – Зона пилотирования БАС в проекте ЦУГАМ.

В рамках реализации проекта городской аэромобильности в г. Зеленоград, было выполнено:

- установка 4-х метеостанций на 4-х дронепортах (рисунок 4);
- установка АМИС «КРАМС-4» и АИС «МетеоСервер» в центре сбора информации.

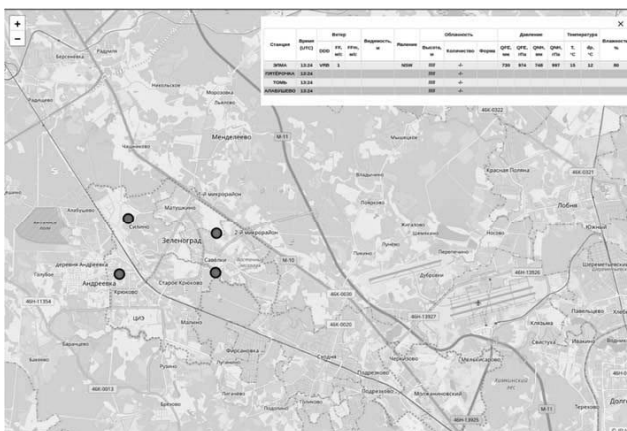


Рисунок 4 – Месторасположение дронепортов проекта ЦУГАМ в г. Зеленоград.

Дронепорт проекта ЦУГАМ представляет собой квадрат 10х10 метров, внутри него располагается ограда посадочной площадки для дронов размером 7х7 метров, метеостанции устанавливаются снаружи ограды посадочной площадки, таким образом, чтобы выступающие части метеостанции (траверсы) не были внутри посадочной площадки (рисунок 5).



Рисунок 5 – Пример одного из вариантов расположения дронопорта в г. Зеленоград.

Отличительной особенностью данных дронопортов, является выбор их месторасположение, и заключаются в том, что:

- располагаются в шаговой доступности от объектов городской инфраструктуры (магазины, торговые комплексы, офисные здания и т.п.);
- располагаются на открытой или закрытой территории (парковка у магазина, задний двор ресторана, территория технополиса, территории технопарка (рисунок 6) или территория завода), в связи с чем доступ к дронопортам либо не ограничен вовсе, либо ограничен сотрудниками завода или сотрудниками и посетителями технополиса/технопарка.



Рисунок 6 – Пример одного из вариантов расположения дронопорта в г. Зеленоград на территории Технопарка ЭЛМА.

Метеостанции, установленные в рамках проекта ЦУГАМ в г. Зеленоград (рисунок 7), располагаются непосредственно на территории выделенной под строительство дронопортов, и измеряют следующие метеорологические параметры:

- скорость и направление ветра;
- относительную влажность и температуру воздуха;
- атмосферное давление;
- датчик наличия атмосферных осадков.

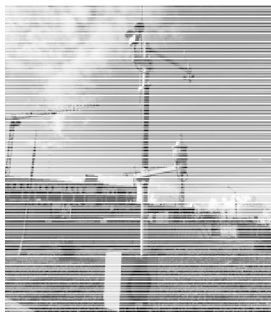


Рисунок 7 – метеостанции установленные в местах расположения дронопортов проекта ЦУГАМ в г. Зеленоград

Если обобщить вышесказанное, то концепция городской аэромобильности, реализуемая в г. Зеленоград, подразумевает установку дронопортов в шаговой доступности от объектов городской инфраструктуры, в основном на открытых к свободному доступу площадкам, для того чтобы жители могли беспрепятственно пользоваться услугами по доставке грузов (в ближайшей перспективе, 1-2 года) и осуществления перелётов на аэротакси (в отдалённой перспективе, 3-5 лет).

Благодаря этому проекту (ЦУГАМ) появляется возможность в режиме реального времени и реальной опытной эксплуатации средств городской аэромобильности исследовать влияние конвекции в атмосфере на обеспечение полётов дронов в ближайшем будущем и аэротакси в ближайшей перспективе.

К ВОПРОСУ О ТОЧНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТЫ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАЧНОСТИ

Восканян К.Л.¹, Кузнецов А.Д.¹, Максимов А.В.², Сероухова О.С.¹,
Симакина Т.Е.¹, Солонин А.С.²

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург,

²ООО «Институт радарной метеорологии»
tatiana.simakina@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены технические средства, используемые для измерения высоты нижней границы облачности. На основе базы совместных измерений трех широко используемых на аэродромах гражданской авиации датчиков - ДВО-2, CL31, ДВО-4 - выполнена оценка их точности в зависимости от диапазона высот и сезона при различных атмосферных явлениях погоды.

Ключевые слова: аппаратура для измерения высоты нижней границы облачности, оценка точности измерения высоты нижней границы облачности.

ON THE ISSUE OF THE ACCURACY OF MODERN MEANS OF MEASURING THE HEIGHT OF THE LOWER CLOUD BOUNDARY

Voskanyan K.L.¹, Kuznetsov A.D.¹, Maksimov A.B.², Serouhova O.S.¹,
Simakina T.E.¹, Solonin A.S.²

1 Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St.Petersburg

²Institute of Radar Meteorology»

Abstract. The technical means used to measure the height of the cloud base are considered. Based on a database of joint measurements of three sensors widely used at civil aviation aerodromes - DVO-2, CL31, DVO-4 - their accuracy was assessed depending on the altitude range and season under various atmospheric weather conditions.

Keywords. Equipment for measuring the height of the cloud base, assessing the accuracy of measuring the height of the cloud base/

Введение. Высота нижней границы облаков (ВНГО) – важнейшая характеристика, определяющая степень сложности фактической погоды при метеорологическом обеспечении безопасности посадки воздушных судов. Информация о высоте нижней границы облаков входит в минимум аэродрома, воздушного судна и его командира.

Пространственная и временная изменчивость высоты облаков зависит от многих факторов и может быть разделена на систематическую, периодическую и случайную составляющие. Систематические изменения высоты нижней границы облаков происходят вследствие перестройки гигрометрического состояния нижнего слоя атмосферы при общем развитии синоптических процессов или суточного хода. Так, при приближении теплого фронта нижняя граница облаков постепенно снижается. Периодические изменения связаны с упорядоченными колебаниями нижней границы облаков, происходящими под воздействием волновых движений в нижнем слое атмосферы. Период продолжительности волн может быть от нескольких минут до 2-3 часов. Случайные (флуктуационные) изменения вызываются турбулентными движениями и некоторыми другими причинами.

Несмотря на большое влияние высоты нижней границы облаков на взлет и посадку воздушных судов, не только эталона, но и общепринятого определения термина, определяющего нижнюю границу облаков, пока не существует. Также обстоит дело с термином «вертикальная видимость». В соответствии с Руководством [1] «при отсутствии эталонов метеозлемента, за истинное (эталонное) значение принимается среднее (медианное) его значение, полученное по синхронным измерениям нескольких (не менее трех) датчиков (приборов), установленных так, чтобы соблюдался принцип репрезентативности».

В данной работе выполнена оценка точности измерения ВНГО на основе использования следующих датчиков [2]:

- ДВО-2- российский датчик производства ЛЗОС (Лыткаринский завод оптического стекла) с импульсной лампой ИСШ-100-3М в качестве излучателя и полупроводниковым фотоусилителем ФУП-2 в качестве фотоприемника (на рисунке 1 размещены на заднем плане);

- CL31- лазерный облакомер производства фирмы VAISALA с лазерным излучателем (на рисунке 1 размещен на переднем плане);

- ДВО-4 – макет, от ДВО-2 отличается тем, что высоковольтная часть измерительного блока расположена в передатчике, измерительная плата и источники питания для нее и фотоусилителя расположены в приемнике, что позволило отказаться от дорогостоящих кабелей, соединяющих блок измерительный с приемником и передатчиком. Корпуса передатчика и приемник взяты от прибора РВО-2м.

Информация от датчиков по выделенным линиям связи поступала на стендовую станцию КРАМС-4 [3]. Датчики работали круглосуточно в автоматическом режиме.



Рисунок1 Размещение датчиков ВНГО на измерительной площадке

Обработка результатов сравнительных измерений и их анализ. Пример совместных временных рядов ВНГО, полученных 3 марта 2011 г. приборами ДВО-2 и CL31 в диапазоне высот 201-600 м, и соответствующий этим измерениям вид облачности представлен на рисунке 2.

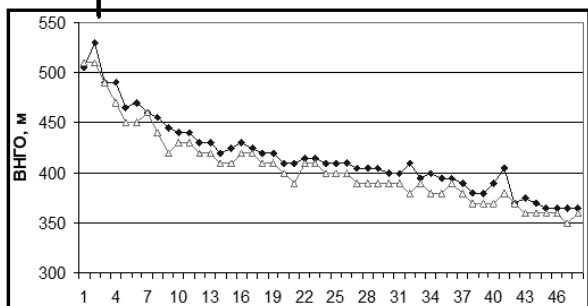
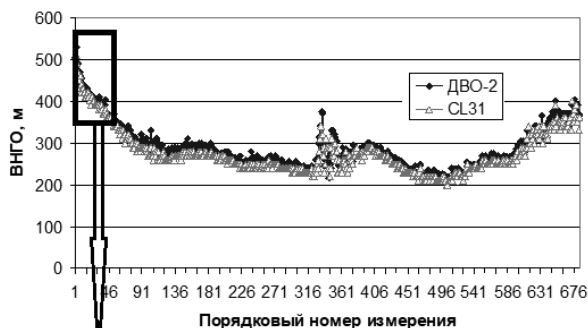


Рисунок 2 Временные ряды, полученные в канале «201-600» приборов ДВО-2 и CL31 3.03.2011, и соответствующий вид облачности

Результаты статистического анализа совместных измерений значений нижней границы облаков тремя приборами сгруппированы по диапазонам высот и по времени года (рисунок 3). При анализе учитывалась информация о форме облаков и атмосферных явлениях.

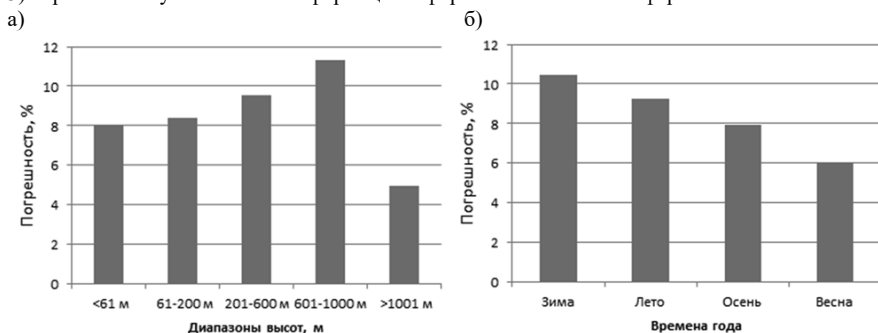


Рисунок 3 Погрешности измерения ВНГО приборами ДВО-2, ДВО-4 и CL31 а) по диапазонам высоты; б) по времени года

Заключение. В результате анализа данных о высоте облаков получены следующие результаты.

Точность измерения ВНГО рассмотренными приборами составила диапазон 5-11% в зависимости от измеряемой высоты и времени года. Наибольшую точность можно ожидать в весенний период при измерении облаков, нижняя граница которых более 1 км.

Наименьшая точность измерения ВНГО всеми тремя приборами проявляется в осадках. Величина погрешности зависит от вида осадков и их интенсивности. При твердых осадках погрешность увеличивается. Максимальная погрешность приходится на время переходного периода, когда интенсивность осадков небольшая. С увеличением интенсивности осадков погрешность измерения нижней границы облаков уменьшается.

В тумане, при видимости менее 50-200 метров приборы ДВО-2, ДВО-4 и CL31 показывают практически одинаковые данные. В диапазоне высот до 61 метра погрешность измерения приборов составляет менее 10%, что примерно равно одному дискрету – 5 метрам.

При отсутствии осадков не зависимо от вида облаков приборы ДВО-2, ДВО-4 и CL31 показывают хорошую сходимость результатов измерения ВНГО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений. ВМО - №8, шестое издание. 2000 г.
2. Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С. Автоматические метеорологические станции. Часть 1. Тактико-технические характеристики. Учебное пособие. – СПб.: РГГМУ, 2016. – 195 с.
3. Дивинский Л.И., Кузнецов А.Д., Солонин А.С.. Комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция (КРАМС-4). Учебное пособие – Санкт-Петербург, РГГМУ, 2009. - 72 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ИНТЕГРАЦИИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ (АС УВД)

Букалич С. В.¹, Лебедев А. В.¹, Коломеец Л.И.^{1,2}

¹ ООО «Институт радарной метеорологии», Санкт–Петербург

² Санкт–Петербургский государственный университет, Санкт–Петербург
bsv@iram.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается практическое применение автоматизированной информационной системы (АИС) «МетеоСервер» для решения задач интеграции метеорологической информации в АС УВД.

Ключевые слова. Метеорологическое обеспечение аэронавигации, интеграция метеорологической информации, АС УВД, информационные системы.

AUTOMATED INFORMATION SYSTEM FOR INTEGRATION OF METEOROLOGICAL INFORMATION FOR AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEMS (ATC)

Bukatchi S. V.¹, Lebedev A. V.¹, Kolomeets L.I.^{1,2}

¹ LLC “Institute of Radar Meteorology”, Saint–Petersburg

² Saint–Petersburg State University, Saint–Petersburg

Annotation. This paper is focused on the practical application of the automated information system (AIS) “MeteoServer” to solve problems of integrating meteorological information into ATC systems.

Keywords. Air navigation meteorological support, meteorological information integration, ATC system, information system.

Опыт создания первой отечественной районной автоматизированной системы УВД «Стрела» (1978 г. – начало 90–х г. г.), первая установка и государственные испытания которой были проведены на базе Северо – Кавказского центра автоматизированного УВД (СКЦ АУВД), показал о необходимости создания специализированного шлюза для предварительной обработки всей имеющейся в системе метеорологической информации с целью ее фильтрации и подготовки для алгоритмов автоматизации УВД.

В 2003 г. Госкорпорацией по ОВД и ГосНИИ «Аэронавигация» совместно были разработаны Тактико–технические требования к метеообеспечению внедряемых и эксплуатируемых автоматизированных систем, комплексов и средств УВД, исходя из которых было разработано Техническое задание на разработку автоматизированной информационной системы (АИС) «МетеоСервер» – специализированного шлюза для интеграции метеорологической информации в АС УВД.

Переход на альтернативную технологию метеообеспечения АС УВД с использованием специализированного шлюза (MET – GATE) [3] проводится в США (проект NextGen 2007г. – начало этапа разработки, 2012 – 2025 г. г. этапа реализации) и Евросоюзе (проект SESAR 2008 г. – начало этапа разработки, 2014 – 2020 г. г. этап реализации) [3].

В настоящее время сопряжение с КСА УВД различных производителей с источниками метеоинформации выполняется посредством специализированного шлюза – АИС «МетеоСервер», которая выполняет функцию интеграции источников метеорологических данных, их обработку, форматно – логический контроль, контроль актуальности, подготовку специализированной MET информации с последующей передачей в АС УВД по унифицированному протоколу функционального взаимодействия.

С 2003 года и по настоящее время АИС «МетеоСервер» осуществляет метеорологическое обеспечение одиннадцати АС УВД районных центров ОрВД ФГУП «Госкорпорация по ОрВД», в том числе:

- Московский центр управления воздушным движением МЦ АУВД;

- Тюменский РегЦ ЕС ОрВД;
- Екатеринбургский УЦ ЕС ОрВД;
- Красноярский РегЦ ЕС ОрВД;
- Новосибирский РегЦ ЕС ОрВД;
- Самарский РегЦ ЕС ОрВД;
- Магаданский РегЦ ЕС ОрВД;
- Ростовский РегЦ ЕС ОрВД;
- Санкт–Петербургский РегЦ ЕС ОрВД;
- Калининградский районный центр ЕС ОрВД;
- Хабаровский РегЦ ЕС ОрВД.

Помимо укрупненных центров и районных центров УВД АИС «МетеоСервер» обеспечивает метеорологической информацией и аэродромно – диспетчерские АС УВД в более двадцати центрах ОВД *ФГУП «Госкорпорация по ОрВД»*

Помимо установки на территории РФ, АИС «МетеоСервер» выполняет метеорологическое обеспечение КСА УВД трех региональных центров организации воздушного движения РГП «Казаэронавигация» (Центрально–Казахстанский, Юго–Восточный, Западно – Казахстанский) и районный центр УВД ГП «Белаэронавигация» г. Минск.

Существующий протокол функционального взаимодействия АИС «МетеоСервер» обеспечивает передачу полного объема специализированной МЕТ информации, готовой к использованию в алгоритмах работы АС УВД, систем планирования использования воздушного пространства (ПВП) и отображению на индикаторах воздушной обстановки рабочих мест диспетчеров.

Базовые типы МЕТ информации для АС УВД (рисунок 1):

- Данные наблюдений авиационных станций в минутном режиме;
- Информация о текущих и прогнозируемых погодных условиях по аэродромам и районам полетной информации (FIR);
- Предупреждения по аэродромам;
- Информация AIREP SECIAL;
- Контуры зон опасных явлений погоды по данным радиолокационных наблюдений [1];
- Прогноз ветра и температуры на высотах по данным ВЦЗП;
- Прогностическая траектории смещения радиозонда;
- Контуры зон области действия информации SIGMET.

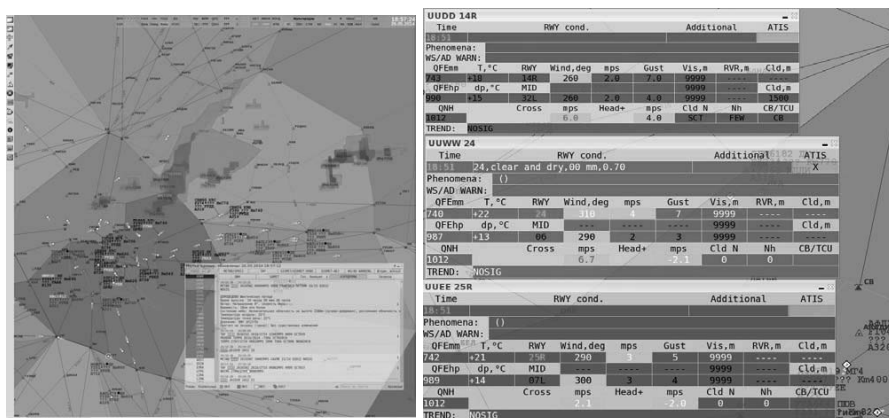


Рисунок 1 – Контура ОЯП(слева), данные наблюдений авиационных станций в минутном режиме (справа) на индикаторе воздушной обстановки рабочего места диспетчера.

Одним из направления развития АИС «МетеоСервер», в части реализации технологий общесистемной среды управления информацией (SWIM)[2], является интеграция в нее современной пространственно – временной (четырёхмерной) концептуальной модели базы данных АИС «МетеоКуб», а также её функций (рисунок 2).



Рисунок 2 – Отображение композитной карта метеоявлений по данным ДМРП (слева), зоны действия информации SIGMET (справа) посредством специализированного Web-сайта с использованием базы данных АИС «МетеоКуб».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бочарников Н.В., Брылев Г.Б., Кузнецова Л.И., Линева А.Г., Лялюшкин А.С., Оленев В.А., Паркин Т.В., Солонин А.С., Устинов В.К., Фролов В.И., Четверикова Е.С., Якимайнен Н.А. Автоматизированные метеорологические радиолокационные комплексы «Метеоячейка». СПб.: Гидрометиздат, 2007 – 236 с.
2. ICAO, 2016–2030 Global Air Navigation Plan, Doc 9750–AN/963.
3. Ссылка на web – страницу Delivering tailored MET information with the 4DWxCube and MET-Gate
<https://www.sesarju.eu/highlights/Delivering%20tailored%20MET%20information%20with%20the%204DWxCube%20and%20MET-Gate>.

СЕКЦИЯ 2

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: МЕТОДЫ, ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ

АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ

Бузаева С.В., Евдокимова Т.А.

Ульяновский институт гражданской авиации им. Главного маршала авиации

Б.П.Бугаева

evdokimova580@mail.ru, buzayevas@bk.ru

Аннотация: В статье проведен анализ использования спутниковых данных. Проанализированы особенности развития современной авиационной метеорологии, которые выдвигают новые требования к объему, содержанию и структуре подготовки инженерных специалистов. Определены и обоснованы дидактические условия изучения авиационной метеорологии, а также необходимость фундаментального изучения дисциплины при подготовке инженерных специальностей в авиационном вузе.

Ключевые слова: спутниковая информация, авиационные специалисты.

RELEVANCE OF THE USE OF SATELLITE DATA IN ENSURING FLIGHT SAFETY

Бузаева С.В., Евдокимова Т.А.

Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after Air Chief Marshal B.P.Bugaev

Annotation: The article analyzes the use of satellite data. The features of the development of modern aviation meteorology are analyzed, which put forward new requirements for the volume, content and structure of training of engineering specialists. The didactic conditions for the study of aviation meteorology are determined and justified, as well as the need for fundamental study of the discipline in the preparation of engineering specialties at an aviation university.

Keywords: satellite information, aviation specialists.

В настоящее время особую актуальность приобретает проблема обеспечения безопасности полетов. Обеспечение безопасности полетов при управлении воздушным движением затрагивает, как социальные, политические и технические аспекты государства и общества, так и становится экономической категорией для авиаперевозчиков.

Рассмотрим списки получаемой информации для экипажей и диспетчеров в отдельности.

Согласно главе 3, приказа министерства транспорта РФ №60 от 14.03.2014г. "Предоставление метеорологической информации для обеспечения полетов воздушных судов", а именно пунктам 61 и 64:

Предоставление метеорологической информации экипажам воздушных судов производится сотрудником по обеспечению полетов (полетным диспетчером), аэродромным метеорологическим органом.

Метеорологическая информация для представления эксплуатантам и экипажам воздушных судов включает следующую информацию:

- 1) прогнозы: ветра и температуры на высотах; особых явлений погоды (SWH, SWM);
- 2) METAR, SPECI (включая прогнозы TREND) для аэродромов вылета и намеченной посадки, для запасных аэродромов вылета, на маршруте и назначения;

3) TAF и коррективы TAF для аэродромов вылета и намеченной посадки, для запасных аэродромов вылета, на маршруте и назначения;

4) информацию SIGMET и (или) специальные донесения с борта, касающиеся всего маршрута (к специальным донесениям с борта воздушного судна относятся донесения, которые не использовались при подготовке сообщений SIGMET);

5) консультативную информацию о вулканическом пепле и тропических циклонах, относящуюся ко всему маршруту полета;

6) зональные прогнозы в формате GAMET и (или) прогнозы в формате карт, и информация AIRMET для полетов ниже эшелона 100 (150 или выше в горных районах), которые относятся ко всему маршруту;

7) предупреждения по аэродрому для аэродрома вылета;

8) данные искусственных спутников Земли (далее - ИСЗ);

9) данные наземных метеорологических радиолокаторов (МРЛ, ДМРЛ) [1].

Из вышеперечисленных пунктов следует, что для предоставления погоды экипажам воздушных судов перед полетом и непосредственно в самом полете могут использоваться различные источники данных, в связи с этим хочется отдельно отметить подпункт 8 пункта 64, в котором указаны искусственные спутники Земли.

В современной метеорологии использование спутниковых данных имеет широкое применение. Например, проведение анализа синоптических карт, в равной степени используются как данные от наземных средств наблюдения, так и информация от спутников, причем область применения спутников растет. Преимущество спутников заключается в том, что они способны в кратчайшие сроки зафиксировать и передать данные по обширной территории и пространству не только на Землю, в метеорологические центры, но и на борт любого воздушного судна, имеющего специальное оборудование. С помощью таких фотографий можно составить сборную карту облачного покрова и описать характер атмосферных процессов. Такие карты имеют большое практическое значение, так как они:

- способствуют анализу общей картины облачного покрова в глобальном масштабе;
- описывают характер атмосферных процессов на большой территории;
- обладают большой наглядностью;
- помогают правильно осмыслить данные дискретной сети наблюдений;
- определить крупномасштабные атмосферные возмущения и основные структурные особенности облачных полей [2].

Существуют 2 типа метеоспутников: геостационарные и полярноорбитальные. Бортовое запоминающее устройство фиксирует на своих электронных носителях изображения облачности, которые передаются на Землю. По сигналам спутника вычисляют, в каком из районов земной поверхности осуществлено фотографирование, затем переносят снимки на картографическую основу и получают расположение облаков над поверхностью Земли, составляя, таким образом, карты облачности. В свою очередь, по картам облачности разрабатываются карты циркуляции атмосферы.

Рисунок 1 представляет современный вариант представления спутниковой информации в ИК режиме с хорошим разрешением и привязкой к местности.

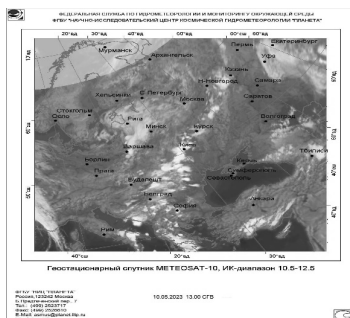


Рисунок 1 – Снимок с ИСЗ Meteosat-10, 10.05.23г

На снимке отчетливо видна линия фронта, состоящая из мощных отдельных кучево - дождевых облаков, расположенная с СВ на ЮЗ. Судить о высоте облачности можно по яркости белого цвета: чем ярче оттенок, тем выше облачность. В тыловой части наблюдается кучевая облачность, с отдельными СВ значительно меньшей высоты и мощности. Облачность, которая наблюдается в районе Кавказа состоит из СВ, особую опасность представляет формирование в р-не Тбилиси, где видна мощная наковальня перистых облаков и по ее виду можно судить о направлении перемещения облака.

Наблюдения со спутника позволяют непрерывно наблюдать за пространством, что является неоспоримым преимуществом. С помощью ИСЗ обеспечивается воссоздание общей картины распределения облачности и идентификация большого количества атмосферных возмущений различного масштаба по характерным особенностям облачности. В то время как с земли можно осуществлять только точечные наблюдения.

Для синоптического прогноза спутниковые изображения дают информацию о конкретной метеорологической ситуации, что позволяет построить синоптические карты для прогноза погоды с высокой точностью. Последовательность построения синоптических карт по спутниковым изображениям позволяет выявить тенденцию развития погодной ситуации, что повышает оперативность и точность синоптического прогноза.

На спутниковых снимках изображается различного типа метеорологическая информация, которая играет важную роль для составления специализированного прогноза для авиации. Данные, которые получают для авиации: количество облачности, вид облаков, высота верхней границы облаков, температура верхней границы облаков, карты нефанализа и прогноз эволюции облачных образований, вертикальный профиль температуры и влажности, температура поверхности суши, интенсивность осадков, вулканический пепел, распространение пепловых шлейфов, тропические циклоны [3]. Для обеспечения авиации в настоящее время востребованы определенные виды спутниковой гидрометеорологической продукции. Наиболее востребована спутниковая информация для определения количества облачности, вида облаков, интенсивности осадков, высоты верхней границы облаков и прогноза эволюции облачных образований.

Спутниковая информация играет огромную роль в обеспечении безопасного и эффективного управления воздушным движением и полета ВС. Предоставляя подробные и точные данные со спутников авиаспециалистам, спутниковые данные позволяют авиадиспетчерам и пилотам принять обоснованные решения для корректировки обхода опасных метеорологических явлений.

Спутниковая информация предоставляется в режиме реального времени, тем самым позволяет авиадиспетчерам и пилотам отслеживать местонахождение метеорологических систем и развитие новых опасных метеорологических явлений. Данная информация

позволяет пилотам выбирать наиболее прямые и эффективные маршруты, тем самым снижая расход топлива.

Использование данных с метеорологических спутников позволяет сделать авиаперелеты намного безопаснее и эффективнее, тем самым снижая риск авиационных происшествий и задержек.

Роль метеорологических спутников в авиации и управление воздушным движением имеет первостепенное значение. Однако, в последние годы метеорологические спутники столкнулись с рядом проблем. Наиболее серьезной из этих проблем является спрос на передовые технологии наблюдения и прогнозирования, вот поэтому метеорологические спутники должны предоставлять более подробные и точные данные. Другой проблемой является ограничение по дальности и разрешению. Это означает, что в предоставленных данных с метеорологических спутников всегда достаточно для точного прогнозирования. В результате возникает потребность в более совершенных спутниках с большими полями обзора и более высоким разрешением.

Авиационная промышленность не стоит на месте. Она продолжает расти, и поэтому потребность в надежной и точной информации о погоде имеет первостепенное значение. С появлением новых технологий и развитием существующих, будущее метеорологических спутников в авиации и управление воздушным движением является важной темой для обсуждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральные авиационные правила «Предоставление метеорологической информации для обеспечения полетов воздушных судов»: [утверждены приказом Минтранса России от 03.03.2014 г. № 60: Зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 18 сентября 2014 года, регистрационный №34093

2. Асмус, В.В., Дядюченко, В.П., Загребав, В.А. и др. Наземный комплекс приема, обработки, архивации и распространения спутниковой информации. /В сб. Труды НИЦ «Планета», вып. 1(46), 200

3. EUMETSAT.INT – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.eumetsat.int/what-we-do/monitoring> – Дата доступа: 26.08.2023 г.

АНАЛИЗ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ НАД ЧЕРНЫМ МОРЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ

Федосеева Н.В., Комнатов И.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
fednat@mail.ru

Аннотация. На основании данных ежедневной спутниковой съемки проанализирована пространственное распределение и временная повторяемость различных типов атмосферных мезовихрей в акватории Черного моря за 2016-2021 гг.. По данным спутниковой альтиметрии и тепловой спутниковой съемки проанализированы поля приповерхностного ветра и температуры поверхности моря. Анализ показал, что вихри формируются на фоне локальных положительных аномалий температуры воды. В восточной части Черного моря часто связаны с действием Новороссийской боры, а в западной части акватории наблюдаются при ветре северо-восточных направлений.

Ключевые слова. Мезомасштабные вихри, атмосферная циркуляция, Черное море, спутниковая съемка

ANALYSIS OF MESOSCALE EDDIES OVER THE BLACK SEA USING SATELLITE IMAGERY

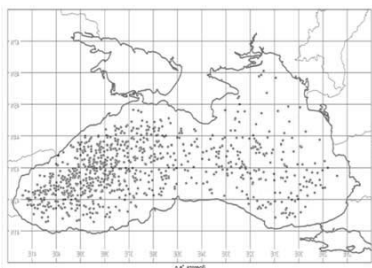
Fedosееva N.V., Komnатов I.V.

Russian State Hydrometeorological university (RSHU), Saint-Petersburg

Abstract. The spatial distribution and temporal recurrence of different types of atmospheric mesovortices in the Black Sea area for 2016-2021 were analyzed based on daily satellite imagery data. Patterns of surface wind and sea surface temperature were analyzed using satellite altimetry and thermal imagery data. The analysis showed that eddies are formed against the background of localized positive water temperature anomalies. In the eastern part of the Black Sea they are often associated with the Novorossiysk bora, while in the western part of the water area they are observed in northeasterly winds.

Keywords. Mesoscale vortex, atmospheric circulation, Black Sea, satellite imagery

Наибольший интерес среди циклонических движений представляют мезомасштабные явления. Они охватывают большое разнообразие вихревых формирований в атмосфере, от незначительных атмосферных циклонических вихрей, проявляющихся только в облачном поле, до полярных и тропических циклонов, характеризующихся значительными барическими градиентами, интенсивными осадками и высокими скоростями ветра. Эти образования часто наблюдаются в акваториях морей и океанов. Формирование мезомасштабных вихрей обусловлено различными факторами, такими как взаимодействие атмосферы с морской поверхностью, турбулентность, внутренние морские течения и геометрия акватории. Сложная топография морского дна, береговой линии, особенности прибрежного рельефа создают благоприятные условия для образования и удержания мезомасштабных вихрей. Отличительная черта данных вихрей связана с тем, что они (в подавляющем большинстве случаев) не формируются в фронтальных системах [1]. Горизонтальный размер мезовихрей в высоких и умеренных широтах северного полушария варьируется в среднем от 100 до 500 км, хотя иногда может достигать 1000 км. Время жизни вихрей обычно не более двух суток [2]. Они связаны с различными облачными системами, такими как дезорганизованные облачные массивы, облачные полосы или спиралевидные скопления облаков. Они формируются в областях с повышенной циклонической активностью в средней тропосфере и с повышенной термической неустойчивостью в нижних слоях тропосферы. Для них благоприятно перемещение более холодных воздушных масс над более прогретой поверхностью. Их облачные системы состоят в основном из конвективных облаков. Вследствие погодных условий у поверхности земли мезомасштабные вихри всегда сопровождаются обильными осадками. Существуют интенсивные вихри со спиралевидной, похожей на структуру тропического циклона, структурой облачности, характеризующиеся высокой скоростью ветра (более 20 м/с) и интенсивными ливнями осадков, продолжающимися в течение несколько часов [1-3]. Т.к. размер этих вихрей незначителен размеров, а время жизни непродолжительно, и их далеко не всегда возможно проследить на синоптических картах. На сегодняшний день самым надежным способом их обнаружения и мониторинга является спутниковая съемка [1, 4, 5].



Пространственное распределение зафиксированных МАЦВ

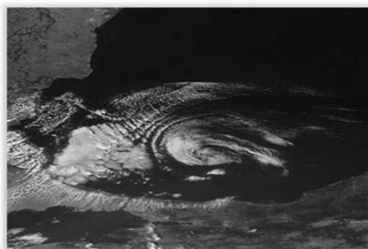


Процентное соотношение типов МАЦВ

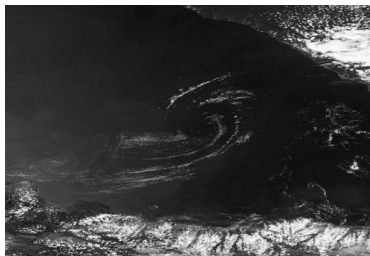
Рисунок 1 – Пространственное распространение и диаграмма повторяемости различных типов черноморских мезовихрей.

В литературных источниках [6] в черноморском регионе обычно выделяют несколько подвидов мезовихрей. К ним относятся:

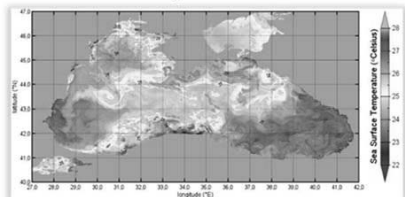
- Восточные вихри, которые образуются в большинстве своём в зимний период при обтекании северным ветром Кавказских гор.
- “Оторвавшиеся” вихри, полностью располагающиеся над морской поверхностью в юго-восточной части моря.
- Юго-западные слабые вихри, формирующиеся вследствие особенностей прибрежного рельефа преимущественно в зимнее время.
- Вихри открытого моря. Вихри различных пространственных и временных масштабов. Формируются равномерно над всей акваторией моря.



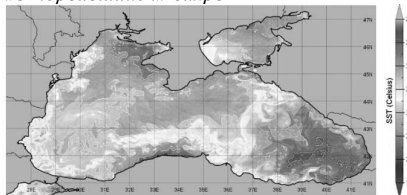
а) 14.08.2019. Спутниковый снимок (Terra). Юго-западный вихрь.



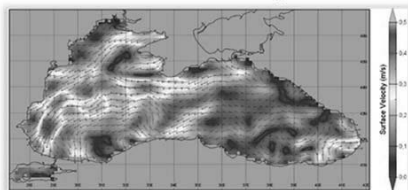
б) 11.06.2018 Спутниковый снимок (Aqua). «Оторвавшийся» вихрь



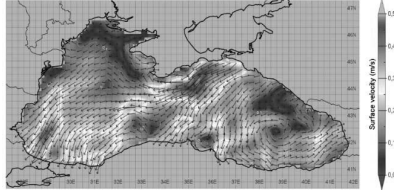
в) Температура поверхности моря (MODIS) 14.08.2019 Юго-западный вихрь



г) Температура поверхности моря (MODIS) 11.06.2018 «Оторвавшийся» вихрь



д) Приповерхностная скорость ветра (МНН). 14.08.2019 Юго-западный вихрь



е) Приповерхностная скорость ветра (МНН). 11.06.2018 «Оторвавшийся» вихрь

Рисунок 2 – Спутниковые снимки, температура поверхности моря (MODIS), приповерхностная скорость ветра (МНН) черноморских мезомасштабных атмосферных вихрей.

Анализ облачных систем черноморских мезовихрей был выполнен по данным ежедневной спутниковой съемки MODIS/Aqua, Terra, VIIRS/NPP Suomi, NOAA20. Также

были использованы поля температуры поверхности моря с разрешением 0,01 градуса и дискретностью 24 часа, размещенные на активном архивном центре физической океанографии NASA PO.DAAC [6]. Данные о приводном ветре с дискретностью 6 часов, разрешением 0,125 градуса были взяты с портала Морского гидрофизического института г. Севастополь [7] и морской системы «Copernicus Marine Service» [8]. Дальнейшая визуализация полей метеорологических величин были выполнена с использованием ПО «Panoply Data viewer» [9].

На рис. 1. представлены карта пространственного распространения черноморских мезовихрей и диаграмма повторяемости различных типов мезомасштабных атмосферных вихрей. Как следует из рисунка, вихри более распространены в западной части акватории Черного моря, при этом чаще всего наблюдаются «оторвавшиеся» вихри (44%) и вихри открытого моря (35%).

На рис.2. представлены примеры полученных снимков и полей температуры поверхности моря и приповерхностного ветра для юго-западных и оторвавшихся вихрей. Как следует из рисунка оба вихря проявляются в поле ветра и сформировались на фоне локальных положительных аномалий температуры. Из рис. 1е следует, что оторвавшийся вихрь, сформировался 11.06.2018 под воздействием Новороссийской боры. Юго-западный вихрь, наблюдавшийся 14.08.2019 (Рис. 1д), сопровождался усилением северо-восточного ветра.

На рис. 3 представлены примеры межгодовой и межсезонной изменчивости, рассчитанные для «оторвавшихся» вихрей и вихрей юго-западного побережья. Как следует из рис.2. наиболее часто «оторвавшиеся» и юго-западные вихри наблюдались в 2017 и 2018 гг., а реже всего в 2014 и 2013 гг., соответственно. При этом максимальная повторяемость «оторвавшихся» вихрей наблюдались в июле и сентябре, в то время как юго-западные вихри чаще формировались в сентябре и октябре. Реже всего оторвавшиеся и юго-западные вихри наблюдались в январе.

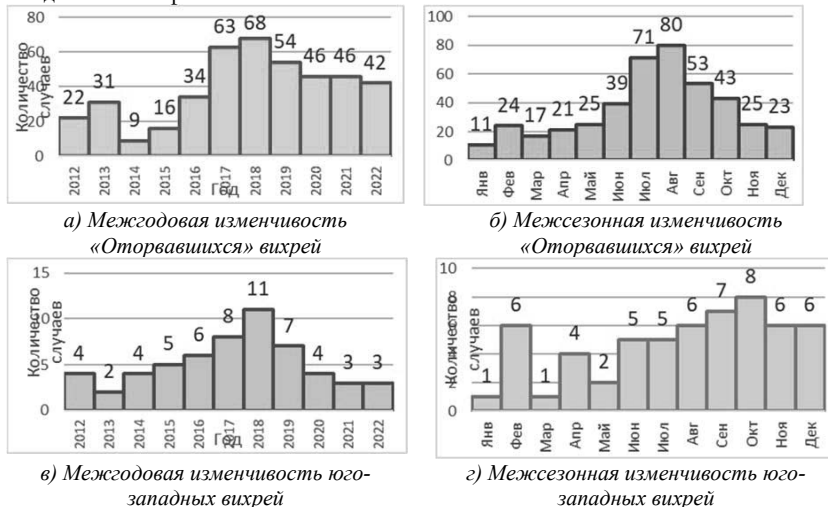
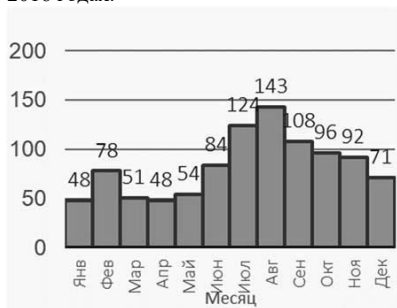


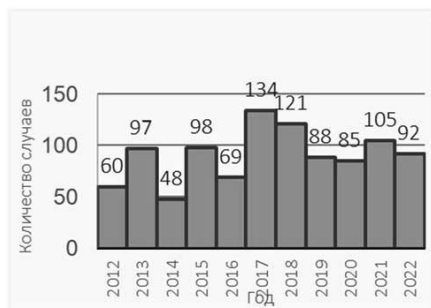
Рис. 3. Временная изменчивость повторяемости «Оторвавшихся» вихрей и Юго-западных вихрей

На рис. 4. представлены гистограммы межсезонной и межгодовой изменчивости повторяемости черноморских вихрей всех типов. Как следует из графика межсезонной

изменчивости, наиболее часто вихри формировались в теплое время года с июля по октябрь, а меньше всего - в период с января по май. Исключением является февраль месяц, когда количество мезовихрей было примерно таким же, как в декабре. Анализ межгодовой изменчивости показал, что больше всего мезовихрей сформировалось в 2017 и 2018 году, а самыми неблагоприятными для формирования вихрей условия наблюдались в 2012, 2014 и 2016 годах.



а) Межсезонная изменчивость



б) Межгодовая изменчивость

Рис. 4. Временная изменчивость повторяемости мезомасштабных циклонических вихрей всех типов.

Выполненные исследования показали, что в подавляющем большинстве рассмотренных случаев вихри формировались на фоне локальных положительных аномалий температуры при северо-восточных направлениях ветра. За выбранный временной интервал было обнаружено 997 случая возникновения мезовихрей. При этом большинство сформировавшихся за исследуемый период вихрей можно отнести к Кавказским оторвавшимся вихрям (44%), 35% - к вихрям открытого моря, 15% - к восточным и только 6% к юго-западным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А. Ю. Мезомасштабные атмосферные циклонические вихри над Черным и Каспийским морями по данным спутникового дистанционного зондирования. // Исследование земли из космоса. 2018. № 1. С. 12–26.
2. Яровая Д. А., Ефимов В.В. Мезомасштабные циклонические вихри над Черным морем. // Метеорология и гидрология. 2014. №6. С. 28-39.
3. Федосеева Н.В., Ефимова Ю.В., Лопуха В.О. Использование данных спутниковой мультиспектральной съемки при анализе облачных систем полярных циклонов. В сборнике: Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России. материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2018. С. 615-624.
4. Лопуха В.О., Федосеева Н.В. Анализ облачности мезомасштабных полярных вихрей по мультиспектральным спутниковым данным. //Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. 2018. № 662. С. 172-175.
5. Каримова С.С. Статистический анализ субмезомасштабных вихрей балтийского, черного и каспийского морей по данным спутниковой радиолокации// Исследование Земли из космоса. 2012. № 3. С. 31-47.
6. Ефимов В.В., Шокуров М.В., Яровая Д.А. Статистика мезомасштабных циклонических вихрей над Черным морем. Морской гидрофизический журнал. 2009. № 4. С. 19-33.
7. Black Sea Ultra High Resolution SST L4 Analysis 0.01 deg Resolution [Электронный ресурс]. URL: <https://cmr.earthdata.nasa.gov/virtual-directory/collections/C2036878081-POCLOUD> (дата обращения 3.02.2023)).

8. Satellite altimetry and model data. Marine Hydrophysical Institute. Marine portal. [Электронный ресурс] URL: <http://dvs.net.ru/mp/data/main.shtml#model>
9. Global Ocean Daily Gridded Sea Surface Winds from Scatterometer. Copernicus marine service. [Электронный ресурс] URL: <https://marine.copernicus.eu/>
10. Программное обеспечение Nasa/GISS Panoply [Электронный ресурс] URL: <https://www.giss.nasa.gov/tools/panoply/> (дата обращения 3.02.2023)).

АНАЛИЗ КОГЕРЕНТНЫХ КОНВЕКТИВНЫХ СТРУКТУР В НИЖНЕМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ

Симакина Т.Е., Федосеева Н.В., Сюткин Г.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
tatiana.simakina@gmail.com

Аннотация. Выполнен текстурный анализ 90 фрагментов спутниковых снимков мезомасштабных конвективных облачных ячеек и гряд, рассчитаны текстурные признаки, позволяющие идентифицировать мезомасштабные конвективные системы. Построены уравнения регрессии между признаками и геометрическими размерами ячеек и гряд, показано, что геометрические размеры конвективных структур, дешифрируемые на снимках, могут рассматриваться как характеристики сдвига ветра, скорости ветра, толщины неустойчиво стратифицированного слоя и других параметров.
Ключевые слова. текстура, конвективные ячейки, облачные гряды, текстурные признаки.

ANALYSIS OF COHERENT CONVECTIVE STRUCTURES IN THE LOWER ATMOSPHERE WITH SATELLITE IMAGERY DATA

Simakina T. E., Fedoseeva N.V., Syutkin G.A.

Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg

Abstract. Texture analysis on 90 fragments of satellite images with mesoscale convective cloud cells and streets was executed, and textural features, allowing to identify mesoscale convective systems were calculated. Regression equations between the features and geometric dimensions of cells and streets were constructed, and it was shown that geometric sizes detecting in the images can be considered as characteristics of wind shear, wind speed, thickness of unstably stratified layer and other parameters.
Keywords. Texture, convective cells, cloud street, textural features

Современные технологии спутниковой съемки предоставляют возможность исследовать и анализировать природные явления на планете Земля с высокой пространственной и временной разрешающей способностью. Одной из важных областей, где применение данных спутниковой съемки имеет большую актуальность, является анализ мезомасштабных конвективных ячеек и гряд. Гряды и ячейки конвективных облаков представляют собой упорядоченные пространственные структуры в поле облачности нижней атмосферы, возникающие в основном над океанами и морями, и являются мощными атмосферными явлениями, которые играют важную роль в формировании погоды, климата и гидрологических процессов. Они часто сопровождаются интенсивными осадками, грозами и сильными ветрами. Такие атмосферные условия могут оказывать влияние на морские процессы, включая циркуляцию воды, вертикальные перемещения планктона и другие биологические процессы.

Гряды наблюдаются, как правило, в движущемся холодном воздухе и являются индикатором неустойчивой стратификации нижнего слоя атмосферы и наличия горизонтального сдвига скорости ветра [1-3]. Движение частиц в облачных грядах происходит по спиралям, причем, на нисходящих участках спирали поток ускоряется, в то время как на восходящих он замедляется. Кучевые облака образуются над восходящими

ветвями [4]. Гряды конвективных облаков указывают на направление ветра в нижнем слое атмосферы. К образованию конвективных ячеек, кучевых облаков и выстраиванию их по ветру приводит быстрая трансформация приводного слоя воздуха, переносимого с холодной суши (ледяного покрова) на относительно теплое море [5].

Горизонтальные размеры ячеек находятся в диапазоне 10-100 км, чаще всего диаметр ячеек составляет 30-40 км. Расстояние между облачными грядами в среднем в 6 раз больше мощности конвективного слоя. При продвижении холодного воздуха над теплой поверхностью океана мощность конвективного слоя увеличивается, что сопровождается ростом расстояния между облачными грядами. Расстояния между грядами также обусловлено скоростью ветра у поверхности. Расстояние между грядами до 20 км и длина гряд до 200 км указывает на среднее значение скорости ветра 8-9 м/с, а при соответствующих размерах 50 км и более 700 км скорость возрастает до 12-14 м/с. Гряды в тыловой части циклона указывают на значения скорости ветра 7-12 м/с и выше.

Для анализа характеристик мезомасштабных облачных ячеек и гряд был сформирован архив из 90 фрагментов спутниковых снимков, включающий 30 фрагментов снимков облачных гряд, 30 фрагментов открытых конвективных ячеек и 30 фрагментов закрытых конвективных ячеек (рисунок 1а-в). Все снимки были сделаны в акватории Баренцева моря в период с 2014 по 2023 гг. датчиком MODIS/TERRA. Каждое изображение имеет размер 300х300 пикселей и пространственное разрешение 250 м.

Для идентификации вида мезомасштабных систем применялся метод текстурного анализа. По всем фрагментам были рассчитаны некоррелированные текстурные признаки: контраст, энтропия и обратный момент [6]:

- Контраст:
$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (i - j)^2 p(i, j), \quad (1)$$

- Для энтропии:
$$F = - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p^2(i, j) \log[p(i, j)], \quad (2)$$

- Для обратного момента:
$$M = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{p(i, j)}{1 + (i - j)^2}, \quad (3)$$

где N - число уровней яркости, которые используются при текстурном анализе, $P(i, j)$ - частота, с которой пара точек (одна с яркостью i и другая с яркостью j), расположенных на расстоянии r в направлении α , встречаются на изображениях.

Формулы (1)-(3) используют текстурную матрицу $P(i, j)$ или гистограмму II порядка. В работе вычислялась средняя матрица по четырем направлениям при межпиксельном расстоянии $r = 1$:

$$P(i, j) = (P_{0^\circ} + P_{45^\circ} + P_{90^\circ} + P_{135^\circ}) / 4,$$

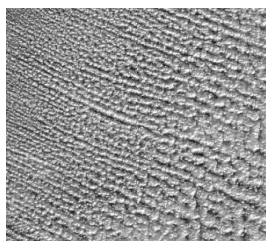
где P_{0° и P_{90° - количество пар соседних пиксел с яркостями i, j , по горизонтали и по вертикали, а $P_{45^\circ}, P_{135^\circ}$ - количество пар пиксел с яркостями i, j , расположенных на соседних строках по диагонали:

$$P_{0^\circ}(i, j) = \sum_{x, y} 1 \left| B(x, y) = i, B(x, y - 1) = j \right|,$$

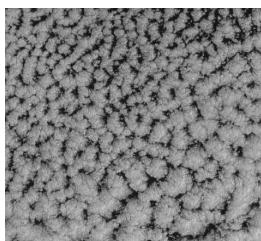
$$P_{45^\circ}(i, j) = \sum_{x, y} 1 \left| B(x, y) = i, B(x + 1, y - 1) = j \right|,$$

$$P_{135^\circ}(i,j) = \sum_{x,y} 1 \Big| B(x,y) = i, B(x-1,y-1) = j$$

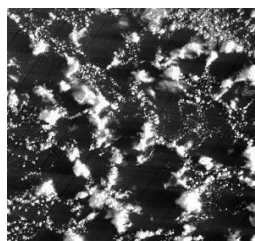
Графически текстурная матрица представляет собой поле 256 на 256 элементов, каждое из которых имеет значение $P(i,j)$ и отражено в градациях серого (рисунок 1г-е). Максимальное значение $P(i,j)$ обозначено черным цветом, минимальное - белым. Матрица, построенная по изображению «белый шум», выглядит как однородное серое поле.



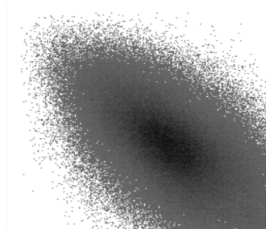
(а) Облачные гряды,
TERRA/MODIS 12.04.2017 г.



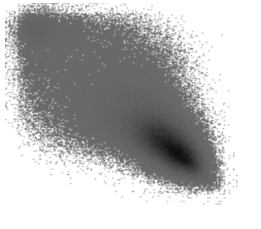
(б) Закрытые конвективные
ячейки, TERRA/MODIS
10.03.2017 г.



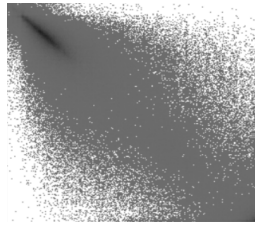
(в) Открытые конвективные
ячейки, TERRA/MODIS
06.02.2016 г.



(г) Текстурная матрица для
областей облачных гряд



(д) Текстурная матрица для
областей закрытых ячеек



(е) Текстурная матрица для
областей открытых ячеек

*Рисунок 1 – Мезомасштабные облачные системы на снимках и построенные по ним
текстурные матрицы*

На основе текстурных матриц по формулам (1) - (3) вычислены три текстурных признака, такие как: обратный момент, контраст, энтропия. Распределение значений признаков показано на гистограммах для трех видов мезомасштабных систем (рисунок 2).

Анализ полученных текстурных признаков, показал:

- Максимальные значения энтропии характерны для открытых конвективных ячеек и облачных гряд, а для закрытых ячеек – ее средние значения.
- Минимальные значения контраста характерны для закрытых конвективных ячеек, а средние значение контраста наиболее часто наблюдаются для облачных гряд и открытых ячеек.
- Минимальные значения обратного момента характерны для облачных гряд и открытых конвективных ячеек, а для закрытых конвективных ячеек чаще всего наблюдаются его средние значения.

Для обнаружения связи между текстурными признаками и пространственными характеристиками облачных гряд и ячеек были построены диаграммы рассеяния и найдены уравнения регрессии. Примеры подобных исследований представлены на рисунках 3 и 4.

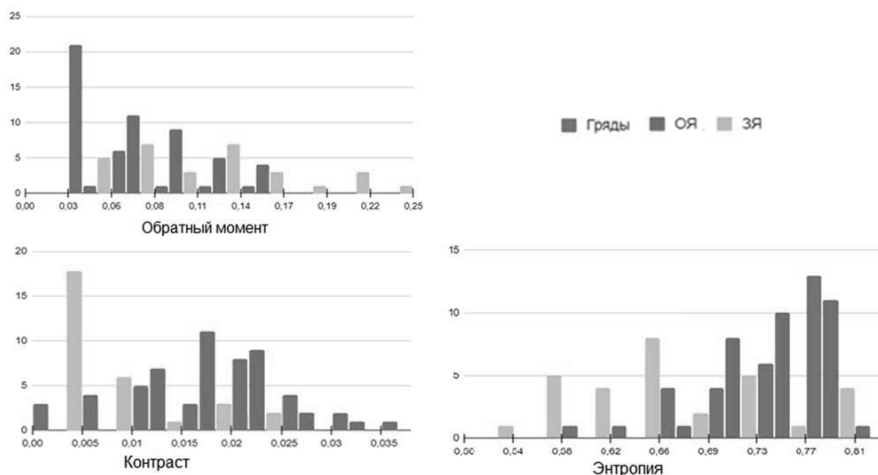


Рисунок 2 – Повторяемость значений текстурных признаков: обратного момента, контраста и энтропии для гряд, закрытых и открытых ячеек

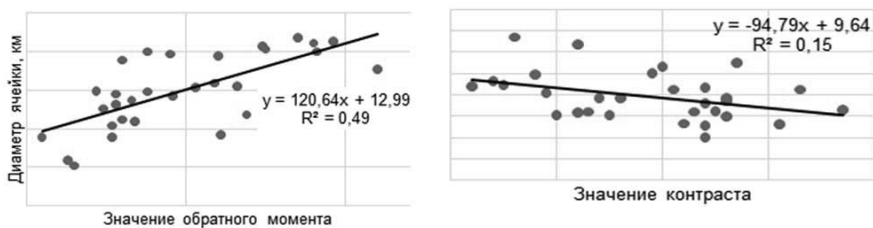


Рисунок 3 – Связь диаметра открытых ячеек с обратным моментом и контрастом

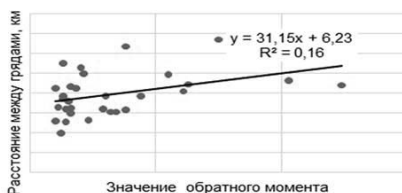


Рисунок 4 – Связь расстояния между облачными грядами и обратным моментом

Статистически значимая линейная зависимость (на уровне 0,05) наблюдается между всеми тремя текстурными признаками и пространственными характеристиками облачных гряд и открытых конвективных ячеек, что позволяет использовать текстурные признаки для определения пространственных характеристик соответствующих облачных структур. Для закрытых ячеек линейная зависимость между текстурными признаками и диаметром ячеек не является статистически значимой.

Использование уравнений линейной регрессии для определения размеров конвективных ячеек или гряд продемонстрировано в табл. 1.

Таблица 1 – Проверка полученных уравнений регрессии

| Значения текстовых признаков | Рассчитанные по уравнению пространственные характеристики (км) | Уравнение линейной регрессии | Измеренные пространственные характеристики (км) | Степень совпадения (%) |
|------------------------------|--|------------------------------|---|------------------------|
| Обратный момент | Расстояние между грядами | | Расстояние между грядами | |
| 0,033 | 7,3 | $y = 31,15x + 6,23$ | 7,7 | 95 |
| Энтропия | Расстояние между грядами | | Расстояние между грядами | |
| 0,788 | 7,2 | $y = -15,59x + 19,53$ | 7,7 | 94 |
| Энтропия | Диаметр ячейки | | Диаметр ячейки | |
| 0,777 | 22,5 | $y = -103,18x + 102,65$ | 20,9 | 93 |

На основании эмпирических формул (табл. 2 [7]) по полученным геометрическим размерам была рассчитана мощность конвективного слоя для каждого типа мезомасштабной облачности.

Таблица 2 - Эмпирические формулы [7] связи геометрических параметров с мощностью конвективного слоя для каждого типа мезомасштабной облачности.

| Мощность слоя открытых конвективных ячеек | Мощность слоя закрытых конвективных ячеек | Мощность слоя облачных гряд |
|--|---|---|
| $h = D/30$, где D – диаметр открытых конвективных ячеек. | $h = D/21$, где D – диаметр закрытых конвективных ячеек | $h = D/6$, где D – расстояние между облачными грядами |

Диапазоны средних значений мощности конвективного слоя для различных типов мезомасштабной облачности составили: облачные гряды: 1,02 - 1,60 км, открытые конвективные ячейки: 0,70 – 0,96 км, закрытые конвективные ячейки: 0,45 – 0,79 км.

Анализируя полученные данные, можно сказать, что максимальное среднее значение и среднеквадратическое отклонение мощности конвективного слоя у облачных гряд. Минимальное - у закрытых конвективных ячеек. Такое распределение минимальных и максимальных значений присуще этим типам мезомасштабной конвективной облачности. Аномалий не наблюдается [7].

Так как процессы ячейковой конвекции в атмосфере чрезвычайно распространены, данные результаты могут оказаться полезными при разработке алгоритмов автоматического распознавания мезомасштабных конвективных типов облачности на спутниковых изображениях. Помимо этого, облачность данных типов формируется вследствие присутствия в тропосфере температурной инверсии, которая выступает как устойчивый слой, ограничивающий конвекцию. Таким образом, определяя вертикальную протяженность конвективного слоя, можно определить высоту приподнятой инверсии, что представляет определенный интерес при анализе атмосферных процессов над морскими акваториями, где отсутствуют данные аэрологического зондирования. Правильная интерпретация систем конвективной мезомасштабной облачности может оказаться очень полезной при анализе условий погоды над обширными территориями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вельтищев Н.Ф., Степаненко В.М. Мезометеорологические процессы. М.: 2006. 126 с.
2. Kouraev, A.V., Zakharova, E.A., Rémy, F. et al. Clouds in the Arctic: Historical overview, climatology and trends from satellite observations. // Polar Biol. 2021. Vol. 44. Pp.1775–1799.
3. Lang F., Ackermann L., Huang Y., Truong S. C. H., et al. A climatology of open and closed mesoscale cellular convection over the Southern Ocean derived from Himawari-8 observations. // Atmos. Chem. Phys., 2022. Vol. 22. Issue 3. Pp. 2135–2152.
4. Alpers W., Brümmer B. Atmospheric boundary layer rolls observed by the synthetic aperture radar aboard the ERS-1 satellite // J. Geophys. Res. 1994. Vol. 99. Pp. 12613-12621.
5. Агаев Т.Д. Роль устойчивого состояния атмосферы в формировании облаков нижнего яруса над Каспийским морем. //Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2022. Вып. 3. С. 13-24.
6. Войнов Н.Е., Кузнецов А.Д., Симакина Т.Е., Сероухова О.С. Текстурированный анализ спутниковых изображений мезомасштабной облачности. //Ученые записки РГТМУ. 2014. № 33. С. 61-68.
7. Руководство по использованию спутниковых данных в анализе и прогнозе погоды. /Гидрометеорол. н.-и. центр СССР, Гос. н.-и. центр изуч. природ. ресурсов; Под ред. И. П. Ветлова, Н. Ф. Вельтищева. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. 300 с.

СЕКЦИЯ 3

АВИАЦИОННАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ: МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПРОГНОЗА И ДИАГНОЗА ГРОЗОПАСНОСТИ ОБЛАКОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА

Михайловский Ю.П.¹, Синькевич А.А.¹, Куров А.Б.¹, Веремей Н.Е.¹, Торопова М.Л.¹,
Кашлева Л.В.²

¹ Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воеикова, г. Санкт-Петербург,

² Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
yurpalych@ya.ru

Аннотация. Представлены результаты анализа регрессионных связей радиолокационных характеристик облаков, включая поляризационные, и данных о грозовой активности в районе г. Санкт-Петербурга с использованием нейронных сетей. Использовались данные радиолокатора ДМРЛ-С и грозопеленгатора Blitzortung. Выявлены р/л параметры, наиболее тесно связанные с частотой молний. Получено математическое выражение для расчёта частоты молний на основе данных о максимальной величине дифференциальной отражаемости и объёме переохлаждённой части облака с отражаемостью более 35 дБЗ.

Ключевые слова. Грозы, молнии, прогноз и диагноз гроз, радиолокация, машинное обучение, искусственный интеллект

USING MACHINE LEARNING METHODS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR PROGNOSIS AND DIAGNOSIS THUNDERSTORMS OF CLOUDS IN THE NORTHWEST REGION

Mikhailovskii Y. P.¹, Sinkevich A. A.¹, Kurov A. B.¹, Veremei N. E.¹, Toropova M.L.¹,
Kashleva L.V.²

¹ Main Geophysical Observatory A. I. Voeikov, St. Petersburg

² Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St. Petersburg

Annotation. The results of the analysis of regression relationships of radar characteristics of clouds, including polarization, and data on thunderstorm activity in the area of St. Petersburg using neural networks are presented. Data from the DMRL-S radar and the Blitzortung lightning direction finder were used. The p/l parameters most closely related to the frequency of lightning are revealed. A mathematical expression is obtained for calculating the frequency of lightning based on data on the maximum value of differential reflectivity and the volume of the supercooled part of the cloud with a reflectivity of more than 35 dBZ.

Keywords. Thunderstorms, lightning, forecast and diagnosis of thunderstorms, radar, machine learning, artificial intelligence.

Введение

Кучево-дождевые облака являются источниками целого ряда опасных явлений (ОЯ) для авиации и других отраслей. Как - то: грозы, смерчи, шквалы, катастрофические ливни и град, порывы и др. Особое место занимают грозы, которые приносят заметные экономические потери, нарушают радиосвязь, могут приводить к гибели людей. Развитие этих ОЯ в значительной степени определяется региональными особенностями. Соответственно, актуальность и практическая значимость исследований проблемы прогноза и диагноза грозопасности облаков северо-западного региона остаются на высоком уровне. Сотрудниками Главной геофизической обсерватории ранее и в настоящее время ведутся активные работы в данном направлении [1- 6].

Важной задачей является распознавание грозовых облаков по радиолокационным (р/л) измерениям, а также дистанционное определение интенсивности грозовой активности на основе анализа р/л характеристик, наиболее тесно коррелирующих с частотой молниевых разрядов [1-8]. Взаимодействие облачных кристаллов с крупной и градом в присутствии переохлаждённых капель воды считается основным механизмом, приводящим к электризации облака [7, 9]. Учитывая, что радиолокационная отражаемость сильно зависит от наличия крупных частиц, к которым относятся крупа и град, можно ожидать наличия связи между электризацией облаков, и, следовательно, частоты молний, с некоторыми р/л характеристиками [2-7].

Залогом и необходимым условием успеха представляется использование в практике метеообеспечения стремительно развивающихся методов искусственного интеллекта и машинного обучения для анализа больших объемов данных [10-17]. Известны работы по наукастинугу опасных явлений с использованием моделей нейронных сетей, которые анализируют данные радара и спутника и прогнозируют местоположение, интенсивность и движение осадков в режиме реального времени [10, 11]. Наиболее распространено использование нейронных сетей для классификации образов, например, для определения наличия тропического циклона на изображении, полученном дистанционно [14]. Нейронные сети используются для обнаружения града, прогноза смерчей и вида осадков (дождь, снег и прочее) [15]. Нейронные сети могут использоваться при прогнозе гроз и их интенсивности на основании данных ДМРЛ-С[12].

Целью работы является исследование статистических связей частоты молний с р/л характеристиками, включая поляризационные, для облаков Северо-Запада России. Для решения указанной выше задачи был выбран день (9 июня 2020 г.) с интенсивными грозами вблизи г. Санкт-Петербурга. Использовались данные ДМРЛ-С Воейково и грозопеленгационной системы (ГПС) Blitzortung. В этой системе используется разностно-дальномерный метод определения координат молний. При этом преимущественно фиксируются молнии «облако - земля» [3].

Данные и методика. Использовалась информация об отражаемости в горизонтальном и вертикальном каналах, поляризационные характеристики облаков и осадков (дифференциальную отражаемость, коэффициент кросскорреляции между каналами, дифференциальную фазу и удельный дифференциальный фазовый сдвиг). Данные для исследования имеют пространственное разрешение 1 км. Период сканирования составляет 10 мин. За указанный день исследован период с 00:00 до 23:50. Для анализа выбраны радиолокационные ячейки, расположенные в слое атмосферы над нулевой изотермой, имеющие отражаемость выше 35 дБZ. Исследовались радиолокационные ячейки, имеющие объём в диапазоне от 20 до 200 км³, это было сделано для исключения из рассмотрения небольших облаков и крупных групп облаков, в которых сразу несколько ячеек формировали единую зону отражаемости 35 дБZ. Для каждой из выбранных ячеек были выполнены оценки объёмов с различной отражаемостью (dV35, dV40 и т.д.) и рассчитаны радиолокационные параметры. Для получения микрофизических характеристик облаков использовались поляризационные радиолокационные измерения. С их помощью по методике, изложенной в работе [21], была осуществлена оценка объёмов зон с крупными каплями, снегом, крупой, и градом в каждой из рассматриваемых ячеек.

Молнии в рассматриваемых ячейках фиксировались грозопеленгационной системой Blitzortung. Для каждой ячейки строился контур её проекции на поверхность Земли. По результатам её сопоставления с данными о координатах разрядов и времени их регистрации определялся факт наличия разрядов в ячейке. Разряды, расположенные в зонах с отражаемостью менее 35 дБZ, исключались из дальнейших расчётов. В данной работе импульсы относились к одной молнии в том случае, если они фиксировались в течение времени не более 1 с от первого импульса. В качестве координат молний принимались координаты первых импульсов.

Результаты и обсуждение. Было исследовано 204 ячейки, в которых не фиксировались молнии, и 148, где молнии были зарегистрированы. Наиболее важными из полученных характеристик нам представляются: объём переохлаждённой части ячейки $dV35$; максимальная отражаемость $\max Z$; максимальная интенсивность осадков $\max I_{\text{осад}}$; максимальная вертикальная интегрированная водность $\max VII$; максимальная дифференциальная отражаемость $\max Z_{dr}$; минимальное значение коэффициента кросскорреляции $\min R_{dr}$; максимальная отражаемость при вертикальной поляризации сигнала $\max Z_v$; объём зоны с крупой $dV_{\text{круп}}$; объём зоны с градом $dV_{\text{град}}$; максимальная высота $HV35$ расположения контура отражаемости 35 дБZ; частота молниевых разрядов f и соотношения объёмов.

На рис.1 представлены гистограммы распределения некоторых из исследуемых характеристик.

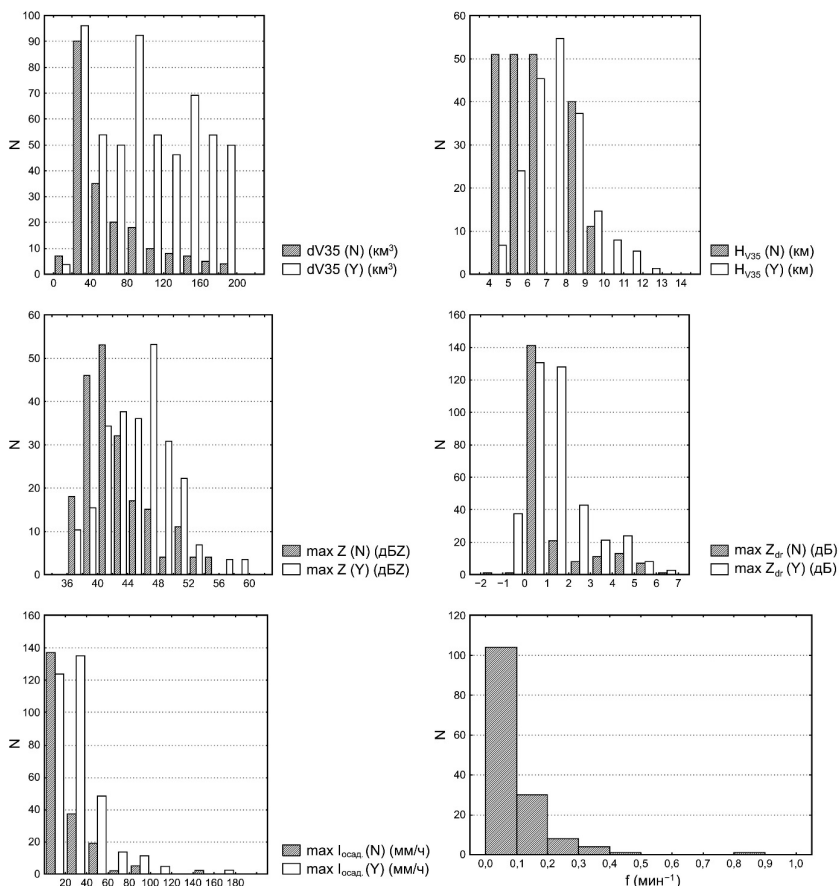


Рисунок 1 – Гистограммы распределений параметров $dV35$, $HV35$, $\max Z$, $\max Z_{dr}$, f , $\max I_{\text{осад}}$. (индексы N и Y относятся к облакам, в которых не наблюдались и наблюдались молнии соответственно)

Из представленных распределений видно, что молнии наблюдаются в облаках, имеющих большие значения соответствующих параметров отражаемости, что может быть связано с большей концентрацией крупных гидрометеоров. Отметим, что минимальное значение величины $\max Z$ для группы Y равно 37,0 дБZ, т.е. молнии начинают регистрироваться при относительно низких значениях отражаемости, что соответствует данным [4,5] для исследуемого района. Это меньше порога для перехода облака в грозовую стадию, равного 40 дБZ, измеренного нами и целой группой исследователей [4-6, 7-9, 14-17]. Максимальная высота контура отражаемости Hv_{35} также больше для грозящих облаков и в экстремуме достигает 12,5 км.

Коэффициенты кросскорреляции ($\min R_{dr}$) слабо различаются и составляют соответственно 0,94 и 0,95 для группы Y и N. Максимальная дифференциальная отражаемость $\max Z_{dr}$ для соответствующих групп различается весьма существенно. Распределение для группы Y сдвинуто в область больших значений. Такой сдвиг может указывать на то, что в облаках присутствуют крупные капли и крупа, покрытая водяной плёнкой.

По методике, представленной в [18], была получена информация об объемах облака выше нулевой изотермы, содержащих снег, крупу и град ($dV_{\text{снег}}$, $dV_{\text{крупа}}$, $dV_{\text{град}}$). Объемы облака со снегом были незначительными. Крупа составляла в среднем 96% объема облака по контуру отражаемости 35 дБZ для рассматриваемых групп. Объемы с градом больше у группы Y, но в целом они незначительны и для обеих групп менее 1,5% относительно объема с крупой. Это указывает на то, что в рассматриваемых облаках формирование молний может происходить и в отсутствии града. Различия между выборками (dV_{35} , $\max Z$, $\max I_{\text{осад.}}$, $\max VIL$, $\max Z_{dr}$, $\min R_{dr}$, $\max Z_v$, $dV_{\text{крупа}}$, Hv_{35}) для групп облаков с молниями и без молний статистически значимы, кроме объема облака с градом $dV_{\text{град}}$. Для этой характеристики $r=0,085$.

Регрессионные связи р/л характеристик с частотой молний изучались с использованием нейронных сетей. Для их построения использован программный пакет Statistica. Было построено 150 нейронных сетей. При построении нейронных сетей использовался метод классификации. Входными переменными являлись: dV_{35} , dV_{40} , dV_{45} и dV_{50} – объемы переохлажденной части облака, имеющие отражаемость 35–50 дБZ соответственно; $\max Z_{600}$, $\max Z_{H0}$, $\max Z_{H15}$, $\max Z$ – максимальная отражаемость на уровне 600 м, на уровне нулевой изотермы, на уровне изотермы -15°C , и выше нулевой изотермы соответственно; $\max I_{\text{осад.}}$; $\max VIL$; $\min R_{dr}$; $\max Z_{dr}$; $\min R_{dr}$; $\min Z_v$; $\max Z_v$; $\min K_{dp}$ и $\max K_{dp}$ – минимальное и максимальное значение удельного дифференциального фазового сдвига; Hv_{35} ; $dV_{\text{снег}}$, $dV_{\text{крупа}}$ и $dV_{\text{град}}$ – объемы облака, содержащие снег, крупу и град, рассчитанные по методике [18]. Размеры обучающей, контрольной и тестовой выборок соотносились как 70:15:15%. Формирование выборок осуществлялось случайным образом. Использовались две стратегии для создания моделей: автоматизированная и пользовательская нейронные сети. Для автоматизированной сети был использован многослойный персептрон с количеством скрытых нейронов от 6 до 30 и радиальная базисная функция с количеством скрытых нейронов от 6 до 130. Использовалось несколько функций активации для скрытых нейронов и выходных нейронов (тождественная, логистическая, гиперболическая и экспоненциальная). Для пользовательской нейронной сети также применялся многослойный персептрон с 18 нейронами. Из 150 сетей были сохранены 5 лучших, дающих наибольшую производительность на контрольной и тестовой выборках, и, соответственно, имеющих наименьшую погрешность. Погрешность для полученных пяти лучших нейронных сетей не превосходила 15%. Архитектура рассматриваемых пяти сетей включала 21 входной нейрон, 13–29 скрытых и два выходных нейрона. Был осуществлён анализ чувствительности, ранжирующий переменные по степени влияния на выходной параметр. Наиболее влияющими переменными оказались $\max Z_{dr}$, dV_{35} , Hv_{35} , $\max Z$, $\max Z_{H15}$. Дифференциальная отражаемость входила в тройку самых

влиятельных переменных во всех 5 нейронных сетях, dV_{35} и Hv_{35} – в 4 сетях, $\max Z$ – в двух сетях, а $\max Z_{H15}$ – в одной. Таким образом, максимальное значение дифференциальной отражаемости, которая зависит от ориентации рассеивателей, в наибольшей степени влияет на формирование молний. Этот результат достаточно неожиданный и требует проверки в дальнейших исследованиях. Влияние объема переохлажденной части dV_{35} и максимальной высоты контура отражаемости Hv_{35} на формирование грозových разрядов отмечалось нами и ранее в ряде экспериментальных исследований [3-8]. Была получена регрессионную зависимость между частотой молний и параметрами, которые в нейросетевых моделях являются наиболее чувствительными, т.е. оказывающие наибольшее влияние на выходную характеристику. В качестве таких характеристик были выбраны объем переохлажденной части dV_{35} , высота контура отражаемости Hv_{35} и дифференциальная отражаемость $\max Z_{dr}$. Были исследованы различные зависимости между этими характеристиками (степенные, логарифмические, экспоненциальные). Использовался метод построения нелинейных регрессионных зависимостей. Наилучшая аппроксимация может быть представлена выражением (уровень значимости $p=0,03$):

$$f [\text{мин}^{-1}] = 0,097758 + 0,000572 \times dV_{35} - 0,011360 \times (\max Z_{dr})^2 + 0,002454 \times (\max Z_{dr})^3$$

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (Грант № 22-27-20031) и С-Петербургского научного фонда (Соглашение № 58/2022 от 15 апреля 2022 г.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сальман Е.М. Комплексный радиолокационный метод метеорологического обслуживания авиации // Труды ГГО. 1964. Вып. 159, С. 24–34.
2. Михайловский Ю.П. Эмпирическая модель электрически активных конвективных облаков и возможности ее использования для тестирования численной модели. Труды ГГО. 2003. № 552. С. 66-75.
3. Михайловский Ю.П., Синькевич А.А., Павар С.Д. и др., Исследования развития грозо-градового облака. Часть 2. Анализ методов прогноза электрического состояния облаков. Метеорология и гидрология. 2017. № 6. С. 31-45.
4. Синькевич А.А., Попов В.Б., Абишев А.М. и др., Радиолокационные характеристики конвективных облаков разных регионов при переходе в грозовую стадию. Оптика атмосферы и океана. 2020. Т. 33. № 12 (383). С. 932-936.
5. Sin'kevich A., Boe B., Pawar S. et al. Investigation of thundercloud features in different regions // Remote Sens. 2021. V. 13, N 16. DOI: 10.3390/rs13163216.
6. Абишев А.М., Абишев М.Т., Аджиев А.Х., и др. Анализ развития и взаимодействия ячеек в грозоградовых облаках. Труды ГГО. 2017. № 586. С. 93-116.
7. Кашилева Л.В., Михайловский Ю.П., Михайловский В.Ю. Механизмы электризации облачных гидрометеоров в грозовых облаках. Ученые записки РГГМУ. 2016. № 45. С. 119-131.
8. Михайловский Ю.П., Торопова М.Л., Веремей Н.Е., и др. Динамика электрической структуры кучево-дождевых облаков. Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 2021. Т. 64. № 5. С. 341-353.
9. Saunders C.P.R., Peck S.L. Laboratory studies of the influence of the rime accretion rate on charge transfer during crystal/graupel collisions // J. Geophys. Res. Atmos. 1998. V. 103, D12. P. 13949–13956. DOI: 10.1029/97JD02644.
10. Ravuri, S., Lenc, K., Willson, M. et al. Skilful precipitation nowcasting using deep generative models of radar. Nature 597, 672–677 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03854-z>

11. C. Wang, P. Wang, P. Wang, et al. Using conditional generative adversarial 3-D convolutional neural network for precise radar extrapolation IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observ. Remote Sens., vol. 14, pp. 5735–5749, May 2021. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9440761>
12. Синькевич А.А., Күров А.Б., Михайловский Ю.П. и др. Исследование характеристик грозовых облаков на Северо-Западе России с использованием нейронных сетей // Опт. атмосферы и океана. - 2022. - Т. 35, № 12. - С. 1008-1014.
13. Buechler D.E., Goodman S.J. Echo size and asymmetry: Impact on NEXRAD storm identification // J. Appl. Meteorol. Climatol. 1990. V. 29, N 9. P. 962–969.
14. Gremillion M.S., Orville R.E. Thunderstorm characteristics of cloud-to-ground lightning at the Kennedy Space Center, Florida: a study of lightning initiation signatures as indicated by the WSR-88D // Weather Forecast. 1999. V. 14, N 5. P. 640–649.
15. Vincent B.R., Carey L.D., Schneider D., Keeter K., Gonski R. Using WSR-88D reflectivity data for the prediction of cloud-to-ground lightning: A central North Carolina study // Natl. Wea. Dig. 2003. V. 27, N 1. P. 35–44.
16. Yang Y.H., King P. Investigating the potential of using radar echo reflectivity to nowcast cloud-to-ground lightning initiation over southern Ontario // Weather Forecast. 2010. V. 25, N 4. P. 1235–1248. DOI: 10.1175/2010WAF2222387.1.
17. Mosier R.M., Schumacher C., Orville R.E., Carey L.D. Radar nowcasting of cloud-to-ground lightning over Houston, Texas // Weather Forecast. 2011. V. 26, N 2. P. 199–212.
18. Dolan B., Rutledge S.A., Lim S., et al. A robust C-band hydrometeor identification algorithm and application to a long-term polarimetric radar dataset // J. Appl. Meteorol. Climatol. - 2013. - V. 52, N 9. - P. 2162-2186.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЗАДАЧАХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГРАЖДАНСКОЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АВИАЦИИ

Солдатенко С.А.

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург
soldatenko@aari.ru

Аннотация. Рассматриваются ключевые аспекты применения технологий искусственного интеллекта при решении задач метеорологического обслуживания гражданской и экспериментальной авиации. Дан анализ современного состояния вопроса в России и в мире. Изложены краткосрочные и долгосрочные перспективы применения методов и технологий искусственного интеллекта при решении всей цепочки задач, возникающих в процессе метеорологического обеспечения полетов и перелетов.

Ключевые слова. Метеорологическое обслуживание, искусственный интеллект, глубокое обучение, гражданская и экспериментальная авиация, метеорологическое обеспечение.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN METEOROLOGICAL SERVICES FOR CIVIL AND EXPERIMENTAL AVIATION

Soldatenko S.A.^{1,2}

¹Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg

²Main centre for information technology and meteorological services for aviation, Moscow

Abstract. The key aspects of using artificial intelligence technologies in solving problems arising in meteorological services for civil and experimental aviation are considered. A current state analysis of the issue in question in Russia and globally is given. Short- and long-term prospects for the application of artificial intelligence methods and technologies in solving the entire chain of problems in aviation meteorological services are outlined.

Keywords. Meteorological services, artificial intelligence, deep learning, civil and experimental aviation.

Широко распространенное словосочетание «искусственный интеллект» (ИИ) является метафорическим понятием, которое обозначает научное направление в информатике, изучающее способы получения знаний, их компьютерного представления, преобразования и использования. ИИ, как междисциплинарное научное направление, объединяет математику, кибернетику, компьютерные науки, психологию, физиологию, нейробиологию, философию сознания и др. Основная область практического применения ИИ – проектирование и создание интеллектуальных экспертных систем, имитирующих когнитивные функции человека [1]. В наши дни ИИ находит свое применение во многих сферах человеческой деятельности, включая гидрометеорологическую деятельность [2-4], к объектам которой относятся климатическая система Земли, климатические, метеорологические и гидрологические условия, процессы и явления, а также изменения, происходящие в окружающей природной среде в результате воздействия на нее естественных и антропогенных факторов.

В области гидрометеорологической деятельности технологии ИИ применимы для сбора, анализа и интерпретации данных наблюдений, мониторинга окружающей природной среды, прогнозирования гидрометеорологической обстановки и опасных природных явлений, а также ряда других задач. Мировой опыт показывает, что использование ИИ способствует улучшению качества гидрометеорологических прогнозов, снижению погодно-климатических рисков и удовлетворению постоянно возрастающих требований к гидрометеорологической информации со стороны потребителей. Одной из важнейших задач Росгидромета является метеорологическое обслуживание гражданской и экспериментальной авиации. Согласно Федеральным авиационным правилам, метеорологическое обеспечение полетов (МОП) гражданской авиации (ГА) является одним из видов обеспечения полетов и осуществляется в целях обеспечения безопасности, регулярности и эффективности полетов путем предоставления требуемой метеорологической информации пользователям воздушного пространства, органам, осуществляющим организацию воздушного движения. В Российской Федерации (РФ) ответственность за МОП ГА лежит на метеорологическом полномочном органе, в качестве которого выступает Росгидромет. Подведомственное учреждение Росгидромета – ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» – служит основным оперативно-производственным учреждением, осуществляющим МОП ГА. Непосредственное метеорологическое обеспечение осуществляют аэродромные метеорологические органы – авиационные метеорологические центры (АМЦ); авиационные метеорологические станции (гражданские) с синоптической частью и без таковой, оперативные группы (ОГ), размещенные в аэропортах и на аэродромах РФ.

В системе МОП значительная роль отводится мониторингу за погодными условиями на аэродромах и аэропортах, составлению прогнозов погоды и предупреждений при ее ухудшении. Решая эти задачи, метеорологические подразделения ежедневно сталкиваются с проблемой информационной перегрузки. Человеку достаточно трудно (если вообще возможно) «переварить» весь объем разнообразной метеорологической информации, который на него «сваливается», с тем, чтобы отследить динамику погодных условий, составить прогноз погоды различной заблаговременности, подготовить сообщения в различных форматах. Современные технологии ИИ позволяют эффективно анализировать большие данные о состоянии природной среды с помощью экспертных систем, основанных на знаниях (систем интеллектуального мониторинга), и осуществлять контроль качества измерительных данных посредством, например, многослойного персептрона, а также сверточных нейронных сетей. Инструменты машинного обучения обеспечивают контроль качества и коррекции погрешностей наблюдений. С помощью этих инструментов удается автоматически обнаруживать ошибки в данных и восполнять в них пробелы, выполнять проверку данных и выявлять несоответствия между ними, что, в конечном итоге, наполовину

уменьшает ошибки формирования электронной базы данных метеорологических наблюдений.

В метеорологических центрах данные наблюдений, прошедшие с помощью ИИ контроль качества, используются для анализа синоптической ситуации и мониторинга текущей погоды. Одной из систем имитации действий синоптиков является разработанная в обсерватории Гонконга Intelligent Meteorological Monitoring Assistant (IMMA), в которой используются знания экспертов-метеорологов, трансформированные в правила и алгоритмы, позволяющие в автоматическом режиме формировать рекомендации авиационным пользователям. С помощью этой системы осуществляется мониторинг сводок погоды и штормовых оповещений и предупреждений, поступающих от метеорологических станций соседних регионов, и автоматическая подача звуковых и визуальных сигналов при превышении метеорологическими переменными некоторых пороговых значений. В результате значительно снижается нагрузка на синоптиков, позволяя им использовать свои знания и опыт для анализа и прогнозирования погоды. Помимо IMMA, в обсерватории Гонконга функционирует система прогноза текущей погоды (наукастинга) SWIRLS (Short-range Warning of Intense Rainstorms in Localized Systems), построенная на глубоком обучении. Эта система позволяет прогнозировать видимость, количество облачности, осадки, грозы, зоны конвекции, на 1 – 2 часа вперед с пространственным разрешением несколько сотен метров при минимальном времени задержки (~ 5 мин) после получения данных.

На данный момент на основе технологий ИИ частными компаниями, научными лабораториями и университетами создано достаточно большое количество систем прогнозирования текущей погоды, используемых во многих аэропортах мира. Эти системы в основном предназначены для прогнозирования опасных метеорологических явлений, связанных с интенсивной конвективной деятельностью (осадки, грозы, кучево-дождевая облачность). В задачах прогнозирования текущей погоды используются рекуррентные нейронные сети, сверточные нейронные сети, в том числе с длинной цепью элементов краткосрочной памяти, генеративно-состязательные сети и другие алгоритмы. Основная информация для систем прогноза текущей погоды предоставляется доплеровскими радиолокаторами и спутниковыми системами дистанционного зондирования. Для повышения точности прогнозирования к моделям глубокого обучения применяется ансамблевый подход. Модели нейросетевого глубокого обучения требуют больших объемов высококачественных обучающих данных, которые необходимо постоянно пополнять, чтобы адаптировать модель к изменяющимся климатическим условиям. Методы глубокого обучения активно изучаются и применяются для прогнозирования текущей погоды с надеждой повысить точность и своевременность прогнозов.

Методы машинного ИИ, в частности, глубокого обучения находят свое применение при решении задачи классификации объектов на спутниковых снимках, что важно для повышения качества синоптического анализа. К объектам классификации относятся облачность, подстилающая поверхность и др. Глубокое обучение позволяет также решить задачу интеграции разнообразных метеорологических данных, полученных с помощью различных технических измерительных систем, с последующим предоставлением объединенных данных пользователям в унифицированном виде. В частности, успешно агрегируются изображения геостационарных спутников и данные наземных наблюдений и аэрологические данные.

В оперативной практике авиационных метеорологических подразделений широко используется продукция численных систем прогнозирования. Технологии ИИ оказываются весьма полезными во всей технологической цепочке численного прогноза погоды, начиная от сбора и контроля качества данных наблюдений и заканчивая вторичной обработкой и физико-статистической интерпретацией результатов численного прогноза. Технологии ИИ применяются для (i) первичной обработки данных наблюдений; (ii) усвоения (ассимиляции) данных; (iii) разработки управляемых данными моделей, дополняющих классические

гидродинамические модели; (iv) создания схем параметризации физических процессов; (v) обработки выходных данных численных моделей (постпроцессинг); (vi) разработки гибридных моделей; (vii) создания полимодельных комплексов; (viii) масштабирования (даунскейлинга) результатов классического численного прогноза.

Наличие больших объемов надежных метеорологических данных, библиотек программного обеспечения для ИИ и современных мощных графических процессорных устройств стимулируют исследования и разработки в области применения ИИ в задачах метеорологического обслуживания ГА. Экспертное сообщество полагает, что в ближайшем будущем ИИ приведет к кардинальным изменениям в гидрометеорологической деятельности и, в частности, в прогнозировании погоды, включая опасные для авиации погодные явления. Развитие ИИ в контексте метеорологического обслуживания различных секторов экономики, в том числе ГА, диктует необходимость, в числе прочего, подготовку нового поколения метеорологов и специалистов в области метеорологического обслуживания, которые бы, помимо глубоких знаний в предметной области, обладали бы не менее глубокими знаниями в области информатики.

В настоящий момент в рамках российско-белорусского проекта 23–47–10003 при финансовой поддержке Российского научного фонда выполняются работы по анализу и тестированию технологий ИИ с точки зрения их возможного применения в задачах прогноза погоды различной заблаговременности, начиная от прогноза текущей погоды и заканчивая долгосрочным прогнозом. Для выявления сложных нелинейных пространственных и временных связей между атмосферными переменными и будущими погодными условиями тестируются сверточные нейронные сети (CNN), рекуррентные нейронные сети (RNN), сверточные сети с длинной цепью элементов краткосрочной памяти (LSTM) и их различные вариации. Возможности генеративно-сопоставительных сетей (GAN) изучаются с точки зрения их использования для составления прогнозов в вероятностной формулировке. Выбор архитектуры нейронных сетей зависит от многих факторов, включая тип данных, используемых для обучения, заблаговременность прогноза, пространственный масштаб прогнозируемых явлений и др.

Современный уровень развития ИИ вряд ли позволит считать его полной альтернативой классическим методам, используемым в прогностической практике метеорологического обслуживания ГА. Представляется, что ИИ может играть роль одного из инструментов анализа и прогнозирования погоды, а разработки, выполненные на основе ИИ, могут также использоваться в качестве автономных инструментов, в зависимости от конкретного приложения.

В целом, следует признать, что применение технологий ИИ для решения задач метеорологического, гидрологического и климатического обслуживания в нашей стране по существу только начинается.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект 23–47–10003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Городецкий В.И., Юсупов Р.М. Искусственный интеллект: метафора, наука и информационная технология. – Мехатроника, автоматизация, управление, 2020, т. 21, № 5, с. 282-294
2. Солдатенко С.А. Искусственный интеллект и его применение в задачах численного прогноза погоды. – Метеорология и гидрология, 2023 (в печати).
3. Boukabara S.-A., Krasnopolsky V., Penny S.G. et al. Outlook for exploiting artificial intelligence in the earth and environmental sciences. – Bull. Amer. Meteorol. Soc., 2021, vol. 102, E1016-E1032.
4. Dewitte S., Cornelis J. P., Müller R., and Munteanu A. Artificial Intelligence Revolutionises Weather Forecast, Climate Monitoring and Decadal Prediction. – Remote Sens., 2021, vol. 13, 3209.

ОСОБЕННОСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА БЕЗОПАСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПИЛОТИРУЕМОЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Краснов А.В., Семенов О.Г., Формазов А.К.

НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», Петергоф

ice45j@yandex.ru, helga194508@yandex.ru,

Аннотация. В статье рассмотрены следующие вопросы: анализ метеорологической обстановки в Арктической зоне Северного Ледовитого океана; влияние условий окружающей среды на использование авиационной техники; анализ состояния метеорологического мониторинга окружающей среды; рекомендации по усовершенствованию метеорологического обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов.

Ключевые слова: метеорологическая обстановка, Арктическая зона, летательные аппараты, безопасность.

FEATURES OF THE METEOROLOGICAL SITUATION IN THE ARCTIC ZONE OF THE ARCTIC OCEAN AND ITS IMPACT ON THE SAFE USE OF MANNED AIRCRAFT

Krasnov A.V., Semenov O.G., Formazov A.K.

NII OSIS VMF VUNC VMF «Voenno-morskaya akademia», Peterhof

Annotation. The article considers the following issues: analysis of the meteorological situation in the Arctic zone of the Arctic Ocean; the impact of environmental conditions on the use of aviation equipment; analysis of the state of meteorological monitoring of the environment; recommendations for improving meteorological safety of aircraft.

Keywords: meteorological situation, Arctic zone, aircraft, safety.

В настоящее время Арктика играет важную экономическую и военно-политическую роль для Российской Федерации. Согласно Указа президента от 5 марта 2020 г. №164 «Об основах государственной политики РФ в Арктике на период до 2035 года», являющегося документом стратегического планирования, Арктика имеет огромное значение в социально-экономическом развитии Российской Федерации и ее национальной безопасности.

Основными направлениями реализации государственной политики РФ в Арктике являются:

- развитие промышленных технологий в интересах нефтегазовых месторождений шельфа Арктической зоны РФ;

- обеспечение военной безопасности РФ в Арктической зоне Северного Ледовитого океана (СЛО):

 - охрана и оборона Северного морского пути;

 - охрана и оборона морских нефтегазодобывающих комплексов, трубопроводов, грузовых терминалов и портов;

 - защита и охрана государственной границы в Арктической зоне РФ.

Одними из основных факторов, тормозящих обеспечение военной и общественной безопасности РФ в Арктической зоне являются:

- малоприспособленность авиационной техники двойного назначения, необходимых для освоения региона и решения поставленных задач для полетов в условиях Арктики;

- длительные сроки разработки и создания новых образцов летательных аппаратов (ЛА) в Арктике, адаптированных к сложным природно-климатическим условиям региона;

- несоответствие существующей системы мониторинга окружающей среды, размещённой в Арктической зоне, современным требованиям. [1]

В результате комплексного анализа метеорологических особенностей Арктической зоны СЛО, можно выделить ключевые природно-климатические характеристики:

1) Температура воздуха. Длина разбега и взлетной дистанции, длина пробега и посадочной дистанции уменьшаются с понижением температуры. От температуры окружающей среды зависит плотность воздуха, которая определяет режимные характеристики полета ЛА. При повышении температуры плотность уменьшается, а, следовательно, уменьшается скоростной напор и наоборот. Температура воздуха влияет на высоту полета. Так повышение ее на больших высотах на 10° от стандартной приводит к понижению предельной высоты полета ЛА. При температурах воздуха ниже 0°C , при переохлажденных осадках образуется гололед, при полете в облаках – обледенение;

2) Плотность воздуха. При понижении температуры наблюдается обратная картина. Изменение скоростного напора вызывает изменение тяги двигателя, подъемной силы, лобового сопротивления и, следовательно, горизонтальной и вертикальной скоростей самолета;

3) Влажность воздуха. Основное влияние влажности на работу авиации сказывается через облачность, осадки, туманы, грозы, обледенение;

4) Ветер. Ветер оказывает большое влияние на полеты всех ЛА. От направления и скорости ветра по отношению к взлетно-посадочной полосе (ВПП), зависит безопасность взлета и посадки самолета. Ветер влияет на длину разбега и пробега самолета. Опасен и боковой ветер, который вызывает снос самолета. Ветер вызывает опасные явления, усложняющие полеты, такие как: ураганы, шквалы, пыльные бури, метели. Структура ветра носит турбулентный характер, что вызывает болтанку и броски ЛА;

5) Облака. Низкая облачность ухудшает видимость при полетах на малых высотах;

6) Осадки. Осадки ухудшают горизонтальную видимость. Осадки считаются сильными при видимости менее 1000 м. Кроме того, водяная пленка на стеклах кабины вызывает оптическое искажение видимых объектов, что опасно для взлета и посадки. Осадки оказывают влияние на состояние аэродромов, особенно грунтовых, а переохлажденный дождь вызывает гололед, обледенение. При посадке на мокрую ВПП изменяется длина пробега самолета, что может привести к выкатыванию за пределы ВПП. Струя воды, отбрасываемая от шасси, может всасываться в двигатель, вызывая потерю тяги, что опасно при взлете.

7) Видимость. При полете в зоне снегопада и метелей, над заснеженной поверхностью земли, вследствие уменьшения контраста между наземными предметами, сильно ухудшается видимость наземных ориентиров и горизонта. [2]

8) Комплексное влияние всех природно-климатических характеристик на ЛА.

Помимо этого, к основным метеорологическим особенностям можно отнести северное сияние, магнитные бури и другие геомагнитные факторы, нарушающие радиосвязь в виде помех радиотехническим средствам, что имеет немаловажную роль при безопасной эксплуатации ЛА в Арктической зоне.

Учитывая все ключевые аспекты метеосреды Арктической зоны, можно сделать вывод, что важнейшим компонентом для безопасной эксплуатации авиационной техники военного и гражданского назначения в этих условиях является мониторинг и контроль окружающей среды в этом регионе.

Полеты авиационной техники военного и гражданского назначения в Арктической зоне относятся к полетам в экстремальных условиях, их организация и выполнение учитывают физико-географические и метеорологические особенности этих районов:

- нехватку естественных и искусственных навигационных ориентиров (маяков, промышленных объектов и т.д.);
- периодические резкие изменения метеорологических условий;
- большая длительность полярного дня и ночи;
- предельно низкие температуры окружающей среды.

Каждый из перечисленных факторов оказывает специфическое влияние на летательные аппараты, их двигатели, системы и оборудование, а также на характеристики их работоспособности и готовности, и в особенности на величину показателя потока отказов авиационной техники.

В осенне-зимний период использование авиации осуществляется с ледовых и заснеженных аэродромов. К особенностям применения с этих аэродромов, а также необорудованных (для использования авиации) территориях относится то, что при посадке и взлете снежные массы могут быть подняты в воздух, что сильно ухудшит видимость и может привести к потере ориентации в пространстве.

Непосредственное метеорологическое обеспечение полетов авиации осуществляют аэродромные метеорологические органы, к которым относятся: авиационные метеорологические центры (АМЦ); авиационные метеорологические станции с синоптической частью (АМС I, II, III разряда); авиационные метеорологические станции без синоптической части (АМС IV разряда); оперативные группы (ОГ), размещенные в аэропортах и на аэродромах РФ. [3]

Основной из перечисленных структур является АМС, которая с учетом разряда, присвоенного ей, обеспечивает экипажи ЛА и аэродромной службы необходимой метеорологической информацией в объеме, предусмотренном Федеральными авиационными правилами «Предоставление метеорологической информации для обеспечения полетов воздушных судов». Особенностью АМС IV разряда является то, что эти станции не имеют синоптической группы, а техник метеоролог получает от закрепленного АМЦ или АМС более высокого разряда прогнозы погоды по своему аэродрому.

Аэродромные метеорологические органы (АМЦ, АМС) получают метеорологическую информацию от других метеорологических органов, включая авиационные прогностические карты погоды зональных авиаметеорологических центров (ЗАМЦ), главного авиаметеорологического центра (ГАМЦ), регионального центра зональных прогнозов (РЦЗП). [3]

Кроме этого, аэродромные метеорологические органы с синоптической частью получают метеоинформацию от сети метеорологических радиолокационных станций, спутниковой метеорологической сети.

Метеорологическая информация предоставляется АМС в виде метеорологических наблюдений, сводок, прогнозов погоды и предупреждений.

Однако, из-за сокращения оперативных подразделений Росгидромета, снижение метеорологического обеспечения Арктической зоне, что сильно затронуло безопасное использование авиационной техники в районах Крайнего Севера и Арктики.

Помимо этого, в связи со сложной военно-политической ситуацией в мире привлечение иностранных источников метеорологической информации не представляется возможным. Это может затронуть национальные интересы РФ в информационной сфере.

Плотность существующих метеостанций и получаемая от них фактическая метеоинформация, в настоящий момент, особенно что касается Крайнего Севера и Арктики является недостаточной для составления качественных авиационных прогнозов.

В настоящее время существует ряд проблем, основными из которых являются:

- недостаточная техническая оснащенность современным метеооборудованием АМС (АМЦ) и ОГ;

- моральное и техническое устаревание существующих технических средств проведения метеонаблюдений на АМС (АМЦ) и ОГ и технологий предоставления метеорологической информации;

- недостаточное покрытие территории Арктической зоны сетью метеорологических радиолокационных и аэрологических станций.

В связи с этим, остро встает вопрос по совершенствованию метеорологического обеспечения, которое должно двигаться по нескольким направлениям:

- разработка и внедрение современных технических средств проведения метеонаблюдений и измерений, существенное улучшение методики и достоверности аэрологических измерений, а также повышение надежности (обязательности) получения аэрологической информации от всех аэрологических станций. В интересах авиации необходимо качественно повысить достоверность аэрологических измерений за счет разработки и внедрения комплексных систем аэрологического радиозондирования;

- разработка и внедрение систем автоматизированного прогнозирования на основе современных численных методов и методик прогнозирования;

- централизация процессов прогнозирования и обмена метеоинформацией.

Для успешного функционирования центров прогнозирования погоды требуется обеспечить высокую достоверность первичных метеоданных и данных об опасных явлениях окружающей среды как в районах аэродромов, так и на маршрутах полетов ЛА.

Обеспечение высокой достоверности первичных метеоданных возможно за счет разработки и внедрения современных технических средств метеоизмерений и наблюдений, работающих на разных физических принципах, а также их комплексирования. При этом необходимо учитывать, что в условиях Крайнего Севера и Арктики традиционные средства метеонаблюдений на аэродромах не всегда могут быть экономически выгодными, особенно для аэродромов сезонного режима работы.

Для таких аэродромов наиболее приемлемым решением может быть использование аэродромных мобильных комплексов метеолокации и зондирования атмосферы (АМКМ). Примером отечественной разработки АМКМ является мобильный интегрированный метеокomплекс «Сварог», представляющий собой подвижный метеорологический и радиолокационный информационно-измерительный комплекс, предназначенный для обеспечения метеорологической информации. [3]

Перечисленные особенности метеорологической обстановки в Арктике свидетельствуют о необходимости наиболее полного их учета для эффективного функционирования авиации в данном регионе.

В Арктической зоне СЛО в настоящее время необходимо нарастить требуемый уровень эффективности метеорологического обеспечения, а также его пространственный охват, уровень точности и детальности предоставляемой метеорологической информации.

С учетом особенностей использования авиации в Арктике можно выделить несколько рекомендаций по усовершенствованию метеорологического обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов:

- увеличение количества метеорологической информации, с помощью установки автоматических метеостанций на арктических архипелагах, а также обязательная передача метеоданных со всех гражданских судов и военных кораблей.

- увеличение оперативного поступления данных дистанционного зондирования атмосферы посредством использования метеорологических спутников и радиолокаторов, которых в стране, в настоящее время, явно недостаточно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ президента от 5 марта 2020 г. №164 «Об основах государственной политики РФ в Арктике на период до 2035 года»;
2. Позднякова В.А. Практическая авиационная метеорология [Электронный ресурс] / В.А. Позднякова. – Уч. пособие для летного и диспетчерского состава ГА. – Екатеринбург: Уральского УТЦ ГА, 2010 г. – 113 с.;
3. Болелов Э.А. Метеорологическое обеспечение полетов гражданской авиации: проблемы и пути их решения// Научный Вестник МГТУ ГА. – 2018. – Том 21 №5. – С.117-129.

ИСКУССТВЕННОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ ОСАДКОВ В ЦЕЛЯХ ТУШЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В СИБИРИ И НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ В 2017-2023 ГГ.: РЕЗУЛЬТАТЫ И ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Сажин И.В.

ФБУ «Авиалесоохрана», г. Пушкино, Московская область

Аннотация: Описана эффективность использования результатов моделирования при планировании мер борьбы с лесными пожарами.

Ключевые слова: активные воздействия на гидрометеорологические процессы, лесные пожары, регулирование осадков, оценка эффективности.

С 2017 года ФБУ «Авиалесоохрана» проводит работы по искусственному увеличению осадков в целях тушения лесных пожаров с применением разработанных в ФГБУ «ЦАО» методов и технологий. (далее - ИУО).

Работы по ИВО в 2017-2023 гг. проводились на обширной территории от Васюганского района Томской области на западе до Омсукчанского муниципального округа Магаданской области. Наибольшее количество мероприятий по ИУО в целях тушения лесных пожаров отмечено в Иркутской области, Республике Саха(Якутия) и Красноярском крае, а в 2022-2023 гг. работы были впервые проведены в Томской области, Республике Тыва, Хабаровском крае и Магаданской области. Районы работ выбирались как по данным о фактической лесопожарной обстановке, так и по оценке условий развития облачности, пригодной для активных воздействий.

В связи со значительной пространственной изменчивостью выпадающих осадков для оценки результатов оперативных проектов по ИУО на больших территориях был использован «метод плавающего контроля» (далее МПК), суть которого заключается в использовании переменного («плавающего») набора контрольных метеостанций. Отсутствие сети доплеровских метеорологических радиолокаторов по большей части Сибири и Дальнего Востока, а также крайне редкая наземная сеть метеорологических станций стимулировали производить оценку эффекта воздействий сравнением фактических и прогностических сумм осадков по данным моделей общей циркуляции атмосферы. В качестве прогностических моделей, по которым прогнозировались осадки, использовались семь глобальных моделей, разработанных разными коллективами и службами, среди них - глобальная полулагранжевая модель Гидрометцентра России и ИВМ РАН – ПЛАВ и мезомасштабная модель Cosmo-Ru-Sib, разрабатываемая Сибирским региональным научно-исследовательским институтом гидрометеорологической информации.

В результате оценки проведенных работ по ИУО была показана достаточно высокая эффективность применения данного анализа – так в 2022-2023 году фактическая сумма осадков в 1,2 раза превышала ожидаемое количество осадков, осредненное по данным прогностических моделей.

УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ СУХИХ ГРОЗ, КАК ПРИЧИНА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ В ЯКУТИИ

Ломакин И.В.¹, Кашлева Л.В.²

¹ Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный

² Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
van-n-no@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается влияние сухих гроз на возникновение очагов пожаров в республике Саха (Якутия), на основании данных метеорологических станций, аэрологического зондирования, а также спутникового анализа.

Ключевые слова. Якутия, сухие грозы, пожары, прогноз.

CONDITIONS FOR THE DEVELOPMENT OF DRY THUNDERSTORMS AS A CAUSE OF FIRES IN YAKUTIA.

Lomakin I.V.¹, Kashleva L.V.².

¹ Central Aerological Observatory, Dolgoprudny

² Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

Annotation. The article examines the influence of dry thunderstorms on the occurrence of fires in the Republic of Sakha (Yakutia), based on data from meteorological stations, aerological sounding, as well as satellite analysis.

Keywords. Yakutia, dry thunderstorms, fires, forecast.

Летние лесные пожары, охватывающие громадные территории, наносят непоправимый экономический ущерб и представляют угрозу жизни проживающих людей [1]. Помощь в предотвращении пожаров или уменьшении их интенсивности – задача чрезвычайной значимости.

В настоящее время в научной и околonaучной среде существует установившееся мнение, что одной из основных причин летних лесных пожаров являются сухие грозы [2]. Для Якутии тема лесных пожаров и причины их возникновения крайне актуальна, так как чуть более половины территории занимают леса и лесные массивы [3].

Сухая гроза — это гроза без осадков, выпадающих на землю, либо гроза с минимальным количеством осадков. При этом явлении состояние атмосферы характеризуется следующим образом: наблюдаются грозовые кучево-дождевые облака (Cb), высокая температура воздуха (выше +28°C), низкая относительная влажность около (40%), высокая нижняя граница облаков 1500 — 3000 м. В это время воздух настолько сухой и горячий, что осадки либо полностью испаряются, не долетев до земли, либо их выпадает минимальное количество. Именно эти признаки состояния атмосферы в дальнейшем использовались для отбора данных.

Территория Якутии находится в зоне резко-континентального климата. Данная особенность региона оказывает особое влияние на процессы облакообразования. В центральных районах в апреле — мае арктический воздух (который всегда характеризуется пониженным содержанием водяного пара с характерными значениями абсолютной влажности), прогреваясь но сохраняя содержание водяного пара, трансформируется в континентальный полярный, при этом его относительная влажность уменьшается.

С уменьшением относительной влажности тот уровень, где водяной пар достигает состояния насыщения, повышается, поэтому и уровень конденсации будет фиксироваться значительно выше в течении продолжительного периода времени [4].

В работе рассматриваются данные 5-ти метеорологических и аэрологических станций Якутии (рисунок 1). Вся информация приведенная в статье содержится на сайте «Погода и климат» [5] и на сайте Университета Вайоминга[6].

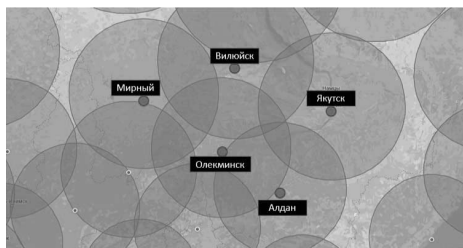


Рисунок 1 – Аэрологические и метеорологические станции

В среднем за 10 лет в период с 2011 по 2021 год, самыми грозовыми являются июнь и июль, отмечается от 3 до 7 дней с грозами, за каждый месяц, гораздо реже грозы встречаются в августе, от 2 до 4 дней, в мае грозовые случаи практически не фиксируются.

Из пяти представленных городов чаще грозы встречаются в Алдане и Олекминске за теплый период, в среднем можно насчитать около двух недель, к сравнению в Якутске и Вилуйске эти показатели будут меньше, примерно в два раза.

При отборе данных были использованы несколько критериев, указывающих наличие явления «Сухой грозы»: малое количество осадков, отметка грозы (грозы без осадков), низкая влажность (менее 50%) слабый ветер (до 3 м/с), высокая отметка уровня конденсации (выше 1500 м). В процентном соотношении из общего числа грозовых дней, порядка 30% процентов относятся к явлению «сухой грозы». Благодаря сайту «Ventusky» [7] удалось рассмотреть снимки, представленные спутником HIMAWARI в дни, когда на метеорологических станциях отмечались грозовые случаи.

Проанализируем спутниковые и метеорологические данные 13.07.2020г. Как показано на Спутниковом снимке (Рисунок 2), Якутск и его окрестности находятся в теплом секторе проходящего по северу циклона, температура воздуха в течении дня поднялась до отметки 35,9 °С, относительная влажность воздуха составляла 37%, ветер 2 м/с. В послеобеденные часы с приближением холодного фронта, за счет интенсивного прогрева активизировалась зона предфронтальной неустойчивости, и на фронте и перед фронтом сформировались ячейки мощно-кучевой и кучево-дождевой облачности (Рисунок 3), метеостанция г. Якутск зафиксировала грозу в два срока и ливневые осадки, выпало 0.3 мм.

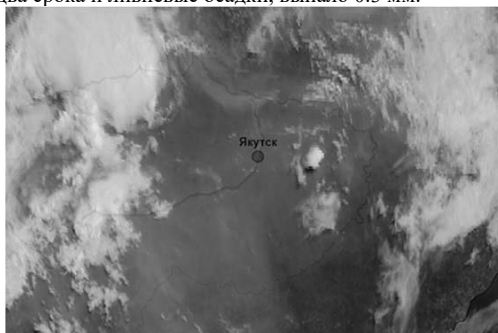


Рисунок 2 – Спутниковый снимок 13.07.2020. Время 00:00 UTC

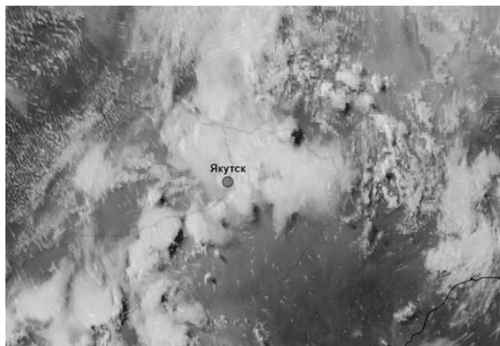


Рисунок 3 – Спутниковый снимок 13.07.2020. Время 09:00 UTC

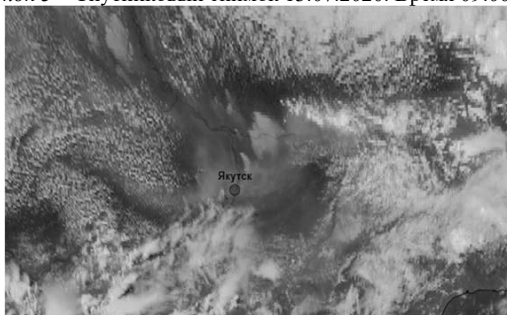


Рисунок 4 – Спутниковый снимок 14.07.2020. Время 06:00 UTC

Уровень конденсации на момент запуска утреннего зонда (по местному времени), был равен приблизительно 1500м.

На утро 13.07.2020 в виду наличия юго-восточного переноса воздушных масс, дымом южных пожаров были окутаны все центральные районы республики, в том числе и г. Якутск (рисунок 2). В отдельных местах, к западу и северу от Якутска, отмечались незначительные очаги, на что указывало наличие полос дыма (рисунок 2). На следующем снимке (рисунок 3) через регион проходит классический изогнутый холодный фронт, на котором развивались мощные Сб, сопровождаемые грозами.

Следующий снимок - обстановка на утро после прохождения фронта. Днем 14.07.2020 после прохождения всей облачной массы на спутниковом снимке (рисунок 4) четко видны образовавшиеся новые очаги пожаров с плотными следами дыма по направлению ветра. Отметим, что очаги пожаров локализуются по линии фронта на период наибольшего развития Сб.

При проведении прогноза таких опасных явлений как грозы, важно учитывать региональные особенности, которые сложились на территории Якутии. В данном анализе приводятся термодинамические индексы, используемые в современных прогностических гидродинамических численных моделях атмосферы.

В настоящее время показатели индексов KIND, TOTL, LIFT, SHOW являются наиболее эффективными и перспективными при прогнозе гроз в разных точках Земли [8].

SHOW(Showalter) и LIFT(Lifted) индексы в которых учитывается разница температур окружающего воздуха и некоего объема воздуха поднявшегося с разных высот.

$$\text{LIFT} = T_{500} - T_1 \quad (1)$$

Где T_{500} – температура окружающей среды на уровне 500 гПа, T_1 – температура воздуха поднятого адиабатически до 500 гПа с уровня 850 гПа.

$$\text{SHOW} = T_{500} - T_2 \quad (2)$$

Где T_{500} – температура окружающей среды на уровне 500 гПа, T_2 – температура воздуха поднятого адиабатически до 500 гПа с уровня 500 м.

KIND (K-index), TOTL(Totals) индексы в которых используется градиент температур на разных уровнях, но так же учитывается дефицит влажности.

$$\text{KIND} = T_{850} - T_{500} + T_{d850} - \Delta T_{d700} \quad (3)$$

Где T_{850} – температура окружающей среды на уровне 850 гПа, T_{500} – температура окружающей среды на уровне 500 гПа, T_{d850} – температура точки росы на уровне 850 гПа, ΔT_{d700} – дефицит точки росы на уровне 700 гПа.

$$\text{TOTL} = (T_{850} - T_{500}) + (T_{d850} - T_{500}) \quad (4)$$

T_{850} – температура окружающей среды на уровне 850 гПа, T_{500} – температура окружающей среды на уровне 500 гПа, T_{d850} – температура точки росы на уровне 850 гПа.

При проведении анализа грозовых дней в период с 2011 по 2021г. были отобраны оптимальные пороговые значения индексов неустойчивости, для 5-ти станций (Таблица 1).

Таблица 1. Пороговые значения индексов неустойчивости

| | SHOW | LIFT | KIND | TOTL | Координаты |
|-------------|------|-------|-------|------|-------------------------|
| 1.Алдан | >1.7 | >-1.1 | >24 | >46 | 58°36' с.ш.125°23' в.д. |
| 2.Виллойск | >2.5 | >1.29 | >22.5 | >48 | 63°44' с.ш. 121°38' в.д |
| 3.Мирный | >1.1 | >0.2 | >25 | >49 | 62°32' с.ш.113°57' в.д. |
| 4.Олекминск | >1.2 | >1 | >24 | >49 | 60°22' с.ш.120°25' в.д. |
| 5.Якутск | >2 | >0.6 | >23 | >47 | 62°02' с.ш.129°43' в.д. |

В приведенной таблице показаны критические значения термодинамических параметров атмосферы для рассмотренных станций при наличии "сухих гроз". Приведенные значения - предварительные. В следующих работах эти параметры следует дополнить для более широкого региона, и расширить спектр используемых критериев.

В заключение отметим, что трансформация воздушных масс в летний период над территорией Якутии приводит к тому, что в этом регионе формируются условия с низкими значениями относительной влажности в нижних слоях тропосферы, что в свою очередь приводит к увеличению высоты нижней границы облаков. Именно это является климатической особенностью региона, что формирует благоприятные условия для развития сухих гроз. При развитии неустойчивости в атмосфере создаются условия для формирования мощных кучево-дождевых облаков с грозами, а это в свою очередь может влиять на обострение пожарной обстановки. Дополнительным фактором пожароопасности являются ландшафтные особенности региона с бескрайними лесами, в отличие от сухих степей со скудной растительностью. Подчеркнем, что проведенный анализ в целом позволяет сделать

вывод о том, что в Якутии сухие грозы возможны и они могут являться одной из причин возникновения лесных пожаров.

Полученные значения термодинамических параметров, используемых при гидродинамическом крупномасштабном прогнозировании, для выбранных станций Якутии – предварительны, но могут быть использованы как рекомендация в практике при прогнозе "сухих гроз" и предупреждении об обострении пожароопасной обстановки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Косенок Ю.Н., Романченко Л.Н. Оценка экономических последствий крупномасштабных чрезвычайных ситуаций // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2022. Том 12. № 3А. С. 524-533. DOI: 10.34670/AR.2022.51.31.060
2. Дмитриев А.Н., Кречетова С.Ю., Кочеева Н.А. Грозы и лесные пожары от гроз на территории Республики Алтай: монография / Дмитриев А.Н., Кречетова С.Ю., Кочеева Н.А. – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2011. – 156 с.
3. Протопопова В.В., Габышева Л.П. ЛЕСОПОЖАРНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ЛЕСНОГО ФОНДА РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ) // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 8. – С. 120-125;
4. Швер Ц.А, Изюменко С.А. Климат Якутска / Якутское территориальное управление по гидрометеорологии и контролю природной среды (Якутское УГКС), 1982 г.
5. <http://www.pogodaiklimat.ru/>
6. <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
7. <https://www.ventusky.com/>
8. Нечепуренко О.Е., Горбатенко В.П., Константинова Д.А., Севастьянов В.В. Индексы неустойчивости атмосферы и их пороговые значения, оптимальные для прогноза гроз над Сибирью/ Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. № 2 (368). С. 44-59.

ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛИТИЯ

Переведенцев Ю.П.¹, Васильев А.А.², Мирсаева Н.А.¹, Шерстюков Б.Г.³,
Шанталинский К.М.¹

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет

²Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации

³Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации
– Мировой центр данных
yperaved@kpfu.ru

PECULIARITIES OF CLIMATIC CHANGES ON THE TERRITORY OF RUSSIA IN RECENT DECADES

Perevedentsev Y.P.¹, Vasiliev A.A.², Mirsaeva N.A.¹, Sherstyukov B.G.³, Shantalinsky K.M.¹

¹Kazan (Volga Region) Federal University

²Hydrometeorological Research Centre of the Russian Federation

³All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information - World Data Centre

Проблема изучения современного климата по-прежнему остается одной из самых цитируемых как в научных кругах, так и в средствах массовой информации. Количественные оценки изменений основных климатических показателей необходимы для обеспечения жизнедеятельности как отдельных стран, так и различных отраслей экономики, включая авиацию.

Открытый доступ к метеорологическим данным, развитие современных информационно-вычислительных технологий позволяют исследовать как глобальные климатические процессы, так и происходящие в отдельных крупных регионах Земли, в том числе на территории России [5]. Изучению климата России посвящен ряд работ. Так в работе [1] рассмотрены изменения приземной температуры над сушей земного шара (1901-2019 гг.), а также температуры и осадков на территории Российской Федерации (1936-2019 гг.). В работе [3], в частности, выявлено, что за период 1976-2019 гг. средняя по России среднегодовая температура растет со скоростью $0,47^{\circ}\text{C}/10$ лет, при этом в Европейской части России потепление происходит быстрее, чем в ее Азиатской части, в Арктической зоне скорость потепления достигает $0,69^{\circ}\text{C}/10$ лет. В зимний период на территории России с середины 1970-х годов до середины 1990-х произошло исключительно быстрое потепление, по-видимому, связанное с ростом индекса североатлантического колебания (NAO), затем наступило похолодание, продолжавшееся до 2010 г.

Кроме того, в работе [4] рассматривается проблема адаптации к происходящим климатическим изменениям.

Известно, что большую часть времени в 1950–1987, 1988–1997 и 1998–2004 гг. среднегодовая глобальная приповерхностная температура практически оставалась постоянной, а все потепление происходило в течение коротких событий посредством скачков 1987 и 1997 годов. Высказано предположение, что аналогичный скачок произошел в 2015–2016 годы, т.е. обнаруживается «лестница» потепления с середины XX века [2].

Цель настоящей статьи – рассмотреть пространственно-временные изменения основных климатических показателей на территории России в два периода – 1976-2019 и 2001-2019 гг.

Исходные данные и методика исследований. Расчеты выполнялись с использованием данных 1251 метеорологической станции на территории России из фонда ВНИИГМИ-МЦД за 1976-2019 гг. Использовались ряды месячных данных только тех станций, по которым за 1976-2019 гг. было не более 2-х пропусков. Таких пропусков было порядка 9%. При имеющейся густоте станций крайне редкие неточности в трендах нивелировались на картах за счет окружающих станций.

Многолетние ряды исходных данных подвергались статистической обработке – находились средние величины, среднеквадратические отклонения, аномалии температуры воздуха и атмосферных осадков, линейные тренды температуры и осадков на территории России для периодов 1976-2019 и 2001-2019 гг.

Выбор периода 2001-2019 гг. обусловлен тем, что на его протяжении произошли крупные климатические события: в 2010 г. завершилась, так называемая пауза, в потеплении климата и начиная с 2015 г. после Эль-Ниньо возобновилось глобальное потепление. Заключительная пятiletка этого периода оказалась наиболее теплой в ряду глобальных метеонаблюдений.

Результаты исследования. Были построены карты трендов температуры воздуха для центральных месяцев сезонов и годовых значений для всей территории России по данным 1251 станции для 2-х периодов: 1976-2019 и 2001-2019 гг.

В январе наибольшая скорость потепления наблюдается в Средней Сибири, на арктическом побережье с максимумом на п-ове Таймыр и на арктических островах от Новой Земли до Новосибирских островов, где коэффициент наклона линейного тренда (КНЛТ) достигает $1,2^{\circ}\text{C}/10$ лет. Значительный рост температуры воздуха (КНЛТ= $0,80\text{--}0,99^{\circ}\text{C}/10$ лет) наблюдается на территории Хабаровского края и на северо-западе Европейской части России (ЕЧР) в районе Архангельска достигает. На остальной территории ЕЧР также отмечается потепление, но меньшей интенсивности (КНЛТ меняется в пределах $0,20\text{--}0,59^{\circ}\text{C}/10$ лет). Очаги похолодания сформировались на юге Западной Сибири, где КНЛТ <0 и меняется в пределах от $-0,40$ до $-0,79^{\circ}\text{C}/10$ лет, и на Дальнем Востоке (Магаданская область).

В апреле картина более однородная. Вся Европейская часть России, кроме территории Северного Кавказа, охвачена умеренным потеплением с максимумом на Арктическом побережье, где значение КНЛТ достигает $0,80-0,99^{\circ}\text{C}/10$ лет. Обширная территория Западной, Средней и Восточной Сибири, все Арктическое побережье от Ямала до Чукотки, арктические острова заняты интенсивным потеплением (КНЛТ в районе Таймыра достигает $1,2^{\circ}\text{C}/10$ лет). Практически вся территория России испытывает потепление климата.

В июле запад и юго-запад ЕЧР заняты областью достаточно интенсивного потепления (КНЛТ изменяется от $0,60$ до $0,99^{\circ}\text{C}/10$ лет), на остальной части России, за исключением средней полосы Западной Сибири, где потепление практически отсутствует, преобладает слабый рост температуры воздуха со скоростью от $0,20$ до $0,59^{\circ}\text{C}/10$ лет.

В октябре происходит более активное потепление на всей территории России от ее западных до восточных границ (за исключением Камчатки). Наиболее интенсивный рост температуры наблюдается в северных районах Сибири, на Арктическом побережье и Чукотке, где КНЛТ превышает $1,2^{\circ}\text{C}/10$ лет.

Тренды среднегодовой температуры свидетельствуют об умеренном потеплении климата практически на всей территории России. Наиболее интенсивно оно происходит на арктическом побережье Азиатской части России и прилегающих островах. Так, в районе п-ова Таймыр КНЛТ достигает значения $1,2^{\circ}\text{C}/10$ лет. При этом в центральной и северной частях Сибири потепление более выражено, чем на ЕЧР, где выделяется Карелия и юго-запад Центрального федерального округа (КНЛТ= $0,60-0,79^{\circ}\text{C}/10$ лет).

Рассмотрим региональные особенности изменения режима атмосферных осадков в период 1976-2019 гг. на территории России. Пространственная картина распределения трендов осадков весьма неоднородная. Так, в январе на ЕЧР наблюдается рост количества осадков со скоростью $1,0-1,9$ мм/10 лет с максимумом на северо-западе, где КНЛТ= $2,0-2,9$ мм/10 лет. В центре и на юге Западной Сибири, на Алтае и в северных районах Дальнего Востока, включая Чукотку, отмечается уменьшение количества осадков (КНЛТ достигает $-2,0...-2,9$ мм/10 лет). В то же время выделяется северный регион Западной и Средней Сибири от п-ова Таймыр до Новосибирских островов, где количество осадков увеличивается со скоростью, достигающей $2,0-2,9$ мм/10 лет.

В апреле основной очаг прироста осадков смещается с ЕЧР в восточном направлении на Предуралье, Западную и Среднюю Сибирь, где КНЛТ достигает $3,0-3,9$ мм/10 лет. Основные очаги уменьшения сумм осадков формируются на Северном Кавказе, в Магаданской области, в Приамурье и Приморье, где КНЛТ в отдельных местах составляет $-4,0$ мм/10 лет.

В июле практически вся ЕЧР (за исключением северо-запада), западная часть Западной Сибири, Арктическое побережье от Таймыра до Чукотки, Магаданская область и Камчатка, Прибайкалье и Забайкалье находятся в зоне уменьшения количества осадков; так, КНЛТ <-4 мм/10 лет на ЕЧР и Камчатке, в то же время юг Восточной Сибири, Приамурье и Приморье располагаются в зоне роста количества осадков (КНЛТ >4 мм/10 лет).

В октябре на большей части территории России отмечается рост количества атмосферных осадков (максимум на Чукотке, где КНЛТ >4 мм/10 лет). Распределение очагов с уменьшением сумм осадков носит пятнистый характер, они разбросаны по территории России и менее интенсивны: выделяются Карелия, юг Западной Сибири, дальневосточные районы КНЛТ на о. Сахалин составляет $-3,0...-3,9$ мм/10 лет.

Тренды, построенные по годовым значениям сумм осадков за период 1976-2019 гг., свидетельствует об увеличении количества осадков на большей части территории России. Так, на побережье Охотского моря КНЛТ >25 мм/10 лет. Уменьшение сумм осадков наблюдается в центре и на юге ЕЧР, на Северном Кавказе, где КНЛТ $\sim 10-14$ мм/год. Небольшие очаги с уменьшением количества осадков отмечаются на о. Новая Земля, юге Средней Сибири, северо-востоке Чукотки.

Для оценки влияния циркуляции атмосферы на термический режим Европейской части России (ЕЧР) рассчитывались коэффициенты r в период 1976-2019 гг. между временными рядами индексов атмосферной циркуляции (АО, NAO, EAWR, SCAND) и температурой воздуха на отдельных станциях. Всего использовались данные 95 станций. Были построены карты изокоррелят для января и июля. Их анализ позволил выявить следующие особенности. В январе с арктической осцилляцией (АО) связи более тесные на западе и в центре региона (в районе Пскова $r=0,6$), в направлении с юго-запада на северо-восток происходит их ослабление (в Северном Предуралье $r=0,2$). В июле связи незначимы. С индексом североатлантического колебания NAO в январе также связи более тесные на западной и центральных частях региона ($r=0,7$), в восточном направлении происходит заметное ослабление влияния североатлантического колебания, а на юго-востоке ЕЧР r уменьшается до 0,2 и меньших значений (Оренбург). В июле значения коэффициентов корреляции незначительны ($\sim 0,2$). Таким образом, арктическая осцилляция и североатлантическое колебание оказывают заметное воздействие на термический режим региона в зимний период, и прежде всего на его западную и центральную части. Это воздействие положительное, т.е. атмосферная циркуляция способствует потеплению в регионе в зимний период. Циркуляционная мода Восточная Атлантика – Западная Россия (EAWR) наибольшее влияние оказывает в летний период и в основном на центр и особенно на восток региона, где величина $r=-0,7$, что свидетельствует об охлаждающем влиянии Северной Атлантики в этот период. Связь температуры воздуха с индексом SCAND в январе лучше выражена в южной половине ЕЧР и особенно на востоке территории (Урал, Оренбуржье, Северной Кавказ), где r принимает отрицательное значение ($r=-0,6$). Таким образом, формирование блокирующего скандинавского антициклона заметно влияет на зимний термический режим востока ЕЧР и способствует понижению температуры воздуха. В июле связь между компонентами выше на северо-западе ЕЧР ($r=0,4$) и ослабевает в направлении на юго-восток.

Заключение. Таким образом, в результате анализа вычисленных трендов для центральных месяцев сезонов и годовых значений приземной температуры воздуха и атмосферных осадков выявлены следующие основные особенности изменения температурно-влажностного режима на территории России в 1976-2019 гг.

В 1976-2019 гг. практически на всей территории России происходило потепление климата, которое отмечается и в 2001-2019 гг., за исключением полосы южных районов Западной и Средней Сибири.

В период 1976-2019 гг. на большей части территории России, особенно в ее азиатской части, отмечается увеличение годовых сумм осадков.

В период 2001-2019 гг. контрастность в распределении атмосферных осадков по территории России значительно усилилась. В ряде регионов сменился знак тренда сумм осадков. Так, если в 1976-2019 гг. в Западной и Средней Сибири происходило увеличение сумм осадков, то в 2001-2019 гг. наоборот, отмечалось их уменьшение. В то же время годовое количество осадков заметно возросло в окраинных восточных районах России. Следует также отметить отрицательную тенденцию уменьшения осадков, и, следовательно, роста засушливости в южной половине ЕЧР.

Полученные в работе тренды температуры воздуха и атмосферных осадков для центральных месяцев сезонов могут служить дополнением к результатам анализа сезонных трендов этих величин, представленных в докладе [3], так как, согласно работе [1], ход сезонной температуры, в особенности зимой, в последние десятилетия определяется не обязательно только вкладом центрального месяца сезона.

В динамике термического режима ЕЧР важную роль играет циркуляционный фактор. Происходит заметное изменение характера статистических связей в зависимости от индекса циркуляции. Если арктическое и североатлантическое колебания более эффективно влияют на термический режим западных районов зимой (связи положительные), то мода SCAND

зимой в значительно большей степени влияет на восток региона (связь отрицательная). Колебание EAWR также более эффективно воздействует на востоке региона, но уже в летний период и с отрицательным знаком. Роль циркуляционных факторов на рассматриваемой территории неоднородна как по знаку, так и по интенсивности.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РНФ (проект № 22-27-20080).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Бардин М.Ю., Ранькова Э.Я., Платова Т.В., Самохина О.Ф., Корнева И.А. Современные изменения приземного климата по результатам регулярного мониторинга. - Метеорология и гидрология, 2020, № 5, с. 29-45.
2. Барцев С.Н., Белолитецкий П.В., Дегерменджи А.Г., Иванова Ю.Д., Почечутов А.А., Салтыков М.Ю. Новый взгляд на динамику климата земли. - Вестник российской академии наук, 2016, т. 86, № 3, с. 244-253.
3. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. – М., 2021, 104 с.
4. Катцов В.М., Хлебникова Е.И., Школьник И.М., Рудакова Ю.Л. Вероятностное сценарное прогнозирование регионального климата как основа разработки адаптационных программ в экономике Российской Федерации. - Метеорология и гидрология, 2020, № 5, с. 46-58.
5. Переведенцев Ю.П., Шерстюков Б.Г., Шанталинский К.М., Гурьянов В.В., Аухадеев Т.Р. Климатические изменения в Приволжском федеральном округе в XIX-XXI веках. - Метеорология и гидрология, 2020, № 6, с. 36-46.

РЕЖИМ КОНЦЕНТРАЦИИ ОСНОВНЫХ ГАЗОВЫХ КОМПОНЕНТ В ВОЗДУШНОМ БАССЕЙНЕ КАЗАНИ

Сафонова С.Н.

Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, Казань
avsafia@yandex.ru

Аннотация. Рассматриваются основные загрязнители атмосферного воздуха в Казани и их особенности, характеристика и влияние на организм человека. Также описывается качество атмосферного воздуха в разных районах Казани. Анализ загрязнения воздуха за период 2012-2022 гг. в Казани.

Ключевые слова. Казань, загрязнители атмосферного воздуха, организм человека, концентрация, автоматизированные измерения.

CONCENTRATION REGIME OF THE MAIN GAS COMPONENTS IN THE AIR BASIN OF KAZAN

Safonova S.N.

Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan

Annotation. The main pollutants of atmospheric air in Kazan and their features, characteristics and impact on the human body are considered. It also describes the quality of atmospheric air in different districts of Kazan. Analysis of air pollution for the period 2012-2022 in Kazan.

Keywords. Kazan, atmospheric air pollutants, human body, concentration, automated measurements.

Казань — это крупнейший город Республики Татарстан в Российской Федерации. Город расположен на обоих берегах реки Волги, в умеренном климатическом поясе, на самом юге Восточной Европы, в центре России. Одной из главных черт физико-географического положения Казани является ее реки и озера. Крупнейшей рекой Татарстана является Волга [1].

Для изучения качества атмосферного воздуха в таком крупном городе как Казань установлены автоматические станции контроля загрязнения атмосферы (далее - АСКЗА), функционирующие в круглосуточном непрерывном автоматизированном режиме. Автоматизированные измерения — современный и эффективный подход, реализованный в крупных городах мира, который позволяет оперативно выявлять сверхнормативные загрязнения атмосферного воздуха, практически исключает статистические ошибки оценки средних значений и обеспечивает высокую достоверность данных.

Всего на территории Казани Министерством экологии и природных ресурсов Республики Татарстан установлено и эксплуатируется 4 автоматических станций контроля за загрязнением атмосферного воздуха. По каждой станции доступна информация как об актуальных измерениях, так и об измерениях, сделанных ранее, в абсолютных значениях и в долях ПДК. Большую часть районов АСКЗА охватывают и постоянно мониторят качество атмосферного воздуха Казани. Для более полноценного контроля и анализа, АСКЗА нужно установить в Вахитовский, Советский и Московский районы. Таким образом АСКЗА будут установлены в каждом районе Казани, следовательно, улучшится качество исследования загрязнения атмосферного воздуха.

На данный период АСКЗА находятся по следующим адресам:

1. АСКЗА – 2. Приволжский район, ул. Павлюхина, 75
2. АСКЗА – 3. Авиастроительный район, ул. Максимова, 76
3. АСКЗА – 4. Ново-Савиновский район, ул. Четаева, 26
4. АСКЗА – 5. Кировский район, ул. Ильгана Шакирова, 3 (установлена в 2023

г.).

Современный мир полон химических элементов, которые окружают нас в ежедневной жизни и влияют на наше здоровье, рассмотрим некоторые из них.

Пыль и другие мелкие частицы могут негативно влиять на здоровье человека, и особенно это касается участков дыхательной системы.

Окислы азота, такие как диоксид азота (NO₂) и трехатомный оксид азота (NO₃), могут оказывать вредное воздействие на организм человека при высоких концентрациях в воздухе, особенно у людей с предрасположенностью к заболеваниям дыхательной системы [2].

Диоксид серы и сероводород относятся к типичным вредным веществам, которые могут оказывать отрицательное влияние на организм человека.

Сероводород — это бесцветный газ с тяжелым запахом, который образуется в процессе анаэробного распада белков. Он может появляться при складировании отходов, в канализации, а также в химической промышленности. В низких концентрациях сероводород не представляет серьезной угрозы для здоровья, но в высоких концентрациях может вызвать головную боль, тошноту, рвоту и головокружение [3].

Основным источником данных в данной работе является ГИС «Экологическая карта Республики Татарстан», которая включает в себя различные подсистемы. Для изучения качества атмосферного воздуха данные были скачаны с подсистемы «Автоматические станции контроля загрязнения атмосферного воздуха». Она предназначена для отображения информации о показателях загрязняющих веществ, получаемых со стационарных постов контроля за загрязнением атмосферного воздуха в онлайн режиме (рисунок 1).

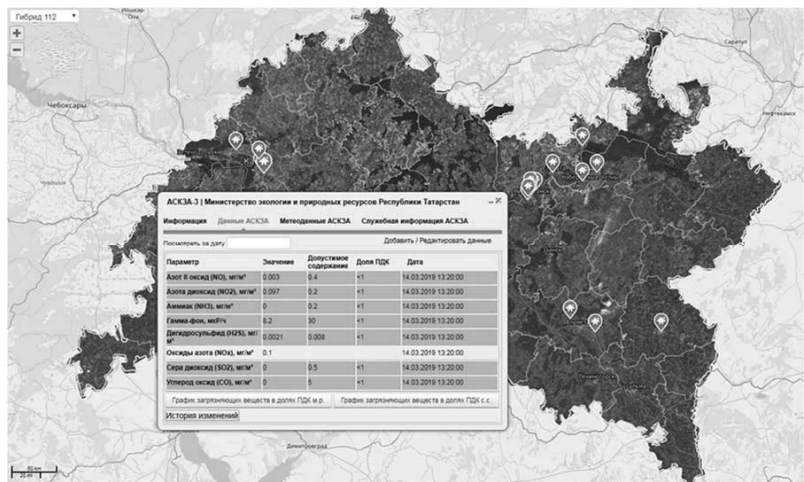


Рисунок 1 - Подсистема «Автоматические станции контроля загрязнения атмосферного воздуха».

Для предварительного изучения концентрации веществ в воздухе был сформирован архив данных автоматического измерения и проведён их анализ. Рассмотрим загрязнение атмосферного воздуха на основе данных с АСКЗА [4]. Результаты анализа показаны в таблицах 1-3.

Таблица 1 - Данные о загрязняющих веществах на АСКЗА – 2

| АСКЗА - 2 | Среднегодовая концентрация, мг/м3 | | | | | | | |
|----------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | ср.знач. |
| Азот II оксид (NO) | 0,0029 | 0,0104 | 0,1261 | 0,0144 | 0,0040 | 0,0151 | 0,0381 | 0,0301 |
| Азота диоксид (NO2) | 0,0245 | 0,0246 | 0,0317 | 0,0613 | 0,0300 | 0,0429 | 0,0792 | 0,0420 |
| Аммиак (NH3) | 0,0013 | 0,0190 | 0,0872 | 0,0285 | 0,0046 | 0,0044 | 0,0036 | 0,0212 |
| Бензол | | | | 0,0018 | | 0,0030 | | 0,0024 |
| Дигидросульфид (H2S) | 0,0001 | 0,0014 | 0,0004 | 0,0008 | 0,0028 | 0,0017 | 0,0005 | 0,0011 |
| М, п-ксилол | 0,0002 | | | 0,0020 | | | | 0,0011 |
| Метан (CH4) | 0,3928 | 0,3923 | | | | | | 0,3926 |
| О-ксилол | 0,0003 | | | 0,0010 | | | | 0,0007 |
| Озон (O3) | 0,0217 | 0,0199 | 0,0145 | 0,0470 | 0,0196 | 0,0045 | | 0,0212 |
| Пыль | 0,0140 | 0,0010 | 0,0040 | 0,0090 | 0,0021 | | | 0,0060 |
| C1-C10 | 0,1398 | 0,1930 | | | | | | 0,1664 |
| Сера диоксид (SO2) | 0,0008 | 0,0072 | 0,0043 | 0,0077 | 0,0170 | 0,0110 | 0,0027 | 0,0072 |
| Стирол | 0,0003 | | | | | | | 0,0003 |
| Толуол | 0,0000 | | | 0,0033 | | 0,0020 | | 0,0018 |
| Углерод оксид (CO) | 0,4594 | 0,3600 | 1,1163 | 0,6167 | 0,1875 | 0,3283 | 0,4766 | 0,5064 |

Таблица 2 - Данные о загрязняющих веществах на АСКЗА – 3

| АСКЗА - 3 | Среднегодовая концентрация, мг/м³ | | | | | | | | ср.знач. |
|---|-----------------------------------|-------------|-------------|------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | |
| Азот II оксид (NO) | 0,0187 | 0,0409 | 0,1433 | 0,04880321 | 0,0416786 | 0,0123577 | 0,032517 | 0,045342 | 0,0480 |
| Азота диоксид (NO2) | 0,0243 | 0,0934 | 0,0307 | 0,10039722 | 0,0475714 | 0,0252984 | 0,035407 | 0,053557 | 0,0513 |
| Аммиак (NH3) | 0,0067 | 0,0060 | 0,0000 | 0,01113016 | 0,003375 | 0,0041481 | 0,004455 | 0,007 | 0,0053 |
| Бензол | | | 0,0025 | 0,00486667 | 0,001 | 0,0013333 | | 0,001 | 0,0021 |
| Взвешенные частицы PM10 | 0,0150 | 0,0173 | | | 0,0275 | 0,0159167 | 0,029308 | 0,035058 | 0,0233 |
| Гамма-фон | 10,4667 | 9,0333 | 8,6083 | 8,47797619 | 8,7875 | 8,9187963 | 9,238462 | 9,011852 | 9,0679 |
| Дигидросульфид (H2S) | 0,0000 | 0,0014 | 0,0022 | 0,00226778 | 0,003925 | 0,0037153 | 0,001032 | 0,00077 | 0,0019 |
| Изопропилбензол | | | | 0,008 | 0,0165 | | | 0,002643 | 0,0090 |
| М, п-ксилол | | | 0,0020 | 0,0035 | | | | | 0,0028 |
| Метан (CH4) | 1,2333 | 1,5000 | 0,9607 | 1,58321429 | | | | | 1,3193 |
| О-ксилол | | | 0,0007 | 0,005 | | | | | 0,0028 |
| Оксиды азота (NOx) | 0,0430 | 0,1348 | 0,1745 | 0,14915321 | 0,0891429 | 0,0368222 | 0,065394 | | 0,0990 |
| Сера диоксид (SO2) | 0,034 | 0,006383333 | 0,025063333 | 0,00873996 | 0,0047792 | 0,0114704 | 0,004774 | 0,002987 | 0,0123 |
| Стирол | | | | | | | | 0,001593 | 0,0016 |
| Сумма углеводородов (СНх) | 1,766666667 | 1,86875 | 2,179166667 | 1,7852381 | | | | | 1,9000 |
| Сумма углеводородов за вычетом метана (НСН) | 0,533333333 | 0,3875 | 1,066666667 | 0,35337302 | | | | | 0,5852 |
| Толуол | | | 0,004 | 0,0031746 | 0,00325 | 0,001125 | | 0,002133 | 0,0027 |
| Углерод оксид (CO) | 0,15 | 0,65 | 0,983333333 | 0,93690476 | 0,9416667 | 0,3552778 | 0,55 | 0,539101 | 0,6383 |

Таблица 3 - Данные о загрязняющих веществах на АСКЗА – 4

| АКСЗА - 4 | Среднегодовая концентрация, мг/м ³ | | | | | | | | | | | ср.знач. |
|--|---|----------|----------|--------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | |
| Азот II оксид (NO) | 0,019373 | 0,746737 | 0,036227 | 0,0111 | 0,017921 | 0,0054 | 0,012226 | 0,005615 | 0,03275 | 0,059783 | 0,045627 | 0,090248 |
| Азота диоксид (NO ₂) | | | | 0,0222 | 0,038947 | 0,0306 | 0,065643 | 0,033156 | 0,0225 | 0,08645 | 0,117469 | 0,052123 |
| Аммиак (NH ₃) | 0,135656 | 2,057486 | 0,0019 | 0,0008 | 0,014208 | 0,0049 | 0,005429 | 0,0235 | 0,017125 | 0,009429 | 0,011683 | 0,20746 |
| Бензол | | | | | | 0,0032 | 0,001421 | 0,001 | 0,0015 | 0,001 | 0,005286 | 0,002234 |
| Гамма-фон | 9,328335 | 9,634613 | 9,889788 | 9,4251 | 9,332075 | 10,3724 | 8,227273 | 8,79 | 6,483333 | | | 9,053652 |
| Дигидросульфид (H ₂ S) | 0,008085 | 0,003205 | 0,001494 | 0,0023 | 0,00446 | 0,0006 | 0,001544 | 0,00129 | 0,00135 | 0,000371 | 0,000879 | 0,002329 |
| М, п-ксилол | | | | | | 0,0023 | 0,001051 | | 0,001 | 0,0015 | | 0,001471 |
| Метан (CH ₄) | 1,284663 | 1,210849 | 1,303635 | 1,0919 | 1,451948 | 1,4313 | 1,427473 | 1,7 | | | | 1,362709 |
| О-ксилол | | | | | | | 0,001143 | 0,001 | 0,001 | 0,006357 | 0,005786 | 0,003057 |
| Оксиды азота (NO _x) | | | | | 0,044022 | 0,0329 | 0,077091 | 0,034844 | 0,039125 | 0,1462 | 0,163099 | 0,076751 |
| Сера диоксид (SO ₂) | 0,007253 | 0,001336 | 0,016634 | 0,0367 | 0,054182 | 0,0114 | 0,004128 | 0,006006 | 0,01332 | 0,00127 | 0,00587 | 0,014378 |
| Стирол | | | | | | | | | | 0,001375 | 0,001273 | 0,001324 |
| Сумма углеводородов (С _{Нх}) | | | | 1,4690 | 1,657143 | 1,6156 | 1,614286 | 1,8 | | | | 1,63122 |
| Сумма углеводородов за вычетом метана (С _{Нх}) | | | | 0,2262 | 0,207792 | 0,1750 | 0,18022 | 0,1 | | | | 0,17784 |
| Толуол | | | | | | 0,0017 | 0,002286 | 0,00155 | 0,001 | 0,0029 | 0,004286 | 0,002287 |
| Углерод оксид (CO) | 0,3899 | 0,345471 | 0,402392 | 0,2872 | 0,716092 | 0,1702 | 0,299259 | 0,335 | 0,3 | 0,507143 | 0,401701 | 0,377672 |

По данным Управления Роспотребнадзора по Республике Татарстан (Татарстан), за последние три года в Республике Татарстан наблюдаются:

- стабилизация негативного влияния стационарных источников выбросов городских поселений, что подтверждается результатами подфакельных и маршрутных исследований, в том числе снижением доли проб с превышением ПДК_{м.р.} по специфическим примесям, характерным для выбросов промышленных предприятий;
- снижение загрязнения, формируемого выбросами автотранспорта, что подтверждается данными исследований атмосферного воздуха в зоне влияния автомагистралей [5].

На основании проделанной работы можно сформулировать следующие выводы:

Среднегодовые значения всех веществ в период с 2012 по 2022 года практически не превышали предельно допустимые концентрации, следовательно, концентрация основных газовых компонент в воздушном бассейне Казани в норме.

Основными веществами, загрязняющими атмосферный воздух, являются углеводороды, включая летучие органические соединения, диоксид серы, оксиды азота, оксид углерода, взвешенные вещества.

Основную долю в загрязнение атмосферного воздуха вносят углеводороды, включающие такие вещества, как предельные и непредельные углеводороды, бутилацетат, этилацетат, бутанол, этанол, бутадиев, изобутилен, изопрен, метанол, ацетон, ксилол и др.,

большая часть из которых поступает в атмосферу от источников загрязнения, расположенных на предприятиях топливной и нефтехимической промышленности.

Превышения наблюдались на автоматической станции контроля загрязнения атмосферного воздуха, которая находится в Ново-Савиновском районе Казани, в 2013 году. Среднегодовая концентрация азот II оксида превысила в 1,87 ПДК, среднегодовая концентрации аммиака превысила в 10,29 ПДК. Для более детального анализа необходимо увеличить количество автоматических станций контроля загрязнения атмосферного воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колобова Н.В., Швер Ц.А., Наумова Э.П. Климат Казани: справочник специалиста, 1990 г. – 188 с.
2. Голицын Г.С., Гранберг И.Г., Поволоцкая Н.П. Атмосфера и здоровье, 2009 г.
3. Шелмаков С.В., Трофименко Ю.В., Лобиков А.В. Борьба с загрязнением атмосферы дисперсными частицами на автомобильном транспорте, 2018 г. – 164 с.
4. Экологическая карта Республики Татарстан – URL: <https://ecokarta.tatar.ru/>
5. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики татарстан в 2022 году». – Казань, 2023 г. – 398 с.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РУЛОННЫХ ОБЛАКОВ

Глушкова В.Д., Кашлева Л.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
verikag@yandex.ru

Аннотация. Рассматриваются Рулонные облака и возможность их прогнозирования.

Ключевые слова. Рулонное облако, восходящие и нисходящие потоки, мезомасштабная циркуляция, инверсия.

CONDITIONS FOR THE FORMATION OF ROLL CLOUDS

Glushkova V.D., Kashleva L.V.

Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg

Annotation. Roll clouds and the possibility of their prediction are considered

Keywords. Roll Cloud, ascending and descending air currents, mesoscale circulation, inversion.

Введение. Рулонные облака, которые так же называются облаками-убийцами, представляют опасность для производственной деятельности людей, прежде всего для авиации, из-за того, что сопровождаются резким шквалистым ветром до 30 м/с. Это малоизученные облака; методы прогнозирования Рулонных облаков в настоящее время отсутствуют.

Описание явления. Рулонное облако представляет собой вихревую горизонтально расположенную трубу, либо несколько чередующихся труб (рисунок 1).

Диаметр вихревой трубы от 1 до 2 километров, что несопоставимо меньше горизонтальной протяженности, которая может составлять до тысячи километров. Скорость перемещения Рулонных облаков до 30 м/с.



Рисунок 1 – Утренняя Глория

Рулонное облако связано либо с мезомасштабной циркуляцией, либо с синоптическими процессами в пограничном слое - прохождением теплой воздушной массы над холодной воздушной массой.

Следовательно, одним из основных факторов, способствующих образованию Рулонных облаков, являются мезомасштабные циркуляции, связанные либо с морскими бризами, которые развиваются над полуостровами и заливами, либо с приземными фронтами над акваториями.

Рассмотрим подробнее условия формирования Рулонного облака в северной части Австралии (местное название - Утренняя Глория). Холодный бриз, идущий с западной стороны, создает небольшое Рулонное облако, которое начинается перемещаться на восток. Сильные пассаты, дующие с восточной стороны, разрушают возникшее облако, откатывая его немного назад на запад. Холодный бриз увеличивает еще не полностью разрушенное Рулонное облако, таким образом, с перекатами назад под действием пассатов, облако движется с востока на запад и увеличивается в своих размерах, сверху Рулонное облако накрывает более теплый восточный бриз, который не дает ему распространяться по вертикали.

Нагревание воздуха в утренние часы над сушей приводит к подтеканию более холодного воздуха бриза с акватории залива по направлению к суше, от океана. В результате более теплый воздух поднимется вверх, а холодный занимает его место. Водяной пар в бризе в результате подъема воздуха начинает конденсироваться, и возникает облако, которое не может распространяться по вертикали из-за более теплой воздушной массы выше (рисунок 2).

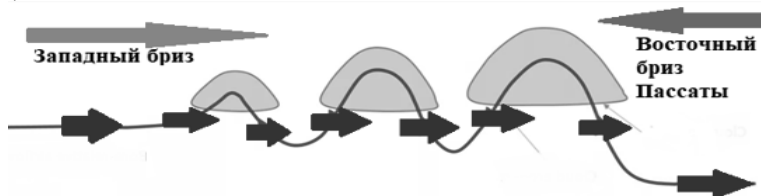


Рисунок 2 – Схема образования рулонного облака

Чаще всего Утренняя Глория, так называют Рулонное облако в Австралии, наблюдается над заливом Карпентария. Одной из основных причин появления облака Утренняя Глория является мезомасштабная циркуляция, связанная с морскими бризами, которые движутся над заливом Карпентария. К востоку от залива Карпентария расположен клиновидный мыс Кейп-Йорк. Морские ветра дуют по обеим сторонам мыса и создают два независимых бриза, которые натекают один на другой посередине полуострова. В результате теплый воздух над сушей вытесняется вверх одним бризом, и в теплом воздухе формируется облако. Это облако не развивается вверх, из-за того, что его развитию препятствует движение бриза с противоположной стороны мыса. Этот встречный теплый бриз обтекает сверху возникшее облако, и формируется инверсия. В результате наложения этих двух бризов формируется Рулонное облако. (рисунок 3)

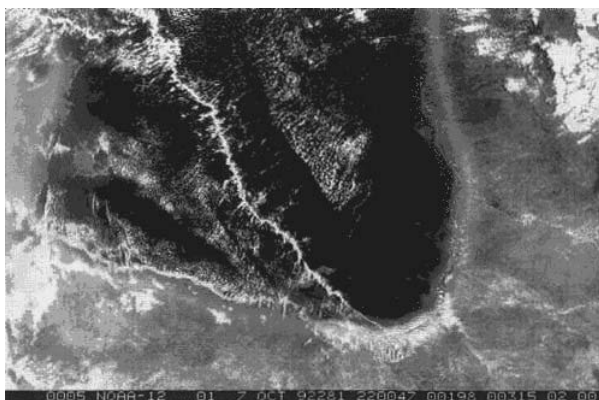


Рисунок 3 – Утренняя Глория над заливом Карпентария в Австралии

Чаще всего Рулонное облако наблюдается в Австралии, но бывают случаи, когда данной облако появляется над другими регионами. К примеру взяты случаи наблюдения Рулонного облака над Финским заливом и Азовским морем. (рисунок 4, рисунок 5).



Рисунок 4 - Утренняя Глория над Финским заливом в апреле 2021 года



Рисунок 5 - Утренняя Глория над Азовским морем 3 июня 2017 года

База собранных данных.

Для анализа наблюдений за Утренней Глорией были отобраны данные за тот день, когда рулонные облака наблюдались над заливом Карпентария в Австралии. Для анализа приведено зондирование атмосферы за 29 сентября 1979 года, фактическая погода за данный день и расчет значений метеорологических величин (рисунок 6, таблица 1, таблица 2).

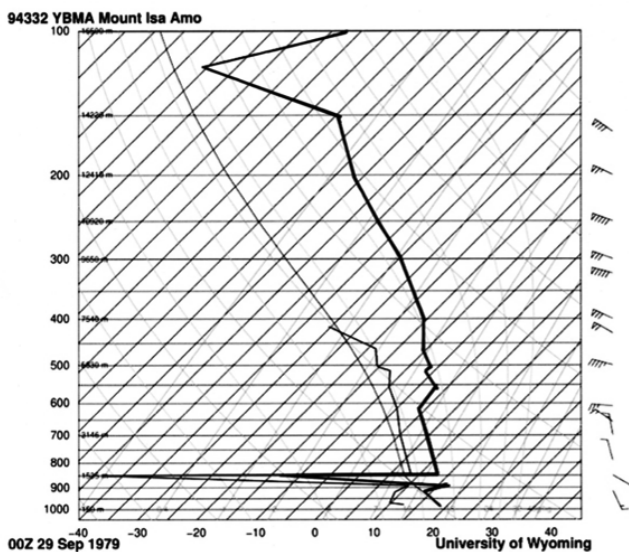


Рисунок 6 – Зондирование атмосферы за 29 сентября 1979 года

Таблица 1 – Расчет метеорологических значений

| Сроки | T, °C | ff, м/с | ddd | Облачность, баллы | Утренняя Глория |
|-------|-------|---------|-----|-------------------|-------------------------------|
| 03 | +19,0 | 4,1 | Ю | 6-8 | Наблюдается к 5-6 часам утра. |
| 06 | +17,2 | 5,1 | Ю | 6-8 | |
| 09 | +19,0 | 5,1 | В | 0 | |
| 12 | +19,0 | 2,6 | ЮВ | 0 | |
| 15 | +18,3 | 3,6 | Ю | 8-10 | |
| 18 | +17,8 | 5,1 | Ю | 8-10 | |
| 21 | +15,0 | 5,7 | Ю | 8-10 | |

Таблица 2 – Фактическая погода за 29 сентября 1979 года

| Z, метры | t, °C | Δz , метры | Δt , °C | Вертикальный градиент t, °C/100 м |
|----------|-------|--------------------|-----------------|-----------------------------------|
| 341 | 18.4 | | | |
| 914 | 14.3 | 573 | -4.1 | 0.71 |
| | | 224 | 2.7 | -1.21 |
| 1138 | 17.0 | | | |
| 1620 | 13.0 | 482 | -4 | 0.83 |
| 2133 | 10.2 | | | |
| 3146 | 4.8 | 1013 | -5.4 | 0.53 |

Результаты анализа. На графике представлены результаты зондирования атмосферы, из графика следует, что наблюдается инверсия на высоте 1000 метров. Мы видим, что в утренние часы температуры была повышена и потом начала снижаться к моменту появления Утренней Глории. Ветер на высотах преимущественно южный. Нижняя граница инверсии начинается на высоте 1138 метров, вертикальный градиент на границе инверсии отрицательный и достигает больших значений ($\gamma = -1,21^\circ \text{C}/100\text{м}$).

Можно сделать вывод, что благоприятными условиями для образования Утренней Глории являются:

1. Высота нижней границы инверсии 1000-2000 метров.
2. Глубокая инверсия.
3. Направление ветра преимущественно западное со скоростями 3-5 м/с у земли и направление ветра юго-восточное со скоростями 7-10 м/с на высоте нижней границы инверсии.

Заключение. В докладе представлены предварительные данные об условиях возникновения Рулонных облаков на примере Утренней Глории. Изучение Рулонных облаков необходимо продолжать в разных регионах. Это поможет понять природу Рулонных облаков и способы их прогнозирования для обеспечения безопасности полетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Oliver Perkins. Reeds Cloud Handbook, 2022 г. – 128 с.
2. John M. Wallace, Peter V. Hobbs. Atmospheric Science, 2006 г. – 504 с.
3. Robert A. Houze, Jr. Cloud Dynamics, 2014 г. – 496 с.
4. James Kenny, Steve Partridge, Glyn Rees, Rhodri Davies, Les Fellows. Ground training series. Meteorology, 2014 г. – 313 с.

5. Robert A.Goler, Michael J.Reeder, The Generation of the Morning Glory, Journal of the Atmospheric Sciences, 2010 г. – 61 с.
6. Clarke R.H., Smith R.K., Reid D.G. The Morning Glory of the Carpentaria: An Atmospheric Undular Bore, 1981 г. – 25 с.

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГРОЗОВЫХ ОБЛАКОВ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ И В СЕВЕРО- ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Малыгина Т.И.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
azimut2915@ya.ru

Аннотация: Произведён сравнительный анализ активности грозовых облаков в разных регионах России.

Ключевые слова: электрическая активность, грозовые облака.

ANALYSIS OF ELECTRICAL ACTIVITY OF THUNDER CLOUDS IN THE NORTH CAUCASUS AND IN THE NORTHWEST REGION OF EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA

Malygina T.I.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St.Petersburg

Abstract: A comparative analysis of the activity of thunderclouds in different regions of Russia was carried out.

Key words: electrical activity, thunderclouds.

Грозовые облака, сопровождаемые молниевые разрядов по праву считаются одними из самых опасных погодных явлений. Несмотря на многолетние исследования, процессы, происходящие в грозовом облаке, остается много неизученных вопросов, поэтому изучение и прогноз электрической активности облака чрезвычайно важны.

В процессе работы с целью выявления определяющих критериев электрической активности были рассмотрены механизмы электризации гидрометеоров, разработаны критерии молниевой активности облаков, собраны архивные данные метеорологических аэрологических данных Северо-Западного и Северо-Кавказского регионов.

По данным метеостанциям за четыре года количество дней с грозой в Санкт-Петербурге составило 22, в Минеральных Водах – 67, в Ростове – 53. Среднее годовое число дней с грозой получается, соответственно, 6, 17, 13. Самые первые грозы в Санкт-Петербурге наблюдались в мае, в южных городах в апреле, концом сезона гроз получился сентябрь. Рассмотрены графики годового и суточного хода гроз – самым интенсивным по грозовой деятельности стал июль во всех городах, а самым частым временем начала гроз 15:00 и 18:00.

Для получения количественных характеристик молниевой активности при выполнении анализа была использована формула Прайса, в которой показано, что частота молний является функцией от высоты ВГО. При выполнении работы рассматривались аэрологические данные, где за верхнюю границу облака (ВГО) использовался уровень выравнивания температур. И оказалось, что для Санкт-Петербурга интервал высот ВГО составляет 4,05 – 10,80 километров. В Минеральных Водах высота ВГО меняется от 6,00 до 11,20 километров, для Ростова-на-Дону от 6,00 до 11,50 километров. Средняя высота ВГО для Санкт-Петербурга составляет 7,56км, для Минеральных Вод – 8,50км, для Ростова –

8,99км. Рассчитана молниевая активность. В Санкт-Петербурге самый большой показатель числа молниевых разрядов составил 3,98 в минуту при температуре -57°C в Санкт-Петербурге. Максимум разрядов в Минеральных Водах – 4,76 в минуту, в Ростове – 5,42. Однако при этом среднее число разрядов в Санкт-Петербурге составило 0,59 в минуту, в Минеральных Водах - 1,65, в Ростове – 1,85.

Принимая во внимание зависимость интенсивности электризации от температуры в облаке и зависимости вероятности грозы от температуры на ВГО была найдена температура ВГО по аэрологическим данным о высоте уровня выравнивания температур. Проведенный анализ показал, что диапазон температур верхней границы облака, при котором подтверждалось большинство случаев гроз, составил от -33°C до -61°C в Санкт-Петербурге, от -15°C до -40°C в Минеральных Водах, а в Ростове-на-Дону нет ярко-выраженной кучности числа гроз, но прослеживается диапазон от -25°C до -50°C . Следовательно, в Санкт-Петербурге грозы возможны при более низких температурах, что свидетельствуют о различии микрофизической структуры облаков. То есть облака в Санкт-Петербурге по своей структуре отличаются от облаков на Северном Кавказе.

Таким образом было установлено число случаев гроз, особенности годового суточного хода гроз, зависимость молниевой активности гроз от метеорологических параметров, молниевая активность гроз и свидетельствование различия структуры макрофизики облаков в данных регионах. Выводы являются предварительными, для более обширного исследования требуется привлечение радиолокационной информации.

ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛЯ ПЕРЕВОДНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ МЕЖДУ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ОТРАЖАЕМОСТЬЮ И ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ОСАДКОВ

Тюриков И.А. , Саенко А.Г.

Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург
ityurikovman@mail.ru, amk@rshu.ru

Аннотация. Рассматривается возможность получения поля переводных коэффициентов от радиолокационной отражаемости к интенсивности осадков с применением метода наименьших квадратов.

Ключевые слова. Радиолокация, интенсивность осадков, отражаемость.

CALCULATION OF THE FIELD OF CONVERSION FACTORS BETWEEN RADAR REFLECTIVITY AND PRECIPITATION INTENSITY

Tyurikov I.A. , Saenko A.G.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Annotation. Possible calculation of conversion factors between radar reflectivity and precipitation intensity is considered by using least square method.

Keywords. Radar, precipitation intensity, reflectivity.

Начиная с 20 века метеорологическим сообществом велась разработка радиолокационных систем, включая методы дистанционного наблюдения и измерения осадков. Получаемую в ходе наблюдений радиолокационную отражаемость можно назвать одним из наиболее емких показателей при изучении разных метеоцелей.

В данной работе предпринималась попытка получения пространственного распределения коэффициентов перехода от радиолокационной отражаемости к интенсивности осадков. Полученное поле также может быть использовано для нужд авиации для получения более точной и полной информации об осадках.

Интенсивность осадков может быть измерена, как: [1]

$$I = \frac{\pi \rho}{6} \int_0^{\infty} N(d) d^3 V(d) dd \quad (1)$$

В то же время радиолокационная отражаемость может быть определена как:

$$Z = \int_0^{\infty} N(d) d^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 dd \quad (2)$$

где ρ – плотность вещества

$N(d)$ – закон распределения капель по размерам

d – диаметр частиц

$V(d)$ – закон распределения скоростей падения частиц

m – комплексный коэффициент преломления частиц

Тем не менее, обычно, в радиолокационных системах используется формула Маршала-Палмера [1], связывающая отражаемость Z [$\text{мм}^6/\text{м}^3$] на уровне 100 метров и интенсивность осадков I [$\text{мм}/\text{час}$].

$$Z = A * I^b \quad (3)$$

Классическими значениями коэффициентов можно назвать $A = 200$ и $b = 1.6$.

Для корректировки коэффициентов был применен метод наименьших квадратов (МНК).

$$\ln Z = b * \ln I + \ln A \quad (4)$$

Произведя подстановку переменных и проделав некоторые операции, мы получим:

$$b = X \quad (5)$$

$$\ln A = Y \quad (6)$$

$$S(X, Y) = \sum_{i=1}^n (X \ln I_i + Y - \ln Z_i)^2 \rightarrow \min \quad (7)$$

$$\begin{cases} S'_X(X, Y) = \sum_{i=1}^n 2(X \ln I_i + Y - \ln Z_i) * \ln I_i = 0 \\ S'_Y(X, Y) = \sum_{i=1}^n 2(X \ln I_i + Y - \ln Z_i) = 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$X = \frac{n \sum_{i=1}^n \ln I_i \ln Z_i - \sum_{i=1}^n \ln I_i \sum_{i=1}^n \ln Z_i}{n \sum_{i=1}^n \ln I_i^2 - (\sum_{i=1}^n \ln I_i)^2} \quad (9)$$

$$Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln Z_i - X \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln I_i \quad (10)$$

Тогда

$$b = X \quad (11)$$

$$A = e^Y \quad (12)$$

Радиолокационные измерения проводились при помощи радиолокатора Meteor 50DX, расположенного на крыше главного здания Гидрометеорологического Университета. Управление радиолокатором происходит при поддержке программного обеспечения «Метеор-Метеоячейка» произведенного Институтом Радарной Метеорологии (ООО «ИРАМ») [2]. Данные с локатора имеют дискретность 10 минут. В расчетах принимать участие только радиолокационная отражаемость, полученная с уровня 1000 метров.

Информация о количестве выпавших осадков была получена из архива наблюдений автоматической измерительной системы «Осадки» (АИС «Осадки»). Система представляет из 33

автономных измерительных пункта для наблюдения за количеством выпавших осадков. Измерительными приборами в системе являются осадкомера OTT Pluvio 200. Дискретность измерений составляет 5 минут.

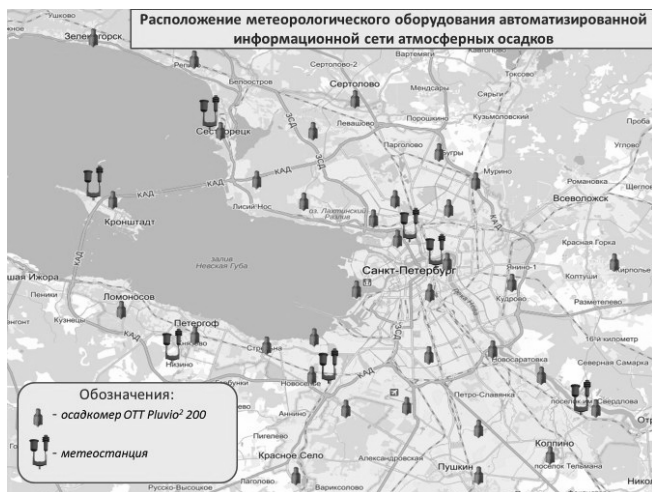


Рисунок 1. Карта установленных осадкомеров и станций, включенных в АИС «Осадки»

На Рисунке 1 отмечены осадкомеры системы «Осадки», данные с которых участвовали в расчетах новых коэффициентов. Из рисунка видно, что большая часть установок располагается на автодорогах и внутри Санкт-Петербурга.

Для получения новых коэффициентов использовались данные за летние месяцы 2018 и 2019 годов. В таблице 1 располагается экземпляр данных, полученных с радиолокатора.

Таблица 1 – экземпляр радиолокационных данных.

| Дата | Время | Явление погоды (по классификации «Метеоячейки») | Z1 (дБз) |
|------------|----------|---|----------|
| 03.06.2019 | 7:50:00 | Слабые ливневые осадки | 20 |
| 03.06.2019 | 9:20:00 | Слабые осадки | 21 |
| 03.06.2019 | 10:40:00 | Слабые осадки | 18 |
| 08.06.2019 | 14:30:00 | Сильные ливневые осадки | 47 |

В таблице 2 представлен пример данных, с информацией, полученной с осадкомеров.

Таблица 2 – пример данных, полученных с осадкомеров сети АИС «ОСАДКИ».

| Дата | Время | Номер осадкомера в системе АИС «Осадки» | Количество выпавших осадков (мм) |
|------------|----------|---|----------------------------------|
| 03.06.2019 | 1:40:00 | 1007 | 0.15 |
| 03.06.2019 | 4:20:00 | 1020 | 0.10 |
| 03.06.2019 | 20:50:00 | 1005 | 0.09 |

В условиях имеющихся данных будет разумно упомянуть о некоторых граничных условиях, которые сопровождали расчеты. В качестве таких граничных условий со стороны радиолокатора выступают используемые в «Метеоячейке» погодные явления. Нижняя граница для «Слабых осадков» или «Слабых ливневых осадков» составляет 18 дБз [3]. В качестве нижней границы для осадкомерных измерений была использована погрешность прибора, приведенная к размерности [мм/час].

Так мы приходим к тому, что в расчете будут участвовать только дожди, зафиксированные как наземным наблюдательным пунктом, так и на радиолокационной станции.

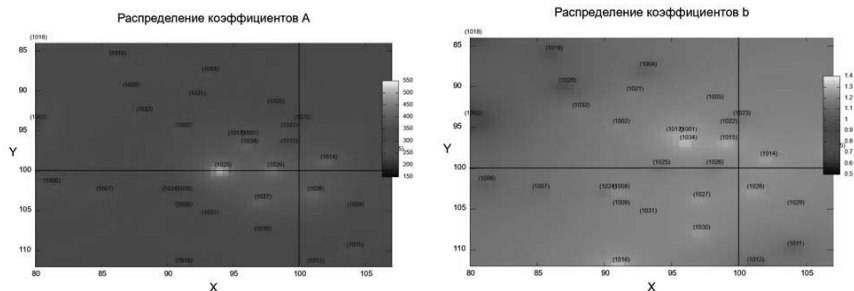


Рисунок 2. На данных рисунках продемонстрировано распределение полученных коэффициентов из уравнения Маршалла-Пальмера

На представленных выше рисунках пространственного распределения, полученных коэффициентов можно увидеть, что наибольшие значения коэффициентов A и b находятся внутри Санкт-Петербурга и уменьшаются к окраинам города и вдоль побережья Финского залива. Высокие показания коэффициента A могут говорить о большом количестве маленьких интенсивностей осадков, зафиксированных для всех значений Z. Значения коэффициента b, получившиеся заниженными, могут говорить о том, что кривая уравнения Маршалла-Пальмера завышает значения интенсивности осадков, измеряемых радиолокационным способом на примере исследуемых данных.

В качестве выводов по проделанной работе можно сказать, что получение коэффициентов с территориальной привязкой лишь незначительно улучшить радиолокационное измерение осадков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киселев В.Н., Кузнецов А.Д. Методы зондирования окружающей среды, 2004 г.
2. ООО «ИРАМ» http://iram.ru/iram/all_main.php?js=1&list_par=10-0
3. Тюриков И.А., Саенко А.Г. Нахождение коэффициентов перехода от радиолокационной отражаемости к интенсивности осадков для Meteor 50DX. В сборнике: Гидрометеорология и физика атмосферы: современные достижения и тенденции развития. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 470-474.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОГНОЗА ГРАДА Шишкина Т.Р.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

Аннотация: в условиях изменяющегося климата необходима разработка новых методов исследований и прогноза градообразования. В статье представлен краткий обзор современных исследований прогноза града.

Ключевые слова: град, методы прогноза града, конвективные явления.

REVIEW OF MODERN METHODS OF HAIL RESEARCH AND FORECASTING

Shishkina T.R.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Annotation: in a changing climate, it is necessary to develop new methods of research and forecasting of urban formation. The article presents a brief overview of modern studies of hail forecast.

Keywords: hail, hail prediction methods, convective phenomena.

Град – это опасное метеорологическое явление, способное нанести серьезный ущерб экономике, сельскому хозяйству и другим сферам жизнедеятельности человека. Крупный град приводят к ущербу в 20 % случаев [1]. Из-за сложности микрофизических процессов градообразования и недостаточной изученности конвективных процессов сегодня остаётся много неясного в процессах градообразования и поэтому трудно прогнозировать град. Возникает необходимость совершенствования уже известных методов прогноза града, а также разработки новых. Целью работы является обзор современных методов исследований и прогноза града.

Радиолокационные методы являются одними из наиболее эффективных средств исследования процессов градообразования. В последние годы реализованы алгоритмы расчета параметров микроструктуры облаков и осадков, площади выпадения града, объема градового очага, потока кинетической энергии и суммарной кинетической энергии выпадающего града (комплекс MeteoX). Данный алгоритм позволяет более детально исследовать основные закономерности зарождения и роста града, выявить особенности структуры и динамики развития градовых облаков [2, 3].

С применением гидродинамических моделей разработаны методы альтернативного прогноза града по термодинамическим параметрам атмосферы и конвективных облаков, рассчитанных с помощью модельных данных о стратификации температуры, влажности и ветре глобальной модели атмосферы (GFS NCEP) с заблаговременностью 24, 48 и 72 ч. Методы позволяют рассчитать комплекс параметров атмосферы и облаков, применяемых в прогнозах опасных конвективных явлений и основаны на использовании модельных полей метеорологических величин (температуры, влажности, ветра) для вычисления энергетических характеристик атмосферы. Далее, с помощью дискриминантных функций производится альтернативный прогноз града с заблаговременностью 24, 48 и 72 часов. Этот метод может использоваться для усовершенствования автоматизированного рабочего места (АРМ) синоптика в учреждениях, разрабатывающих прогнозы [4].

В 2014 г. была запущена одномерная модель прогноза града HAILCAST. В качестве входных данных используются результаты атмосферного зондирования. Модель создает ансамбль восходящих потоков, основанный на возмущениях профиля температуры и влажности. В модели также используется индекс CAPE (конвективная доступная потенциальная энергия) и сдвиг ветра от 1,5 км до 6 км (индекс ESI). Величина ESI характеризует вовлечение градин и продолжительность восходящего потока. Зародыши града, попадая в поток, растут до тех пор, пока они могут удерживаться восходящим потоком или пока поток не разрушится. Затем учитывается процесс таяния, чтобы оценить конечный размер градин, летающих до земли. Адамс-Селин и Зиглер внедрили улучшенную версию HAILCAST в модель WRF. Выявлено, что WRF-HAILCAST, использующая смоделированные облачные капли и вертикальные потоки вместо тех,

которые были оценены по результатам зондирования, позволяет прогнозировать правильные размеры градин в 66% случаев [5, 6].

В последние годы при разработке новых методов прогнозов погоды все чаще применяют алгоритмы машинного обучения. Такие модели созданы и для прогноза града.

Алгоритмы машинного обучения (ML), используемые для прогноза града, объединяют данные из нескольких источников для получения более точных прогнозов. В отличие от моделей, основанных на уравнениях гидротермодинамики, модели ML выявляют закономерности в наборе данных, а затем находят взаимосвязь между этими закономерностями и результатом.

Алгоритм идентификации и отслеживания NOAA Multi-Radar-Multi-Sensor (MRMS) определяет местонахождение потенциальных гроз с градом в условиях конвекции. Прогнозируемая конвективная облачность сопоставляется с наблюдаемой для определения вероятности выпадения града и размера градин. База данных прогнозируемых облаков содержит информацию о свойствах облака и условиях в окружающей среде перед ним. Модель ML используется для синтеза этой информации, чтобы спрогнозировать вероятность облака с градом и размер градин. Прогнозы на основе моделей машинного обучения составляются с использованием двух ансамблевых систем CAPS и NCAR, учитывающих конвекцию, и результаты сравниваются с другими методами прогнозирования града. Модель ML успешно различает прогнозируемые конвективные облака с градом и без града. При прогнозировании града с заблаговременностью 24 часа модель ML была более эффективна для определения градоопасных зон, по сравнению с HAILCAST [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методический кабинет Гидрометцентра «Метод прогноза опасных и стихийных конвективных явлений погоды, а также их совокупности, приносящих значительный ущерб отраслям экономики» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://method.meteorf.ru/> (дата обращения: 25.09.2023)
2. Бареева М.В., Инохин В. С. И др. Радиолокационные исследования интенсивного градового процесса, развивавшегося над центральной частью Северного Кавказа 07.06.2012 // Доклады Адыгской (Черкесской) Международной академии наук. – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 64-78.
3. Инохин В.С., Суслов В.В. Алгоритмы автоматизированного распознавания и анализа радиоэха облаков // Труды ВГИ. 2010. Вып. 96. С. 89-100.
4. Кагермазов, А. Х. Прогноз града с заблаговременностью до трех суток по выходным данным глобальной модели атмосферы / А. Х. Кагермазов, Л. Т. Созаева // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 2020. – № 598. – С. 204-214. – EDN NYNEAX.
5. Adams-Selin, Rebecca D. Clark et al. Evolution of WRF-HAILCAST during the 2014–16 NOAA/Hazardous Weather Testbed Spring Forecasting Experiments Personal: 2019 Source Weather and Forecasting, 34(1), 61-79 DOI : <https://doi.org/10.1175/WAF-D-18-0024.1>
6. Gagne, D. J., II;McGovern et al. Storm-Based Probabilistic Hail Forecasting with Machine Learning Applied to Convection-Allowing Ensembles Published Date : 2017 Source : Weather and Forecasting, 32(5), 1819-1840 DOI : <https://doi.org/10.1175/waf-d-17-0010.1>

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТРАТОСФЕРЫ И ТРОПОСФЕРЫ

Винокурова Е.В., Алексеева Е.Г., Анискина О.Г.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
olga.aniskina@mail.ru

Аннотация: Рассматривается взаимодействие стратосферы и тропосферы на основе анализа полей геопотенциальной высоты на различных изобарических поверхностях.

Ключевые слова: Стратосферно-стратосферное взаимодействие, корреляционный анализ, сингулярное разложение

STUDY OF THE INTERACTION OF THE STRATOSPHERE AND TROPOSPHERE

Vinokurova E.V., Alekseeva E.G., Aniskina O.G.
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Abstract: The interaction between the stratosphere and the troposphere is considered based on the analysis of geopotential height fields on various isobaric surfaces.

Key words: Stratosphere-stratosphere interaction, correlation analysis, singular value decomposition

В последние стало очевидным, что изменчивость процессов в тропосфере связана с распространением вниз стратосферных аномалий. Отражение планетарной волны от стратосферы (тропопаузы) играет значительную роль в изменении тропосферной циркуляции. Для исследования стратосферно-тропосферных взаимодействий сегодня используются серьёзный математический аппарат естественных ортогональных функций, который предполагает, что анализируемая величина задается временным рядом значений в дискретных точках пространства [1].

В данном исследовании предполагается, что стратосфера влияет на тропосферу в основном через вертикальное распространение атмосферных волн и для оценки связи стратосферы и тропосферы использовалась методика, предложенная в [2], которая предполагает разложение полей метеорологических величин сначала по ортогональным полиномам, а затем используется сингулярное разложение.

Использовались ежедневные данные о геопотенциальной высоте из результатов реанализа Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF)– ERA-Interim за период с декабря по март за период с 1979 по 2017 гг.. Данные реанализа ERA-Interim доступны на 37 изобарических поверхностях от 1000 гПа до 1 гПа с горизонтальным разрешением $1,5^\circ \times 1,5^\circ$.

Для определения динамической связи между полями геопотенциальной высоты в стратосфере и тропосфере использовался SVD анализ со сдвигом по времени [2-7]. Для определения связанных мод анализировалась пространственно-временная структура поля аномалий геопотенциальной высоты. Ковариация определялась по временным рядам двух полей высоты в разные моменты времени. Аномалии геопотенциальной высоты были осреднены так, чтобы каждый столбец, анализируемой матрицы, был временным рядом для заданной точки пространства. Поля геопотенциальной высоты раскладывались в ряд по ортогональным функциям, что может быть выражено как:

$$H_1(x, t) = \sum_{n=1}^N u_n(x) a_n(t),$$

$$H_2(x, t + \tau) = \sum_{n=1}^N v_n(x) b_n(t + \tau),$$

где

u_n и v_n – сингулярные матрицы,

N – номер моды,

s_n^2 - квадрат n -го сингулярного значения ковариационной матрицы между H_1 и H_2 – созданный путем принятия ковариации между двумя коэффициентами разложения $a(t)$ и $b(t + \tau)$.

SVD-анализ проводился сверху вниз от 1 гПа до 1000 гПа при различном временном сдвиге (τ) от -30 до +30 дней, то есть всего использовался 61 момент времени. На эталонной высоте рассматривался временной интервал с 1 января по 30 марта, т. е. 90 дней, и был фиксирован; тогда как на других высотах был сдвиг по времени на -30 до 30 дней с интервалом в 1 день. Таким образом, положительный сдвиг указывал на то, что стратосфера была ведущей, а тропосфера была отстающей, и, наоборот, для отрицательных сдвигов. Чтобы определить временную задержку, при которой динамическое взаимодействие между H_1 и H_2 было максимальным, коэффициенты корреляции между ведущими связанными модами a_1 и b_1 вычислялись для каждого из 61 SVD-анализов.

Чтобы установить, какое влияние оказывает стратосфера на тропосферу, были построены корреляционные портреты, которые по структуре можно разделить на несколько классов. Необходимо сначала выбрать те поля, где не прослеживается никакой связи между полями геопотенциальной высоты стратосферы и тропосферы.

В результате анализа коэффициента корреляции было целесообразным разделить группы по виду связи. На 30 уровне, где ковариация между геопотенциальной высотой на уровне 30 гПа и всеми уровнями ниже до 1000 гПа выделены на четыре группы: нет связи, нейтральное поле, связь с положительным запаздыванием и связь со всем полем.

Проанализировав данные полей геопотенциальных высот, их аномалий, а также значений сингулярных чисел и проведя корреляционный анализ, было выявлено, что в большей степени стратосфера влияет на тропосферу. Есть смысл предположить, что этому влиянию способствуют внезапные стратосферные потепления и квазидвухлетнее колебание.

Следует отметить, что дальнейшее изучение данной темы актуально и мы сможем выявить более точное влияние стратосферы на тропосферу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Е.В. Ракушина. Применение аппарата естественных ортогональных функций для анализа крупномасштабных динамических процессов в средней атмосфере [Текст] / Е.В. Ракушина, К.К. Кандиева, О.Г. Анискина, А.И. Погорельцев // Труды главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2018. № 591. – С. 105-123.
2. Debashis Nath. Impact of Planetary Wave Reflection on Tropospheric Blocking over the Urals-Siberia Region in January 2008 / Debashis Nath, Wen Chen // Advances in atmospheric sciences. – 2016. – Vol. 33, – P. 309-318.
3. J. Perlwitz. Observational Evidence of a Stratospheric Influence on the Troposphere by Planetary Wave Reflection / Judith Perlwitz, Nili Harnik // Journal of Climate. 2003. – Vol. 16, – P. 3011-3026.
4. C. S. Bretherton. An Intercomparison of Methods for Finding Coupled Patterns in Climate Data / C. S. Bretherton, C. Smith, J. M. Wallace // Journal of Climate. 1992. Vol. 5(6), – P. 541-560.
5. J. Perlwitz. Downward Coupling between the Stratosphere and Troposphere: The Relative Roles of Wave and Zonal Mean Processes / Judith Perlwitz, Nili Harnik // Journal of Climate. 2004. – Vol. 17, – P. 4902-4909.
6. A. Czaja. Observed Impact of Atlantic SST Anomalies on the North Atlantic Oscillation / Arnaud Czaja, Claude Frankignoul // Journal of Climate. 2001. – Vol. – 15, P. 606-623.
7. M. Newman. A Caveat Concerning Singular Value Decomposition / Matthew Newman, Prashant D. Sardeshmukh // Journal of Climate. 1995. – Vol. 8, No. 2, – P. 352-360

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДОЙ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Соколина А.П.¹, Волобуева О.В.²

¹Северо-Западный филиал ФГБУ «Авиаметтеком Росгидромета», Санкт-Петербург

²Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
nst.palna@yandex.ru, ovvolobueva@rshu.ru

Аннотация. В статье приведен обзор способов мониторинга за космической погодой с точки зрения авиационной метеорологии. Подробно рассмотрена структура и функции международных глобальных центров космической погоды, а также системы наблюдения за неблагоприятными гелиогеофизическими явлениями. Проанализированы способы донесения информации до авиационных пользователей в виде консультативных сообщений о космической погоде.

Ключевые слова. Космическая погода, авиационная метеорология, опасные гелиогеофизические явления, консультативные сообщения, геомагнитные бури, солнечные вспышки.

METEOROLOGICAL OBSERVATIONS FOR SPACE WEATHER AND INFORMATION SUPPORT FOR AIRCRAFT

Sokolina A.P.¹, Volobueva O.V.²

¹North-Western branch of the Federal State Budgetary Institution Aviamettecom of Roshydromet, St. Petersburg

²Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Annotation. The article are provided an overview of methods for monitoring space weather from the point of view of aviation meteorology. The structure and functions of international global space weather centers, as well as observation systems for adverse heliogeophysical phenomena, are examined in detail. Methods of conveying information to aviation users in the form of advisory messages about space weather are analyzed.

Keywords. Space weather, aviation meteorology, hazardous heliogeophysical phenomena, advisory messages, geomagnetic storms, solar flares.

Для авиации опасными космическими явлениями считаются те, которые становятся причиной неполадок в работе систем связи и спутниковой навигации, а также становятся угрозой из-за повышения критического уровня радиации. Чаще всего это конкретные возмущения: избыточная солнечная радиация, солнечные вспышки, корональные выбросы масс и геомагнитные и ионосферные бури. Для непрерывного мониторинга глобальной космической погоды в 2019 году была создана специализированная служба, которая обязана предоставлять для авиации общего назначения и коммерческой авиации консультативные сообщения о космической погоде. Всего было создано три международных глобальных центра (Space Weather Prediction Center — SWPC):

- консорциум ACFJ — Австралия, Канада, Франция, Япония;
- консорциум PECASUS (Европейский) — Великобритания, Польша, Нидерланды, Италия, Германия, Финляндия, Кипр, Бельгия, Австрия;
- США (Боулдер) [1].

В 2021 году были введены еще два региональных центра: консорциум Китай-Российская Федерация и ЮАР. Глобальные центры космической погоды проводят дежурства, наблюдая за активностью Солнца, космическими лучами, состоянием магнитосферы и ионосферы, а также за составом высокоэнергичных частиц в атмосфере Земли. Дежурства делятся по две недели, причем один из центров выполняет функции дежурного центра, а другие считаются основными и вспомогательными резервными центрами [2].

Центр космической погоды под руководством Института прикладной геофизики им. Фёдорова представляет Российскую Федерацию в региональном консорциуме Китай-Россия. Институт является головной организацией в России, занимающейся ионосферными, магнитосферными и гелиогеофизическими наблюдениями и находится под управлением Росгидромета. Российская Федерация обладает не самой обширной наблюдательной за космической погодой сетью: это по крайней мере три магнитометра (расположены в Магадане, Паратунке и на мысе Шмидта), две камеры инфракрасного и оптического диапазона (Магадан, Паратунка) и один солнечный радиоспектрометр, расположенный в Иркутске (рисунок 1) [3].

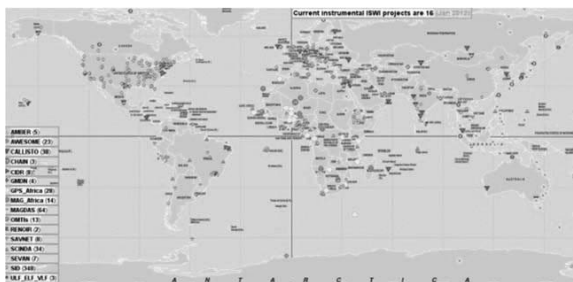


Рисунок 1 – Международная сеть космических наблюдений

Наблюдения за солнечной активностью производятся с использованием разных диапазонов длин волн. С помощью сети наземных наблюдений в виде различных обсерваторий проводятся исследования в оптическом диапазоне, однако такие наблюдения хоть и регулярные, но не круглосуточные и не всепогодные, предназначены в основном за слежением числа солнечных пятен и количеством активных областей. Также используются солнечные телескопы с диаметром линз не более одного метра, так как мощность излучения Солнца колоссальна, и с длинным фокусом — у самых высокотехнологичных солнечных телескопов фокусное расстояние между объективами измеряется сотнями метров. Такие телескопы очень крупные, часто их делают неподвижными и «ловят» луч света с помощью двух зеркал. Солнечные телескопы бывают вертикальными и горизонтальными. У них есть свои особенности: солнечные телескопы работают днем, и за счет нагрева земной поверхности и усиления турбулентности их разрешающая способность ухудшается, поэтому оборудование выкрашивают в белый, как и метеорологические будки, и устанавливают сами телескопы на башнях. Еще одна проблема, которую не так легко решить, это тепловая нагрузка на приборы из-за фокусированного в одну точку излучения Солнца, поэтому в современных телескопах предусмотрены системы охлаждения. В России такие телескопы установлены в Крымской астрофизической обсерватории, в Саянской и Байкальской [3].

Солнечные телескопы удобны тем, что проводят наблюдения не только в видимом диапазоне, но также и в ультрафиолетовом и ближнем инфракрасном. Также в качестве вспомогательных приборов используются солнечные рентгеновские телескопы, радиотелескопы для интегрального потока излучения на длине волны 10,7 см и аксионные солнечные телескопы, предназначенные для поиска гипотетической элементарной частицы аксион. Наблюдения не в оптическом диапазоне выгодны тем, что не зависят от времени суток и погодных условий, а также с их помощью легче получить количественный пересчет уровня активности Солнца [3].

Коронोगрафы предназначены для наблюдений за солнечной короной, так как ее излучение не видно в оптическом диапазоне. Коронोगрафы бывают солнечными и звездными — для наблюдений за другими звездами или для поиска планет и звезд вне состава нашей системы. Наземные коронोगрафы используют явление поляризации, чтобы «отделить»

яркость неба от изображения короны, так как оба являются следствием рассеяния солнечного света и имеют схожие спектральные свойства, однако корональный свет рассеивается по закону Томсона практически на прямой угол и подвергается поляризации, тогда как свет неба вблизи нашего светила рассеивается только под углом скольжения. По сути, коронограф — это рефрактор со сложным устройством из различных оптических схем и узкополосных светофильтров [3].

Спутниковые коронографы намного эффективнее отслеживают солнечную активность, так как отсутствует атмосферное рассеяние. К примеру, космический коронограф LASCO избегает уже упомянутой выше проблемы яркости света неба, но сталкивается со сложностью дифракции входящего света вокруг краев аппаратуры. Самый современный коронограф LASCO C-3 использует сразу несколько затенителей: внешний, отбрасывающий тень на сам прибор, и внутренний, блокирующий рассеянный свет вокруг внешнего затенителя, и система нескольких перегородок (рисунок 2) [3].



Рисунок 2 — Снимок с коронографа LASCO, где виден солнечный ветер

Спектрогелиографы — приборы, используемые для монохроматического изображения Солнца, то есть на одной длине волны, которая выбирается таким образом, чтобы совпадать со спектральной длиной волны элементов, содержащихся на Солнце. Спектрогелиограф состоит из дифракционной решетки или из призмы и монохроматора, который представляет из себя узкую щель, пропускающую только одну длину волны. Обычно данные приборы установлены на борту космических спутников (рисунок 3) [3].

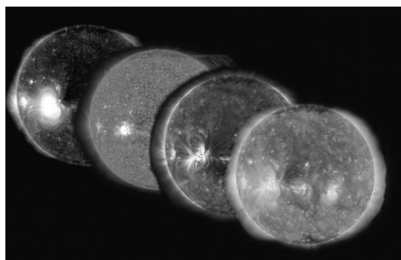


Рисунок 3 — Солнечный диск в длинах волн 171, 304, 335 и 94 Ангстрем

Существует несколько специализированных космических аппаратов, активно используемых в метеорологии. К примеру, SOHO (Solar and Heliospheric Observatory). Основной задачей SOHO является изучение Солнца. Комплект приборов на борту SOHO разнообразен и направлен на комплексное изучение состояния солнечной атмосферы, параметров солнечного ветра и деятельности солнечной короны. Среди приборов можно выделить следующие: спектрометр для диагностики короны, ультрафиолетовый телескоп, уже упомянутый выше коронограф серии LASCO, инструмент для получения карты магнитного поля и силовых линий Солнца MDI/SOI и различные датчики, предназначенные для анализа высокоэнергичных частиц [3].

GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) — это серия американских спутников от NASA, с помощью них синоптики могут не только отслеживать шторма и изменения состояния погоды, но и получать информацию о солнечной активности. На данный момент действуют четыре спутника GOES. На борту GOES находится система SEM: магнитометр, рентгеновский датчик, детектор протонов, альфа-частиц и прочих высокозаряженных частиц [3].

Спутники серии «Электро-Л» (ГТКК — Геостационарный Гидрометеорологический Космический Комплекс) являются российскими, обеспечивают многоканальную съемку в видимом и инфракрасном диапазонах. В данный момент на орбите находится два работающих спутника. Спутники предназначены не только для слежения за погодой, но и для изучения параметров магнитосферы и ионосферы Земли. Аппаратура, установленная на борту, позволяет регистрировать потоки электронов, протонов, ГКЛ выше значимых пороговых значений, рентгеновское солнечное излучение от 3 до 8 кэВ и ультрафиолетовое солнечное излучение [3,4].

Для авиационных пользователей информация о космической погоде поступает из глобальных консультативных центров в виде сообщений о космической погоде. Центры обязаны взаимодействовать между собой для корректного распространения и выпуска сообщений, а также для качественного предоставления информации метеорологическим органам, которые, в свою очередь, передают данные летным экипажам. Консультативные сообщения о космической погоде выпускаются на английском языке максимально кратким и емким открытым текстом по утвержденным ИКАО правилам. При ухудшении характеристик высокочастотной связи выпускается сообщение с маркировкой «HF COM», при сбоях в глобальной спутниковой навигационной системе используется сокращение «GNSS», при повышенном уровне радиационной опасности — «RADIATION» [1,2].

Консультативные сообщения информируют о типе воздействия (HF COM, GNSS, RADIATION), о его интенсивности (MOD — умеренная или SEV — сильная), о его начале и продолжительности, а также о пространственной протяженности на ближайшие сутки. Для пространственной протяженности используются описание в виде широтных полос. Отметим, что при геомагнитных бурях не используется единственная полоса, так как данное явление происходит на двух полюсах. Если геомагнитная буря достаточно сильная, ее влияние может распространиться на экваториальные широты в виде умеренного ухудшения характеристик высокочастотной и навигационной связи, тогда как для средних и высоких ухудшения, скорее всего, будет сильное. В таком случае выпускаются два консультативных сообщения [1].

При ионосферных бурях чаще всего происходит ухудшение спутниковой навигационной связи, причем возмущения локализованы и могут быть описаны с помощью четырехсторонней трапецевидной фигуры. Тогда используются не только широтные, но и долготные координаты. Солнечные вспышки ухудшают радиосвязь и спутниковое позиционирование только на освещенной Солнцем стороне Земли. В редких случаях, особенно при повышении уровня радиации, может указываться сокращение выше определенного эшелона. При изменении интенсивности ухудшаемого явления или его прекращении выпускается обновленное консультативное сообщение, но сообщения SWX

выпускаются как минимум каждые шесть часов, пока опасное гелиогеофизическое явление длится или прогнозируется. Сообщения, выпущенные в целях проверки каналов связи, отмечаются пометкой «TEST» [1].

При получении консультативного сообщения отдел автоматической системы передачи данных ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» передает информацию в УГМС, ГАМЦ и филиалы для дальнейшего распространения авиационным пользователям. Согласно ФАП-60 и 78 поправки, консультативное сообщение должно включаться в полетную документацию, а также передаваться органам ЕС ОрВД через ГГС, почту или синоптические презентации [1].

Информацию, необходимую для авиации, можно подразделить на несколько фаз. На предполетной фазе информацию о суточном прогнозе космической погоды необходимо предоставить в центр управления полетами (ЦУП). Это данные об уровне солнечной активности, о рентгеновском излучении, о магнитной обстановке, об оптимальных радиочастотах и о прогнозируемых потоках протонов и электронов. С момента взлета самолета и до посадки наблюдаемая информация о состоянии космической погоды должна быть доступна экипажу в режиме реального времени. При внезапном возникновении ОГЯ данные о нем следует незамедлительно сообщать командиру воздушного судна и в ЦУП [4]. После посадки в ЦУП предоставляется анализ космической погоды, полученный при перелете.

В зависимости от опасности солнечного возмущения и степени его влияния на Землю и в частности на полеты воздушных судов Центры полетной информации (ЦПИ), Районные, Региональные или Зональные диспетчерские центры (РДЦ, РегДЦ, ЗДЦ соответственно), а также авиакомпании и непосредственно сами пилоты могут принимать следующие решения:

- изменить маршрут или высоту полета;
- изменить план полета;
- совершить экстренную посадку;
- по возможности изменить диапазон используемых частот [1, 4];

Пример консультативного сообщения приведён на рисунке 4. Сообщение выпущено в 19:08 UTC 15 октября 2021 года центром-консорциумом ACFJ об умеренном ухудшение характеристик высокочастотной связи. Воздействие ОГЯ наблюдается по всему северному полушарию от 00° до 60° восточной долготы. В ближайшие сутки явление не прогнозируется. В ремарке говорится о том, что космическая погода влияет на диапазон высоких частот коротковолновой связи, на низкие частоты ОГЯ оказывает меньше влияние. Возможны области, где ухудшение характеристик высокочастотной связи сильное [3].

```
19:09:31 15-10-2021 Leng=697 Chan=AFTN
FNXX02 YMMC 151908
YMMC 151908
SWX ADVISORY
DTG:      20211015/1908Z
SWXC:     ACFJ
ADVISORY NR: 2021/34
SWX EFFECT: HF COM MOD
OBS SWX:   15/185Z2Z HNH MNH EQN E000 - E060
FCST SWX +6 HR: 16:0100Z NO SWX EXP
FCST SWX +12 HR: 16:0700Z NO SWX EXP
FCST SWX +18 HR: 16:1300Z NO SWX EXP
FCST SWX +24 HR: 16:1900Z NO SWX EXP
RMK:      SPACE WEATHER EVENT (MAXIMUM USABLE FREQUENCY
DEPRESSION) IN PROGRESS IMPACTING HIGHER HF COM
FREQUENCY BAND. LOWER FREQUENCIES MAY BE LESS
IMPACTED. ISOLATED AREAS OF SEV HF COM DEGRADATION
POSSIBLE.
NXT ADVISORY: WILL BE ISSUED BY 20211016/0100Z=
```

Рисунок 4 — Пример консультативного сообщения (HF COM)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)*. Временный инструктивный материал по космической погоде, 2019 г. – 61 с.
2. *Международная организация гражданской авиации*. Руководство по информации о космической погоде для обеспечения международной авионавигации, 2019 г. – 50 с.
3. *Соколова А.П., Волобуева О.В.* Методы и средства наблюдений за космической погодой и ее влияние на полеты воздушных судов. – Материалы V Всероссийской научно-практической конференции «Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России». Иркутск, 23-25 ноября 2022 г. С. 409-417.
4. *Лапшин В.Б., Буров В.А., Сыроешкин А.В.* Космическая погода и авиоперевозки, – Мир измерений, 2013, № 2, – С. 11-16.

ОПАСНОСТЬ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ЯСНОГО НЕБА В ГОРНОМ РАЙОНЕ НА СЕВЕРЕ АФРИКИ

Симакина Т.Е., Федосеева Н.В., Соловых А.Д.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
tatiana.simakina@gmail.com

Аннотация. Выполнен комплексный анализ ситуаций возникновения горных волн с подветренной стороны Атласских гор на севере Африки на основе аэрологических и спутниковых данных с привлечением результатов реанализа и цифровой модели рельефа. Показано, что при влажности набегающего потока менее 65% и ненулевом дефиците точки росы над горами облачность не формируется, обнаружение горных волн возможно на спутниковых снимках в каналах водяного пара. *Ключевые слова.* Орографические волны, спектральные каналы водяного пара, турбулентность ясного неба, Атласские горы, число Фруда.

THE DANGER OF CLEAR AIR TURBULENCE IN A MOUNTAINOUS AREA IN NORTH AFRICA

Simakina T.E., Fedoseeva N.V., Solovykh A.D.

Russian State Hydrometeorological University (RSU), St.Petersburg

Abstract. A comprehensive analysis of the situations of the occurrence of mountain waves from the leeward side of the Atlas Mountains in North Africa was carried out on the basis of aerological and satellite data using the results of reanalysis and a digital relief model. It is shown that when the humidity of the incoming flow is less than 65% and there is a non-zero dewpoint deficit over the mountains, clouds do not form, the detection of mountain waves is possible on satellite images in water vapor channels.

Keywords. Orographic clouds, water vapor channels, CAT, Atlas Mountains, Froude number.

Оперативное обнаружение горных волн (ГВ) в атмосфере является важным фактором обеспечения безопасности полетов самолетов и критически важным для легких летательных аппаратов. При недостаточной влажности облачные полосы не формируются, и волны остаются невидимыми как для пилота, так и для радиолокатора. Для обнаружения таких волн можно использовать спутниковую съемку в каналах водяного пара [1-3]. Информация каналов водяного пара позволяет изучить высоты, до которых сказывается влияние гор на атмосферу.

В работе исследованы орографические волны, возникающие в горах Атлас на северном побережье Африки, произведен расчёт безразмерного числа Фруда, описывающего трансформацию воздушного потока горным хребтом, на основе цифровой модели рельефа –

рисунок 1. К анализу привлекались данные аэрологической станции DAAG, расположенной на наветренном склоне (отмечена на рисунке 1), за даты, близкие к моментам получения спутниковых снимков. Рассмотрены ситуации, наиболее типичные для случаев видимых ГВ, «невидимых» ГВ и отсутствия ГВ.

Полосчатые линейные орографические облака (рисунок 2) представляют собой результат гравитационно-волновых процессов в атмосфере. Условием их возникновения является расслоенность (стратификация) по влажности и плотности среды – рисунок 3.

Вертикальные профили метеорологических параметров при наблюдении видимых волн 29 декабря 2004 г. представлены на рисунке 5. Скорость ветра у горной вершины 1339 м около 10 м/с. Здесь же дефицит точки росы составляет около 10°C , выше вершины – сокращается до нуля. На высотах около 1800 м и 2450 м на профиле относительной влажности заметны два влажных слоя с $f = 75\%$, между ними на высоте 2200 м - более сухая прослойка с влажностью 55%. Температура на высоте горной вершины около 0°C . На высоте 3200 м наблюдается температурная инверсия и более мощный слой изотермии между 5000 и 5800 м. Число Фруда для этого случая равно 5 ($Fr \gg 1$).

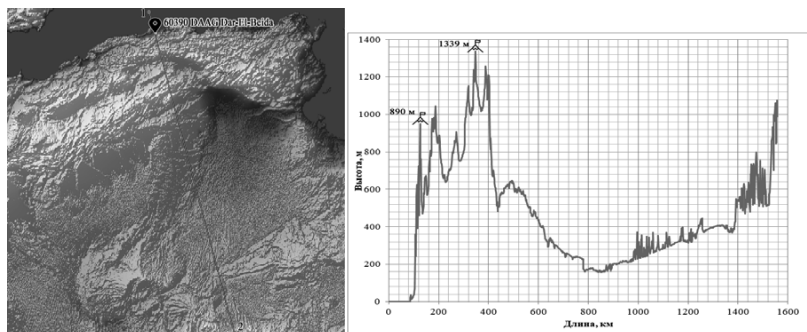


Рисунок 1 – Цифровая модель рельефа Атласских гор и высотный профиль местности по направлению, указанному красным отрезком

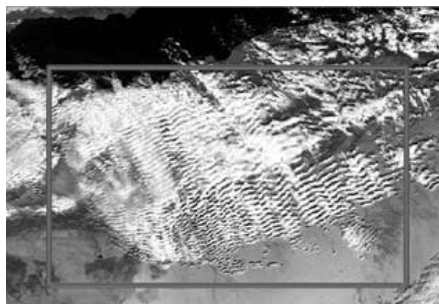


Рисунок 2 – Орографические облака на снимке видимого диапазона MODIS/Terra за 29.12.2004

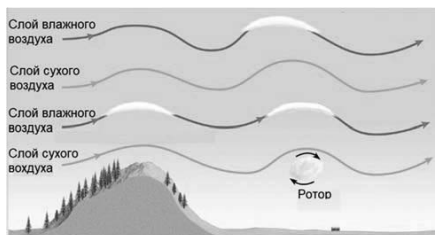


Рисунок 3 – Стратификация воздушного потока по влажности

Для северного побережья Африки характерно струйное течение в высоких слоях атмосферы, хорошо заметное на картах реанализа 300 гПа – рисунок 4.

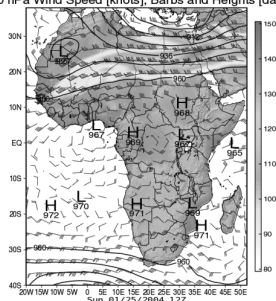


Figure 1 consists of four sub-graphs labeled a, б, в, and г, each showing a different meteorological parameter plotted against height (m) on the y-axis, ranging from 0 to 10000 meters. The x-axis for all graphs represents a parameter ranging from 0 to 60, 0 to 80, 0 to 10, and 0 to 10 respectively.

- Graph a:** Shows wind speed (m/s) on the x-axis. The curve starts at approximately 10 m/s at 0 m, rises to about 25 m/s at 2000 m, then to 35 m/s at 4000 m, and finally to 55 m/s at 10000 m.
- Graph б:** Shows relative humidity (%) on the x-axis. The curve starts at approximately 10% at 0 m, rises to about 25% at 2000 m, then to 35% at 4000 m, and finally to 55% at 10000 m.
- Graph в:** Shows temperature (°C) on the x-axis. The curve starts at approximately -5°C at 0 m, rises to about 0°C at 2000 m, then to 5°C at 4000 m, and finally to 10°C at 10000 m.
- Graph г:** Shows dew point temperature (°C) on the x-axis. The curve starts at approximately -5°C at 0 m, rises to about 0°C at 2000 m, then to 5°C at 4000 m, and finally to 10°C at 10000 m.

Рисунок 5 – Высотные профили скорости ветра (а), относительной влажности (б), температуры (в) и температуры точки росы (г)

112

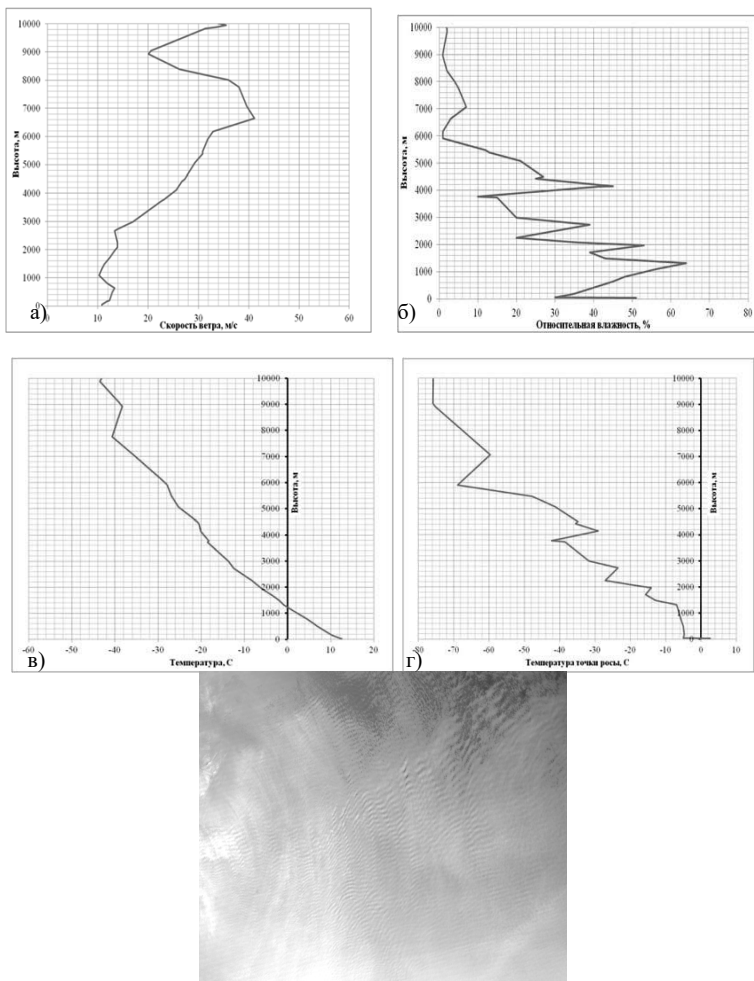


Рисунок 6 – Высотные профили скорости ветра (а), относительной влажности (б), температуры (в), и температуры точки росы (г) и снимок в пароводяном канале 7.3 мкм

3 марта 2012 г. горные волны отсутствовали – рисунок 7. Наблюдались условия недостаточного ветра, на вершине горного хребта около 6 м/с. Стратификация незначительная: два более влажных слоя $> 60\%$ на высотах 636 м и 1795 м, между ними сухой слой у горной вершины. Как и в предыдущем случае наблюдается параллельность профилей температуры и температуры точки росы, дефицит постоянен и составляет значение около 10°C . Температура на высоте горной вершины около 8°C . Температурная инверсия в слое между 3000 и 3800 м отсутствует. В последнем случае насыщение будет происходить медленнее – более теплый воздух может удерживать больше водяного пара, не достигая насыщения. Число Фруда $Fr = 1$.

Заключение. Необходимыми условиями образования горных волн в горах Атлас на севере Африки являются

- скорость ветра более 10 м/с у вершины горного хребта 1.4 км;
- выраженная стратификация атмосферы по влажности над горами;
- наличие приподнятой инверсии температуры над горным гребнем. В случае «невидимых» волн приподнятая температурная инверсия была выражена слабее, чем для видимых. В случае, когда в Атласских горах орографические волны не наблюдались, инверсия полностью отсутствовала.

Для формирования видимых волн кроме достаточно влажной атмосферы (более 65%) необходим близкий к нулю дефицит точки росы над горным хребтом.

Для случаев ГВ число Фруда должно быть больше 1.

Струйное течение на высоте 300 гПа над северным побережьем Африки наблюдается постоянно, поэтому можно говорить о том, что его наличие не является достаточным фактором возникновения горных волн в горах Атлас.

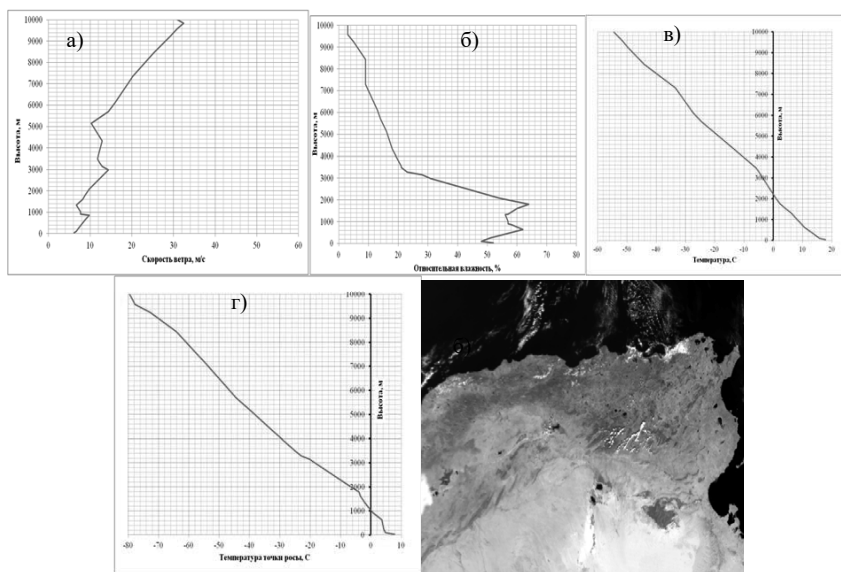


Рисунок 7 – Высотные профили скорости ветра (а), относительной влажности (б), температуры (в), температуры точки росы (г) и снимок в видимом диапазоне

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федосеева Н.В., Ефимова Ю.В. Применение спутниковой съемки в каналах водяного пара при дешифрировании горных волн.// Материалы V научно-технической конференции «Проблемы военной геофизики и контроля состояния природной среды». СПб, 23-25 мая 2018 г. С. 736-739.
2. Федосеева Н.В., Ефимова Ю.В., Куроплина В.И. Дешифрирование "невидимых"

орографических волн по данным спутниковой съемки в каналах водяного пара. В книге: Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации. Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 173-174.

3. Симакина Т.Е. Получение и обработка спутниковых снимков. СПб.: Изд-во РГГМУ. – 2010. - 104 с.

СЕКЦИЯ 4

ПРОБЛЕМЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ В ИНТЕРЕСАХ ФОИВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

Моисеева Н.О.¹, Караваев Д.М.², Лебедев А.Б.³, Арзаманов Д.Н.¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова, Санкт-Петербург

² Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург

³ Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
natali.ziadinova@yandex.ru

Аннотация. В рамках данной работы предложены методические основы разработки автоматизированной системы информационной поддержки принятия решений при планировании использования воздушного пространства. В интересах организации информационного обеспечения рассматривается возможность совершенствования методов прогнозирования таких явлений, как туман, обледенение; на основе комплексной оценки синоптической ситуации и данных о вертикальных профилях параметров атмосферы, получаемых от мезомасштабных гидродинамических моделей атмосферы и современных средств дистанционного зондирования атмосферы

Ключевые слова. Безопасность полетов воздушных судов, типы синоптических ситуаций, туман, обледенение, прогнозирование опасных явлений погоды, дистанционные средства зондирования атмосферы

METHODOLOGICAL BASIS FOR THE DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR INFORMATION SUPPORT FOR DECISION MAKING WHEN PLANNING THE USE OF AIR SPACE

Moiseeva N.O.¹, Karavaev D.M.², Arzamanov D.N.¹, Lebedev A.B.³

¹ St. Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation A.A. Novikova, St. Petersburg

² Mozhaisky Military Aerospace Academy, St. Petersburg

³ Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Annotation. Within the framework of this work, a methodological basis is proposed for the development of an automated information support system for decision-making when planning the use of airspace. In the interests of organizing information support, the possibility of improving methods for forecasting such phenomena as fog, icing and others is being considered based on a comprehensive assessment of the synoptic situation and data on vertical profiles of atmospheric parameters obtained from mesoscale hydrodynamic models of the atmosphere and modern means of remote sensing of the atmosphere

Keywords. Aircraft flight safety, types of weather conditions, fog, icing, forecasting of hazardous weather phenomena, remote sensing of the atmosphere

На авиацию приходится значительная доля всех грузо- и пассажироперевозок, так как воздушные суда являются одним из наиболее надежных и эффективных видов транспорта, зачастую единственно возможным – для отдельных регионов.

В соответствии с Федеральными правилами, планирование использования воздушного пространства осуществляется: главным, зональными, а также районными центрами Единой системы организации воздушного движения Российской Федерации.

Процесс планирования использования воздушного пространства состоит из следующих этапов: стратегическое, предтактическое и тактическое планирование использования воздушного пространства, а также координирование использования воздушного пространства, что определяет специфические требования к метеорологическому обеспечению каждого из этапов.

В условиях непрерывного роста интенсивности воздушного сообщения и введения новых маршрутов, погодные условия в значительной степени определяют риски и эффективность авиаперевозок. Значительная доля задержек авиарейсов, а также авиационных инцидентов и происшествий связаны именно с попаданием воздушных судов в сложные метеорологические условия, которые имеют свою специфику формирования для различных географических районов.

Исследования, направленные на повышение эффективности метеорологического обеспечения с учетом региональных особенностей формирования опасных метеорологических условий, являются весьма актуальными. Приоритетное значение для совершенствования метеорологического обеспечения полетов авиации имеют развитие средств получения метеорологической информации, методов прогнозирования погоды, создание автоматизированных комплексов анализа метеорологической обстановки и предупреждения о развитии опасных для полетов воздушных судов явлений погоды (гроза, ливни, турбулентность, обледенение, туман, ветер, снег).

Задачей данной работы является, с одной стороны изучение региональных особенностей развития опасных явлений погоды и сложных метеоусловий различных регионов (на примере Арктического региона), методические исследования вопросов совершенствования методов прогнозирования опасных явлений погоды и их комплексного использования в автоматизированных системах метеорологического обеспечения полетов авиации.

Наибольшее внимание в работе было уделено исследованию климатических особенностей Арктического региона, так как помимо региональных и национальных авиаперевозок, с 2001 г. сформирована система кросс полярных трасс, связывающих континенты Северной Америки с континентом Юго-Восточной Азии и Тихоокеанским регионом. При организации авиаперевозок в Арктике следует учитывать, что рассматриваемый регион мало освещен данными метеорологических наблюдений и характеризуется особыми климатическими условиями. В соответствии с результатами анализа имеющихся данных в арктических районах, в течение всего года наблюдаются сложные для полётов условия погоды. Одной из характерных особенностей рассматриваемого региона является регулярное образование полярных мезовихрей (или полярных мезоциклонов). Ввиду редкой наблюдательной сети, и, как следствие, недостаточной изученности данных мезомасштабных процессов, их прогнозирование на настоящий момент является нерешенной проблемой.

Важно отметить, что при планировании и обеспечении воздушного движения необходим учет состояния метеорологических параметров внешней среды в точках и областях пространства, в которых воздушное судно будет находиться при полете по воздушной трассе [1]. Метеорологическая информация должна обеспечивать возможность управления воздушным судном на всех этапах выполнения полета, начиная от взлета и полета по заданному маршруту, и заканчивая посадкой летательного аппарата в пункте назначения.

Информационной базой современных технологий разработки среднесрочных прогнозов метеорологических полей являются глобальные системы наблюдений и автоматизированные технологии сбора и обработки метеорологической информации,

которые являются элементами Глобальной системы обработки данных и прогнозирования Всемирной Метеорологической Организации. Решение задач разработки среднесрочных прогнозов метеорологических полей осуществляется в Мировых, Региональных специализированных и Национальных метеорологических центрах на основе гидродинамических моделей атмосферы и автоматизированных технологических комплексов численного прогнозирования погоды. От качества прогнозирования метеорологических полей в значительной степени зависит успешность прогнозов элементов погоды, разрабатываемых в системах физико-статистической и синоптической интерпретации выходной продукции гидродинамических моделей атмосферы. Одним из перспективных направлений увеличения предела предсказуемости гидродинамических моделей атмосферы и повышения успешности прогнозов метеорологических полей может стать метод комплексирования выходной прогностической продукции ведущих метеорологических центров. В основу предложенного метода прогнозирования положена модель оценивания математических ожиданий метеорологических параметров в классе линейных функций для неравноточных прогнозов по каждой точке заданной сеточной области с использованием нескольких гидродинамических моделей атмосферы.

Для получения фактической и прогностической информации об опасных явлениях и неблагоприятных условиях погоды для авиации могут использоваться различные методы (синоптические, физико-статистические, гидродинамические). Авторами предлагается использовать методы синоптической климатологии в автоматизированных системах статистической интерпретации выходной продукции прогностических гидродинамических моделей атмосферы. При этом представляется целесообразным объединить модели физико-статистического прогнозирования элементов погоды с методом синоптической интерпретации выходной продукции гидродинамической модели атмосферы на средние сроки [2, 3].

Следует отметить, что результаты применения предлагаемого метода зависят от качества прогностических полей метеорологических величин, полученных от гидродинамических моделей атмосферы. В свою очередь результаты работы гидродинамической модели атмосферы зависят от точности и полноты исходных данных. Поэтому в настоящей работе основное внимание уделяется актуальным вопросам применения гидродинамических методов прогнозирования, основанным на решении системы уравнений гидродинамики при заданных начальных и граничных условиях.

Для решения проблемы дефицита данных наблюдений авторами предлагаются методические основы построения комплекса автоматизированного метеорологического обеспечения полетов воздушных судов, позволяющего учитывать региональные климатические особенности районов их выполнения. Предлагаемый подход основан на комплексном использовании существующих методов прогнозирования (гидродинамический, физико-статистический, синоптико-климатический) с использованием оперативных данных о параметрах атмосферы, полученных с помощью современных средств получения метеорологической информации [4].

Для решения задачи прогнозирования зон обледенения воздушных судов необходимо комплексное использование информации от гидродинамических моделей атмосферы и средств дистанционного зондирования атмосферы об облачности, влагосодержании и вертикальном распределении температуры. Особенно актуальными средствами получения информации о вертикальных профилях температуры, влажности и влагосодержания облаков являются СВЧ-радиометры. Автоматизация процессов сбора, обработки и передачи информации органам управления воздушным движением и на борт воздушного судна позволит повысить уровень безопасности полетов авиации в Арктической зоне Российской Федерации.

Возможность осуществления взлета и посадки воздушным судном определяют минимумы погоды, параметрами которых являются высота принятия решения или высота

нижней границы облачности и дальность видимости на взлетно-посадочной полосе. Следовательно, при метеорологическом обеспечении полетов воздушных судов прогнозирование явлений погоды, ухудшающих видимость, является весьма значимым.

К явлениям, ухудшающим видимость, относятся туманы, дымки, метели, пыльные и песчаные бури и т.д. В настоящем докладе авторами рассматривается возможность автоматизированного прогнозирования тумана в различных географических районах Российской Федерации. Помимо ухудшения видимости, переохлажденный туман может способствовать обледенению воздушных судов, что также представляет собой опасность для выполнения полета. Также для планирования полетов важна информация о продолжительности рассматриваемого явления.

Сложность прогнозирования туманов связана с тем, что формированию различных его видов способствует целый комплекс физических процессов в атмосфере. Необходимыми условиями формирования тумана является насыщение воздуха водяным паром у поверхности Земли и наличие ядер конденсации [5, 6].

Исходя из анализа основных процессов, приводящих к формированию различных видов туманов, в соответствии с которыми они классифицируются, для их прогнозирования в первую очередь необходимо проанализировать ожидаемую синоптическую ситуацию, а затем наличие ожидаемого благоприятного сочетания метеорологических условий. При этом необходимо учитывать местные орографические условия, которые оказывают существенное влияние на развитие атмосферных процессов в районе наблюдения.

С целью автоматизации оперативной оценки синоптической обстановки авторами на основе анализа результатов исследований случаев с наблюдаемым туманом, были выделены наиболее характерные синоптические ситуации, способствующие формированию данного явления.

Для включения в комплексный критерий прогнозирования опасных для авиации явлений погоды предлагается использовать разработанный алгоритм автоматизированного определения типа синоптической ситуации, основанный на статистико-климатической интерпретации глобальных прогностических полей давления. На основе расчета лапласиана и градиента давления в узлах сетки с помощью сопоставления с разработанными численными критериями определяется тип синоптической ситуации.

Следующий этап – комплексная оценка метеорологических условий по результатам численного моделирования и последующее привлечение данных от дистанционных средств зондирования атмосферы.

В связи с тем, что проведение атмосферных фронтов в оперативной практике метеорологических подразделений носит частично формальный характер, авторами предлагается метод, основанный на синоптико-статистической интерпретации результатов мезомасштабного моделирования и привлечении данных дистанционного зондирования атмосферы, в том числе спутниковая информация и данные наземных микроволновых радиометров [7].

Для реализации предложенных в работе методов в целях повышения эффективности метеорологического обеспечения полетов воздушных судов авторами предлагаются методические основы создания программно-технического комплекса метеорологического обеспечения полетов воздушных судов и органов управления воздушным движением. Предлагаемый комплекс предназначен для метеорологического обеспечения планирования, организации и обеспечения выполнения полетов воздушных судов по региональным и международным маршрутам и является одним из приоритетных направлений в области совершенствования метеорологического обеспечения полетов воздушных судов.

Повышение успешности численных схем гидродинамического прогнозирования связано не только с совершенствованием численных методов и алгоритмов, использованием более производительных вычислительных средств, но и с разработкой новых

инструментальных средств наблюдений и развитием методов усвоения данных наблюдений в моделях численного прогнозирования.

Создаваемая система оперативных наблюдений создает предпосылки для отработки схем усвоения разнородных данных наблюдений (стандартных наземных метеорологических, радиолокационных, радиометрических, атмосферно-электрических, спутниковых). Для обеспечения непрерывного характера наблюдений атмосферы преимущества имеет метод совместного использования средств аэрологического зондирования атмосферы, микроволновой радиометрии для влажностного и температурного зондирования атмосферы и радиолокации для ветрового зондирования.

При этом возникает ряд научно-исследовательских задач:

- определение принципа организации специальных региональных сетей метеорологических наблюдений на основе современных средств наблюдений;
- обоснование оптимального размещения измерительных систем для удовлетворения требованиям используемой мезомасштабной модели;
- выбор системы усвоения данных разнородных наблюдений;
- доработка блока усвоения данных наблюдений для реализации возможности усвоения наибольшего числа получаемых данных.

Решение всех перечисленных методических вопросов по созданию программно-технического комплекса позволит повысить уровень метеорологического обеспечения планирования, организации и обеспечения выполнения полетов воздушных судов по региональным и международным маршрутам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солонин, А.С. Анализ и синтез систем метеорологического обеспечения авиации: автореф. дис. на соиск. учен. степ. докт. физ.-мат. наук (04.00.22) / Солонин Александр Сергеевич. - Санкт-Петербург, 1992.- 38 с.
2. Kovalenko G.V., Moiseeva N.O. Methodological Issues of Improving the Efficiency of Meteorological Support for Regional Air Transportation. Proceedings of the International Conference on Aviamechanical Engineering and Transport (AviaENT 2019). 2019. Advances in Engineering Research, Vol.188, - P. 236-241.
3. Моисеева Н.О., Ременсон В.А., Румянцева Е.А. Применение методов синоптической климатологии в автоматизированных системах статистической интерпретации выходной продукции прогностических гидродинамических моделей атмосферы // Ученые записки РГГМУ. 2016. № 44. С.157-164.
4. Моисеева Н.О. Повышение безопасности полетов и эффективности использования воздушных судов за счет применения модели регионального метеорологического обеспечения авиации // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2021. - № 4 (33). - С. 15 -26.
5. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы: учеб. для студ. вузов, обуч. по напр. «Гидрометеорология» и спец. «Метеорология». – 3-е изд., перераб. и доп. – Спб.: Гидрометеоздат, 2000. – 778 с.
6. Шакина Н.П., Иванов А.Р. Прогнозирование метеорологических условий для авиации. – М.: Триада лтд, 2016. – 312 с.
7. Ефременко А. Н., Караваев Д. М., Лебедев А. Б., Моисеева Н. О., Шукин Г. Г. Совершенствование методики исследований мезоструктуры атмосферных фронтов на основе применения наземной микроволновой радиометрии // Гидрометеорология и экология. 2023. № 71. С. 249-259.

СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА КЛАССИФИКАЦИЮ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПРОБЛЕМЕ ИХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Доронин А.П.¹, Козлова Н.А.¹, Петроченко В.М.¹, Филиппёнок В.В.¹

¹ Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, г.Санкт-Петербург
cozlowa.nat2012@yandex.ru

Аннотация: Рассматривается новый подход к атмосферным аэрозольным образованиям: классификация, физические условия образования, виды.

Ключевые слова: атмосферные аэрозольные образования, ААО, классификация.

MODERN VIEW ON THE CLASSIFICATION OF ATMOSPHERIC AEROSOL FORMATIONS IN APPLICATION TO THE PROBLEM OF THEIR REMOTE SENSING

Doronin A.P., Kozlova N.A., Petrochenko V.M., Filipyonok V.V.

Mozhaisky Military Aerospace Academy, St. Petersburg

Abstract: A new approach to atmospheric aerosol formations is considered: classification, physical conditions of formation, types.

Key words: atmospheric aerosol formations, AAO, classification.

Дистанционное зондирование (в том числе и из космоса) атмосферных аэрозольных образований (ААО) является важной задачей как в теоретическом плане, так и прикладном значении. Это связано с тем, что его результаты имеют широкие области применения: сельское и лесное хозяйство, транспорт, экология, энергетика и др.

Вместе с тем интенсивное развитие практически всех отраслей промышленности и возросшие существенно технические возможности человека свидетельствуют о том, что линейка ААО естественного происхождения может быть дополнена аэрозольными образованиями антропогенной природы. С учетом этого обстоятельства в работе приведена современная классификация ААО, включающая в себя не только образования естественного происхождения, наблюдающиеся в тропосфере, стратосфере и мезосфере, но и аэрозольные образования антропогенного происхождения непреднамеренного (сопутствующие хозяйственной деятельности) и преднамеренного (целенаправленного, целевого) характера.

Приводятся физические условия образования и пространственно-временные параметры основных видов ААО антропогенного происхождения непреднамеренного характера. Рассматриваются также физические условия и виды ААО антропогенного происхождения преднамеренного характера, создаваемые целенаправленно с помощью определенных технических средств, указываются области их применения для широкого круга прикладных задач, в частности, хозяйственных и экологических.

Предлагаемая в работе классификация ААО может быть полезна для специалистов, занимающихся исследованиями в различных областях, таких как: дистанционное зондирование Земли, физика атмосферы, экология, транспорт, модифицирование облаков естественного и искусственного происхождения и др.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВАРИАЦИЙ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ НА ТРАЕКТОРИИ НЕУПРАВЛЯЕМЫХ АВИАЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Елисейкин С.А., Подрезов В.А.

⁴ Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны
Российской Федерации, Королёв Московской области
pdv1al@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются вопросы оценки влияния и совершенствования методов учёта вариаций параметров атмосферы при баллистическом обеспечении применения неуправляемых авиационных изделий. Предлагается технология последовательного повышения точности учёта метеопараметров на основе модели стандартной атмосферы, климатической и оперативной метеоинформации.

Ключевые слова. Атмосфера, метеопараметры, модель, точность, оценка, отклонения точек падения.

ESTIMATION OF INFLUENCE OF VARIATIONS OF METEOPARAMETERS ON THE TRAJECTORY UNCONTROLLABLE AVIATION PRODUCTS

Elisejkin S.A., Podrezov V.A.

⁴ Central scientific research institute of the Ministry of Defence the Russian Federation, Korolev,
Moscow Region

Annotation. Questions of an estimation of influence and perfection of methods of the account of variations of parameters of atmosphere at ballistic maintenance of application of uncontrollable aviation products are considered. The technology of consecutive increase of accuracy of the account of meteoparameters on the basis of model of standard atmosphere, the climatic and operative meteoroinformation is offered.

Keywords. Atmosphere, meteoparameters, model, accuracy, an estimation, deviations of points of falling.

С методической точки зрения фактические значения параметров атмосферы на заданной высоте в определённой точке пространства в определённое время можно представить в виде

$$Y(H, \tau, \varphi, \lambda) = Y_{cp}(H, \tau, \varphi, \lambda) + Y_{сл}(H, \tau, \varphi, \lambda),$$

где

Y_{cp} – среднее многолетнее (климатическое) значение метеопараметра;

$Y_{сл}$ – кратковременная («случайная») вариация метеопараметра относительно среднего многолетнего значения;

τ – время года (номер месяца);

φ, λ – широта и долгота точки.

Соответственно, и отклонения точек падения неуправляемых авиационных изделий по дальности и по боку, обусловленные отличием параметров атмосферы от стандартной атмосферы [1] также можно представить в виде:

$$\begin{aligned}\Delta L(\tau, \varphi, \lambda, A_c) &= m_L(\tau, \varphi, \lambda, A_c) + \Delta L_{сл}(\tau, \varphi, \lambda, A_c); \\ \Delta Z(\tau, \varphi, \lambda, A_c) &= m_Z(\tau, \varphi, \lambda, A_c) + \Delta Z_{сл}(\tau, \varphi, \lambda, A_c),\end{aligned}$$

где A_c – азимут стрельбы.

Параметрами траектории боевого элемента являются: высота применения ($H_{пр}$, км), скорость носителя ($V_{нос}$, м/с), начальная скорость (V_0 , м/с), начальный угол бросания (θ_0 , град).

Зависимость отклонений точек падения от азимута стрельбы возникает из-за того, что среднее многолетнее (климатическое) значение зональной скорости ветра в области средних широт на порядок больше, чем меридионального [2]. В таблице 1 показано соотношение регулярной и случайной составляющих метеопараметров для различных диапазонов высот. Как видно, большая часть пространственно-временной изменчивости плотности обусловлена регулярными факторами (географическое положение точки, время года). Для зональной составляющей скорости ветра доля регулярной и случайной составляющих примерно соизмеримы. Изменчивость меридионального ветра практически полностью определяется случайными факторами.

Таблица 1 - Доли регулярной и «случайной» составляющих в суммарной изменчивости метеопараметров, %

| Высота, км | 0 | | 0-5 | | 0-10 | | 0-20 | | 0-30 | |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| | «Р» | «С» | «Р» | «С» | «Р» | «С» | «Р» | «С» | «Р» | «С» |
| Плотность | 91 | 9 | 88 | 12 | 82 | 18 | 93 | 7 | 93 | 7 |
| Зональный ветер | 18 | 82 | 41 | 59 | 53 | 47 | 66 | 34 | 71 | 29 |
| Меридиональный ветер | 13 | 87 | 5 | 95 | 4 | 96 | 7 | 93 | 12 | 88 |

Исследования показали, что влияние ветровых возмущений на пассивные (авиабомбы, авиаснаряды) и активные (неуправляемые авиационные ракеты) боевые элементы существенно различается. Для первых всё сводится к «эффекту сноса», для вторых имеет место более сложная картина явления. В таблицах 2, 3 представлены значения систематических, «случайных» (серединные отклонения) и предельных отклонений точек падения по дальности и по боку для авиабомб и авиаснарядов [3]. Эти значения соответствуют условным боевым элементам, близким по своим характеристикам к современным образцам. Как видно, значения систематических и случайных отклонений точек падения примерно соизмеримы. Исходя из этого, может быть предложена общая схема учёта параметров атмосферы при баллистическом обеспечении применения этих боевых элементов. Повышение точности учёта метеопараметров достигается последовательным использованием для расчёта движения боевых элементов следующих моделей атмосферы:

1. Модель стандартной атмосферы.
2. Средние многолетние (климатические) значения параметров атмосферы для заданной точки в определённое время года.
3. Фактические значения параметров атмосферы на основе оперативных измерений различными техническими средствами.

Таблица 2 - Рассеивание авиабомб по дальности (январь, $H_{пр} = 5$ км, $V_{нос} = 250$ м/с, $\theta_0 = 0^\circ$, $A_c = 270^\circ$), м

| Район | m_L | S_L | $ \Delta L_{пр} $ |
|-------------|-------|-------|-------------------|
| Волгоград | -162 | 110 | 602 |
| Владивосток | -304 | 97 | 532 |
| С-Петербург | -176 | 114 | 632 |
| о-в Хейса | -101 | 111 | 545 |
| Япония | -339 | 65 | 599 |
| Сингапур | 69 | 54 | 285 |

Таблица 3 - Рассеивание авиационных снарядов по дальности и по боку (средние широты, январь, $V_0 = 800$ м/с, $\theta_0 = -30^\circ$, $A_c = 270^\circ$), м

| Высота применения, км | m_L | S_L | $ \Delta L_{пр} $ | m_z | S_z | $ \Delta Z_{пр} $ |
|-----------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------------------|
| 1 | -4 | 4 | 20 | 3 | 3 | 15 |

| | | | | | | |
|---|------|----|-----|----|----|-----|
| 2 | -60 | 38 | 212 | 19 | 26 | 123 |
| 3 | -124 | 77 | 432 | 31 | 59 | 267 |

Для авиационных носителей (самолёты, вертолёты) хранение на борту большого объёма климатических данных не представляется возможным. Поэтому вместо них может быть использована аналитическая аппроксимация зависимости климатических значений метеопараметров от высоты, географических условий (широта, долгота) и времени года (сезона) [2]. В случае наличия возможности производства на борту оперативных измерений метеопараметров техническими средствами расчёт точек падения боевых элементов осуществляется с их использованием. В таблице 4 показан эффект последовательного повышения точности бомбометания на основе предлагаемой технологии.

Таблица 4 - Размеры интервала 50 % попадания авиабомб по дальности (средние широты, январь, $H_{пр} = 5$ км, $V_{нос} = 250$ м/с, $\theta_0 = 0^\circ$), м

| | |
|--|------------------------|
| Метеоподготовка | $m_L + S_L, m_L - S_L$ |
| Стандартная атмосфера | -272, +184 |
| Средние многолетние параметры (климат) | ± 100 |
| Оперативные измерения | ± 14 |

В случае осуществления оперативных измерений метеопараметров на борту возникает задача прогноза (экстраполяции) их значений от высоты применения до поверхности Земли. С учётом зависимости корреляционных связей метеопараметров на различных уровнях от высотного интервала (рис. 1) может быть предложена схема комплексирования измеренных значений фактических параметров атмосферы и их климатических величин на низких уровнях (рис. 2).

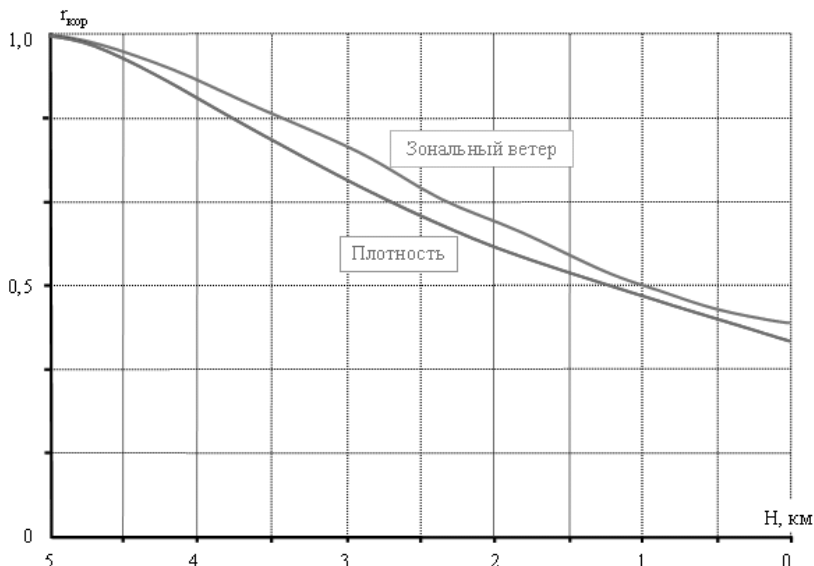


Рисунок 1 - Зависимость коэффициентов корреляции метеопараметров от высотного интервала

Всё вышесказанное относится к средствам поражения, совершающим пассивный (баллистический) полёт до цели. В случае неуправляемых авиационных ракет влияние ветровых возмущений на их движение существенно сложнее. Это связано с наличием у них активного участка траектории движения с работающим двигателем. Общая закономерность состоит в том, что при наличии ветра на активном участке траектории их носовая часть поворачивается в сторону «откуда дует ветер», появляется проекция реактивной тяги, существенно большая, чем величина аэродинамической силы. В результате имеют место соответствующие отклонения точек падения по дальности и по боку за счёт активного участка траектории. На пассивном участке траектории отклонения точек падения за счёт ветра определяются обычным «эффектом сноса» (табл. 5, 6). Поэтому для неуправляемых авиационных ракет учёт фактических или климатических параметров на борту в реальном времени по действительным параметрам движения носителя (самолёт, вертолёт) из-за сложности расчётов не представляется возможным. Однако тут имеется один смягчающий момент. Особенностью геометрии взаимодействия неуправляемой ракеты и воздушного потока при отрицательных углах бросания (стрельба с высоты по наземным целям) является то, что влияние продольного ветра на активном и пассивном участках траектории направлено в разные стороны [4], то есть взаимно компенсируется. А раз так, то логично возникает вопрос: при каких условиях имеет место полная компенсация? Именно эти условия в боевых документах целесообразно рекомендовать как наиболее желательные условия применения. На рисунке 3 показана зависимость угла полной компенсации влияния продольного ветра в зависимости от высоты и скорости авианосителя. Применение указанного приёма позволяет существенно снизить влияние ветровых возмущений на отклонения точек падения неуправляемых авиационных ракет по дальности. Для отклонений точек падения за счёт бокового ветра определённая компенсация имеет место всегда.

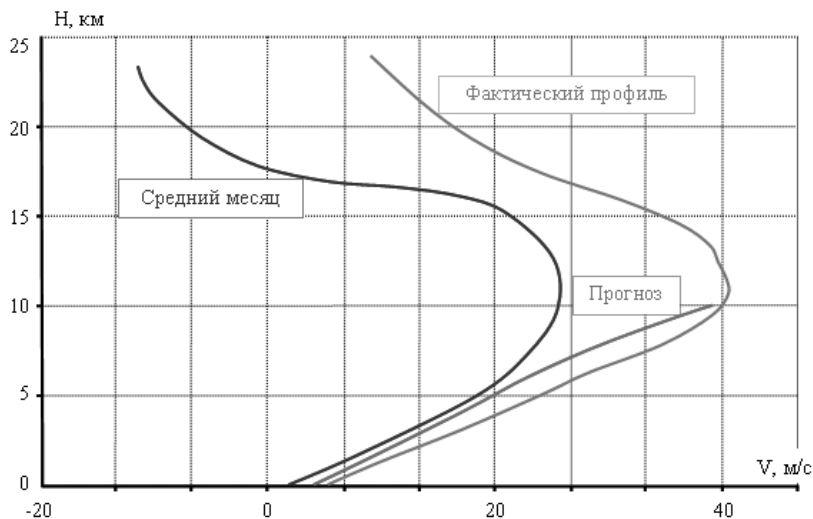


Рисунок 2 - Прогноз высотного изменения скорости продольного ветра, основанный на комплексировании оперативных измерений и климатической (средней многолетней) информации

Таблица 5 - Рассеивание неуправляемых авиационных ракет по дальности (январь, $H_{np} = 5 \text{ км}$, $V_{нос} = 0 \text{ м/с}$, $\theta_0 = -30^\circ$, $A_C = 270^\circ$), м

| Район | m_L | m_L^{AUT} | m_L^{PUT} | S_L | S_L^{AUT} | S_L^{PUT} | $ \Delta L_{np} $ |
|-------------|-------|-------------|-------------|-------|-------------|-------------|-------------------|
| Волгоград | -6 | 132 | -127 | 41 | 112 | 84 | 169 |
| Владивосток | 11 | 242 | -217 | 48 | 120 | 72 | 203 |
| С-Петербург | -9 | 143 | -139 | 50 | 120 | 89 | 209 |
| о-в Хейса | -25 | 42 | -60 | 48 | 121 | 88 | 217 |
| Япония | 192 | 423 | -199 | 28 | 80 | 56 | 304 |
| Сингапур | 12 | -86 | 103 | 21 | 52 | 40 | 92 |

Таблица 6 - Рассеивание неуправляемых авиационных ракет по боку (январь, $H_{np} = 5 \text{ км}$, $V_{нос} = 0 \text{ м/с}$, $\theta_0 = -30^\circ$, $A_C = 270^\circ$), м

| Район | m_z | m_z^{AUT} | m_z^{PUT} | S_z | S_z^{AUT} | S_z^{PUT} | $ \Delta Z_{np} $ |
|-------------|-------|-------------|-------------|-------|-------------|-------------|-------------------|
| Волгоград | -41 | -81 | 38 | 152 | 220 | 67 | 649 |
| Владивосток | 115 | 196 | -74 | 160 | 231 | 66 | 755 |
| С-Петербург | 72 | 90 | -17 | 188 | 273 | 83 | 824 |
| о-в Хейса | 45 | 56 | -10 | 162 | 235 | 75 | 693 |
| Япония | -30 | -30 | 0 | 105 | 156 | 48 | 450 |
| Сингапур | 11 | 23 | -13 | 47 | 68 | 24 | 199 |

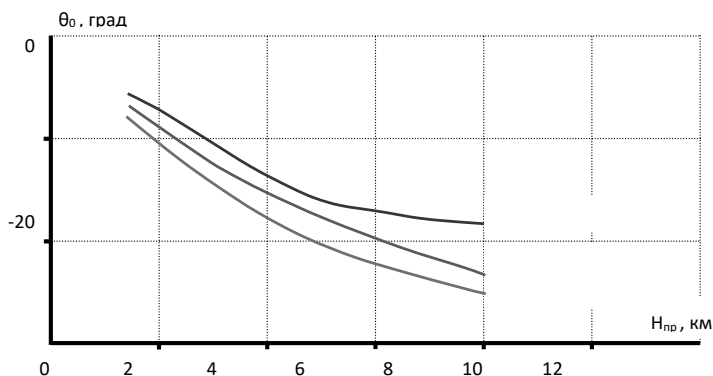


Рисунок 3 - Зависимость от высоты применения значения угла минимального рассеивания неуправляемых авиационных ракет по дальности за счёт ветра

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 4401-81. Атмосфера стандартная. Параметры. - М.: Изд-во стандартов, 1981. - 180 с.
- Глобальная справочная модель атмосферы на высотах от 0 до 100 километров для баллистического обеспечения ракетно-космической практики. - Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2020. - 114 с.
- Елисейкин С.А., Подрезов В.А. Моделирование и учёт параметров атмосферы при применении неуправляемых авиационных изделий. - Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2019. - 212 с.

4. Елисейкин С.А., Подрезов В.А. Моделирование и учёт параметров атмосферы при применении управляемых авиационных ракет. - Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2020. – 180 с.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АВИАЦИИ

Борисов А.А.¹, Жильчук И.А.², Маков А.Б.¹, Новиков Н.С.¹

¹Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, Санкт-Петербург

²Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
vokat1@rambler.ru

Аннотация. В работе представлен подход к оцениванию качества метеорологического обеспечения полетов государственной авиации на основе определения таких его характеристик, как результативность, оперативность и ресурсоемкость.

Ключевые слова. Метеорологическое обеспечение, показатель качества, теория эффективности, вероятность достижения цели.

METHODOLOGICAL BASIS FOR ASSESSING THE QUALITY OF METEOROLOGICAL SUPPORT FOR STATE AVIATION FLIGHTS

Borisov A.A.¹, Zhilchuk I.A.², Makov A.B.¹, Novikov N.S.¹

¹Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky, St.Petersburg

²Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg

Annotation. The paper presents an approach to assessing the quality of meteorological support for state aviation flights based on determining its characteristics such as effectiveness, efficiency and resource intensity.

Keywords. Meteorological support, quality indicator, efficiency theory, probability of achieving the goal.

Общеизвестно, что в настоящее время авиация широко используется при решении многих задач, возникающих в различных областях деятельности человека. Спектр применимости современной авиации достаточно широк и продолжает увеличиваться: от перевозки грузов в масштабах регионов, страны, между государствами до выполнения боевых задач в составе группировок войск.

Несмотря на высокий уровень технического и технологического исполнения современных воздушных судов (ВС), выполнение ими задач по предназначению по-прежнему остается зависимо в значительной степени от метеорологических условий (МетУсл) на аэродромах взлета и посадки, а также на маршрутах полета. Об этом свидетельствуют результаты опросов летных экипажей (рисунок 1), проведенных в 2021 году сотрудниками ФГБУ «Авиаметтелем Росгидромета» [1].

В целях эффективного применения авиации и обеспечения безопасности полетов ведомствами, отвечающими за организацию и осуществление воздушных операций, организуется метеорологическое обеспечение (МетОб) полетов, требования к качеству которого выдвигаются обеспечиваемым субъектом.

В ФГБУ «Авиаметтелем Росгидромета» осуществляет оценивание качества МетОб гражданской авиации (ГрАв) в своих филиалах с помощью ежегодного анкетирования летных экипажей [2]. Анкета состоит из нескольких вопросов, касающихся оценки зависимости ГрАв от МетУсл, а также удовлетворенности пользователей качеством метеорологического обслуживания. Анализируя подобный подход, можно отметить, что используемые в нем статистические показатели характеризуют такие аспекты МетОб, как качество предполетных метеорологических консультаций, оправдываемость предупреждений об опасных явлениях погоды по аэродрому, оправдываемость авиационных прогнозов погоды, компетентность и профессионализм авиационных метеорологов, и

определяют содержание категории «качество» МетОб ГраАв, а также позволяют найти его оценки.

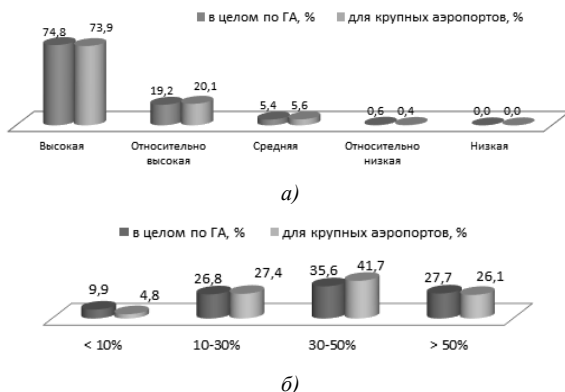


Рисунок 1 – Влияние метеорологических условий: а) на выполнение взлета и посадки; б) на нарушение работы гражданской авиации

В государственной авиации (ГосАв) авиаметеорологическими подразделениями также проводится работа по оцениванию качества МетОб полетов, заключающаяся в определении оправданности разрабатываемых ими прогнозов МетУсл [3]. Однако, поскольку МетОб полетов ГосАв осуществляется в целях эффективного применения авиации и обеспечения безопасности полетов [4], становится очевидным, что данный подход характеризует лишь один из множества аспектов МетОб полетов, и получаемые в результате его использования показатели не могут охарактеризовать качество МетОб в целом. В связи с этим представляется целесообразным разработка аппарата исследования качества МетОб полетов ГосАв.

В настоящей статье сформулированы методологические основы оценивания качества МетОб полетов ГосАв, базирующиеся на положениях и математическом аппарате теории эффективности целенаправленных процессов (ТЭЦП) [4].

Предложенные методологические основы позволяют оценивать качество МетОб полетов, принимая во внимание задачи, решаемые в ходе обеспечения, с учетом полученных результатов, используемых ресурсов и затраченного времени. Они включают в себя подход к разработке соответствующего показателя качества, модель МетОб, а также метод оценивания качества МетОб полетов ГосАв.

Метеорологическое обеспечение полетов ГосАв осуществляется штатными метеорологическими подразделениями на всех этапах подготовки и проведения полетов. Цель МетОб полетов достигается решением ряда задач, основными из которых являются обеспечение органов управления и руководителей полетами, летного состава и других пользователей следующими видами метеорологической информации: авиационными прогнозами погоды различной заблаговременности и продолжительности действия; штормовыми предупреждениями и оповещениями; результатами метеорологических наблюдений; данными радиолокационной и воздушной разведок погоды. Успешное решение совокупности этих задач обеспечит требуемое качество МетОб.

Для разработки показателя качества МетОб полетов воспользуемся методическим и математическим аппаратом теории вероятностей (ТВ). Тогда решение задачи МетОб полетов

можно представить, как решение задач более низкого уровня по обеспечению потребителя необходимыми видами метеорологической информации.

Обозначим через $A_i, i = 1(1)N$ событие, состоящее в решении i -й задачи МетОб полетов. Всего данных задач – N единиц. Поскольку решение задач МетОб проводится во внешней среде, для которой характерна неопределенность некоторых влияющих факторов, то степень решения i -й задачи следует оценивать по соответствующей вероятности $P(\hat{A}_i)$.

Количество и состав задач, решаемых в процессе МетОб, определяется руководящими документами по метеорологической службе. Исходя из смыслового содержания МетОб полетов, показатель их качества ($P(\hat{A})$) можно разработать на основе теорем сложения и произведения вероятностей [5]:

$$P(\hat{A}) = P(\sum_{i=1}^N \hat{A}_i) = \sum_i P(\hat{A}_i) - \sum_{i,j} P(\hat{A}_i \hat{A}_j) + \sum_{i,j,k} P(\hat{A}_i \hat{A}_j \hat{A}_k) - \dots, \quad (1)$$

$$\dots + (-1)^{n-1} P(\hat{A}_1 \hat{A}_2 \dots \hat{A}_n)$$

где символ «^» показывает случайную природу события \hat{A} .

Конкретный вид слагаемых выражения (1) определяется содержанием задачи МетОб полетов относительно ожидаемых МетУсл.

Оценки вероятностей $P(\hat{A}_i), i = 1(1)N$ предлагается находить, используя методологию разработанную в ТЭЦП [5]. Центральное место в ней занимает разработка математической модели исследуемой операции. В ее основе находится представление о показателе качества МетОб, как векторе, включающем в себя в качестве компонент частные показатели, характеризующие целевые эффекты, затраты ресурсов и времени на проведение МетОб.

Алгоритм оценивания качества операции, согласно работам [4,6,7,8], включает два этапа: оценивание качества результатов этой операции; оценивание самой операции, как целенаправленного процесса.

Не вдаваясь в детали подхода к оцениванию качества операции, подробно сформулированного в работах [4,6,7,8], ниже изложим лишь его принципы.

Достижение цели операции зависит от количественного выражения ее следующих атрибутивных свойств (результатов операции): результативности ($\mathfrak{Z}_{<n_1>}$); ресурсоемкости ($\mathcal{R}_{<n_2>}$); оперативности ($\mathcal{T}_{<n_3>}$), обобщаемых в показатель качества следующего вида:

$$\hat{Y}_{<n>}^i = <\hat{\mathfrak{Z}}_{<n_1>}^i, \hat{\mathcal{R}}_{<n_2>}^i, \hat{\mathcal{T}}_{<n_3>}^i >, \quad (2)$$

где $n = n_1 + n_2 + n_3$ – размерность вектора $\hat{Y}_{<n>}^i$.

Количественно степень достижения цели i -й операции можно представить в следующем виде:

$$P(\hat{A}_i) = P[(\hat{\mathfrak{Z}}_{<n_1>}^i \geq \hat{\mathfrak{Z}}_{<n_1>}^{\delta i}) \cap (\hat{\mathcal{R}}_{<n_2>}^i \leq \hat{\mathcal{R}}_{<n_2>}^{\delta i}) \cap (\hat{\mathcal{T}}_{<n_3>}^i \leq \hat{\mathcal{T}}_{<n_3>}^{\delta i})], \quad (3)$$

где $\hat{\mathfrak{Z}}_{<n_1>}^{\delta i}, \hat{\mathcal{R}}_{<n_2>}^{\delta i}, \hat{\mathcal{T}}_{<n_3>}^{\delta i}$ – компоненты (частные показатели) показателя требуемого качества i -й операции.

При практических расчетах показатель (2) вычисляется с помощью метода статистического имитационного моделирования (СИМ) [5].

Общая схема алгоритма метода СИМ операции представлена в работе [4], а в статье [8] приведен пример реализации данного алгоритма для вычисления показателя эффективности активных воздействий на слоистообразную облачность.

Алгоритм метода СИМ включает в себя в качестве основных блоки моделирования векторов $\hat{Y}_{<n>}^i$ и $\hat{Y}_{<n>}^{\delta i}$. На практике $Y_{<n>}^{\delta i}$ задается руководством метеопредприятия, исходя из

неких практических соображений. Поэтому, по факту, моделированию подвергается лишь вектор $\hat{Y}_{<n>}^i$, который моделирует МетОб, как исследуемую операцию.

Для этого на основе статистических данных определяют закон распределения $F_{\hat{B}_{<l>}^u}(\hat{B}_{<l>}^u)$ условий $\hat{B}_{<l>}^u$, в которых осуществлялось решение i -й задачи МетОб полетов, а также с помощью математического аппарата регрессионного и дискриминантного анализа устанавливают зависимость $f_{r,\tau,\varepsilon}^i(\cdot)$ между компонентами вектора $Y_{<n>}^i$, характеристиками операции «метеорологическое» обеспечение $A(B_{<l>}^u)$ и условиями $B_{<l>}^u$ т.е. находят зависимости вида (4):

$$\begin{aligned} r_{<n>}^i &= f_r^i(A(B_{<l>}^u), B_{<l>}^u) \\ \tau_{<n>}^i &= f_\tau^i(A(B_{<l>}^u), B_{<l>}^u, r_{<n>}^i) \\ \varepsilon_{<n>}^i &= f_\varepsilon^i(A(B_{<l>}^u), B_{<l>}^u, r_{<n>}^i, \tau_{<n>}^i) \end{aligned} \quad (4)$$

Далее в тексте статьи для большей наглядности размерности векторов не используются. Из практики МетОб известно, что в обычных условиях B^u проведения работ используются все выделенные ресурсы (r), а все мероприятия МетОб должны закончиться в определенное заранее известное время (τ). В этом случае из выражения (4) подлежит моделированию лишь показатель результативности (ε).

Виды возможных функций, наиболее часто используемых в практике моделирования показателей результативности (ε), исчерпывающе представлены в работе [9]. Наиболее часто в расчетах используется логистическая регрессия:

$$\varepsilon = \frac{e^{CX^T}}{1 + e^{CX^T}}, \quad (5)$$

где $X = \langle X^I, X^{II}, X^{III} \rangle$ – вектор предикторов, $X^I = A$ – вектор характеристик МетОб, $X^{II} = r$ – характеристики ресурсоемкости МетОб, $X^{III} = \tau$ – характеристики оперативности МетОб; C – вектор параметров логистической регрессии.

Задавая заранее значения вектора $Y^{\hat{\varepsilon}i} = \varepsilon^{\hat{\varepsilon}i}$, и, моделируя с помощью выражения (5) вектор $Y^i = \varepsilon^i$ заданное число раз, находят статистическую вероятность осуществления события, определяемого выражением (3), т.е. находят оценку показателя $P(\hat{A}_i)$.

Для нахождения показателя качества $P(\hat{A})$ алгоритм СИМ применяется N раз, после чего полученные с его помощью оценки, используются в выражении (1).

При оценивании качества МетОб в работе [5] рекомендуется использовать критерий пригодности:

$$G: \quad P(A) \geq P^{np}(A), \quad (6)$$

где $P^{np}(A)$ – показатель качества пригодного МетОб полетов.

Очевидно, что для реализации выражения (6) необходимо задать показатель качества пригодного МетОб полетов ($P^{np}(A)$). В ТЭЦП определение $P^{np}(A)$ является прерогативой системы более высокого порядка – суперсистемы. При рассмотрении задачи оценивания качества МетОб полетов в роли подобной суперсистемы следует рассматривать потребителя метеорологической информации. Именно он, исходя из решаемых им задач, определяет содержание МетОб полетов, а также дает оценку зависимости качества решения этих задач (QIN) от качества МетОб.

Вышесказанное можно записать в виде следующего выражения:

$$QIN = f(P(A)). \quad (8)$$

Тогда нахождение $P^{np}(A)$ может быть проведено с помощью выражения (9):

$$P(A) = f^{-1}(QIN), \quad (9)$$

решение которого подразумевает наличие аналитической записи выражения (8). Его вид может быть определен на основе анализа статистических данных, имеющихся у потребителя метеорологической информации и метеорологического подразделения, осуществляющего МетОб полетов.

Приведенные в настоящей работе рассуждения позволяют сделать вывод о том, что задача оценивания качества МетОб полетов ГосАв нуждается в дальнейшей разработке и совершенствовании, поскольку какого-либо приемлемого ее решения до сих пор не найдено.

Очевидно, что умение оценивать качество МетОб полетов необходимо для последующего решения задачи, обратной оцениванию – синтеза МетОб полетов заданного качества. Решение данной задачи позволит гарантировать эффективное применение ГосАв и обеспечить безопасность полетов в метеорологическом отношении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ оценки качества метеорологического обеспечения гражданской авиации в 2021 году // Авиаметтелеком Росгидромета URL: <http://www.aviamettelecom.ru/activity/indicators/> (дата обращения: 30.08.2022).
2. Анкетирование авиационных пользователей // Авиаметтелеком Росгидромета URL: <http://www.aviamettelecom.ru/activity/indicators/anketirovanie-aviats/> (дата обращения: 30.08.2022).
3. Руководство по практическим работам метеорологических подразделений авиации ВС РФ. – М.: Воениздат, 1992. - 488 с.
4. Петухов Г.Б., Якунин В.И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. – М.: Аст, 2006. - 506 с.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. - 3-е, исправленное. – М.: Наука, 1964. - 574 с.
6. Борисов А.А., Девяткин А.М., Кулешов Ю.В., Маков А.Б. Методологический подход к оцениванию боевых возможностей межвидовых группировок войск (сил) с учетом гидрометеорологической обстановки и возможностей системы гидрометеорологического обеспечения // Навигация и гидрография. – 2017. № 50. – С. 76-82. – EDN VNVVPVZ.
7. Борисов А.А., Кулешов Ю.В., Маков А.Б. Метод оценивания эффективности прогнозирования гидрометеорологических условий при обеспечении действий войск (сил) // Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского – 2022. – № 685 – С. 33-38. – EDN FZJWDE.
8. Борисов А.А., Маков А.Б., Щукин Г.Г. Моделирование показателя эффективности активных воздействий на слоистообразные облака при обеспечении благоприятных погодных условий проведения воздушной части общественно значимых мероприятий // Навигация и гидрография. – 2022. – №67. – С. 66-74. – EDN TELCPL.
9. Плакунов М. К., Раяцкас Р.Л. Производственные функции в экономическом анализе, 1984. – 308 с.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГМСК «ХАРАКТЕР-К» ПРИ МЕТЕООБЕСПЕЧЕНИИ ПОЛЕТОВ МОРСКОЙ АВИАЦИИ

Александров В.Я.², Капустин А.В.¹, Харсов А.А.²

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

²Военный институт (военно-морской) ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», Санкт-Петербург
kaps4000@mail.ru

Аннотация. В настоящей работе сделан анализ репрезентативности метеорологических данных измеренных с использованием переносного автоматизированного метеорологического комплекта ПАМ 1Б65 и гидрометеорологической метеорологической станции ГМСК «Характер-К».

Ключевые слова. Морская авиация, метеорологическое обеспечение, метеорологические станции.

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF USING GMSK "CHARACTER-K" IN METEOROLOGICAL SUPPORT OF MARINE AVIATION FLIGHTS

Alexandrov V.Ya.², Kapustin A.V.¹, Kharsov A.A.²

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg
Military Institute (Naval) VUNC Navy «Naval Academy»

Annotation. In this paper, an analysis of the representativeness of meteorological data measured using the portable automated meteorological kit PAM 1B65 and the hydrometeorological meteorological station GMSK "Character-K" is made.

Keywords. Marine aviation, meteorological support, meteorological stations.

Морская авиация - род сил Военно-морского флота, предназначенный для поиска и уничтожения боевых сил флота противника, десантных отрядов, конвоев и одиночных кораблей (судов) в море и на базах; прикрытия группировок кораблей и объектов флота от ударов противника с воздуха; уничтожения самолётов, вертолётов и крылатых ракет; ведения воздушной разведки; наведения на корабельные силы противника своих ударных сил и выдачи им целеуказания. Привлекается также к минным постановкам, противоминным действиям, радиоэлектронной борьбе, воздушным перевозкам и десантированию, поисково-спасательным работам на море. Поставленные задачи выполняет самостоятельно и во взаимодействии с другими родами сил флота, а также с соединениями (частями) других видов Вооружённых Сил.

Функционально морская авиация подразделяется на рода авиации: морскую ракетноосную; противолодочную; истребительную; разведывательного и вспомогательного назначения (дальнего радиолокационного обнаружения и наведения, РЭБ, противоминную, обеспечения управления и связи, заправки летательных аппаратов топливом в воздухе, поисково-спасательную, транспортную, санитарную).

На современном этапе развитие морской авиации идёт в направлении совершенствования всех типов летательных аппаратов, увеличения их скорости, дальности и продолжительности полёта, оснащения высокоточным управляемым оружием, широкого внедрения электронно-вычислительной техники, систем и методов управления, средств автоматизации сбора, обработки информации и выдачи целеуказания для поражения любых целей с высокой точностью, создания средств поиска и поражения надводных и подводных целей на новых физических принципах, повышения их незаметности и боевой устойчивости.

При решении задач метеорологического обеспечения дежурный синоптик при оценке метеорологических условий анализирует данные измеренные различными

метеорологическими приборами построенными, построенными на различных физических принципах и размещённых как на поверхности земли, так и на кораблях [1].

Для получения метеорологической информации в полевых условиях используют автономные метеорологические станции типа ДМК (десантный метеорологический комплект), ПАМ (переносной автоматизированный метеокомплект) или МАМС (малогабаритная автоматическая метеорологическая станция).

МАМС обладает необходимым набором датчиков для получения информации об атмосферном давлении, температуре и влажности воздуха, параметрах ветра и наличии осадков, преобразователями аналоговых сигналов в цифровой код позволяет передавать информацию по телеметрическим каналам связи. Однако стоимость МАМС составляет порядка 4 миллионов рублей и широкого применения для метеорологического обеспечения полетов в полевых условиях станция в настоящий момент не нашла.

Переносной автоматизированный метеокомплект ПАМ 1Б65 является автономным устройством для выполнения метеорологических измерений в полевых условиях, принят на снабжение ВС РФ в 2007 году и пришел на смену десантного метеорологического комплекта ДМК-1. Стоимость комплекта около 700 000 рублей, что в четыре раза меньше, чем станция МАМС, что выглядит привлекательным с экономической точки зрения.



Рисунок 1- ПАМ в развернутом состоянии

ПАМ предназначен для осуществления периодических метеорологических измерений в приземном слое атмосферы позволяет измерять и обрабатывать следующие параметры: температуру и относительную влажность воздуха, атмосферное давление, направление и скорость ветра [2].

Однако, при метеорологическом обеспечении полетов морской авиации данные наземных наблюдений необходимо нарастить за счёт информации полученной от надводных кораблей флота, находящихся в прилегающем морском районе.

Для получения значений метеорологических параметров окружающей среды на кораблях флота, таких как скорость и направлении ветра, атмосферное давление,

температура и относительная влажность воздуха, высота нижней границы облачности, метеорологической дальности видимости и других гидрометеорологических параметрах: избыточном гидростатическом давлении, температуре морской воды, относительной электрической проводимости воды используют гидрометеорологическую станцию (ГМСК) «Характер-К».

С помощью собственных аппаратных и программных средств станция обеспечивает измерение, отображение, регистрацию и передачу полученной информации внешним потребителям.

Проведем сравнительный анализ технических характеристик ГМСК «Характер-К» и переносного автоматизированного метеокомплекта ПАМ 1Б65

Таблица 1 – Диапазон измерений станции ГМСК и ПАМ 1Б65

| Параметр | ГМСК «Характер-К» | | ПАМ 1Б65 | |
|----------------------------|-------------------|------------------|-----------|-------------|
| | Диапазон | Погрешность | Диапазон | Погрешность |
| Скорость ветра, м/с | 1÷50 | $\pm(0,5-0,07U)$ | 0÷30 | 0,37 |
| Направление ветра, ° | 0÷360 | ± 6 | 0÷360 | $\pm 2,7$ |
| Атмосферное давление, гПа | 880÷1050 | $\pm 0,5$ | 746÷1067 | $\pm 0,3$ |
| Температура воздуха, °C | -40 ÷ +50 | $\pm 0,5$ | -50 ÷ +55 | $\pm 0,4$ |
| Относительная влажность, % | 30-100 | ± 8 | 15-100 | ± 6 |

В рамках СНО курсантами 5 курса ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» и студентами ВУЦ РГМУ проводились метеорологические наблюдения на ГМСК «Характер-К» и переносном автоматизированном комплекте ПАБ 1Б65 с целью сравнения результатов измерения метеорологических величин.

Установка датчиков проводилась при помощи геодезического теодолита на одном уровне, с соблюдением требований репрезентативности данных наблюдений. Датчики находились на высоте 4 м от поверхности земли.

Синхронно, в установленные сроки – 09.00, 12.00, 15.00, 18.00, в течение пяти дней проводились измерения: температуры воздуха, относительной влажности воздуха, атмосферного давления, направления и скорости ветра.

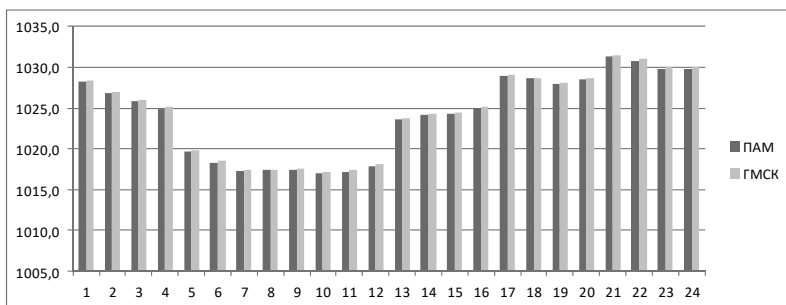


Рисунок 2 – Измерение атмосферного давления

В качестве иллюстрации представлены результаты наблюдений за атмосферным давлением на графике (рис.2-3).

Для визуализации различий в измерениях атмосферного давления станциями ПАМ и ГМСК использовался график Бленда-Альтмана (рис.3).

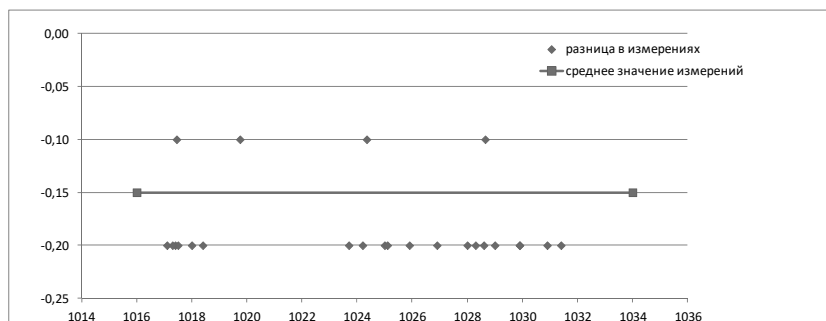


Рисунок 3 - график Бленда-Альтмана

Из графика видно, что различия в измерениях атмосферного давления составляет в среднем 0,15 гПа, что даже не превышает величины погрешности датчиков давления ПАМ и ГМСК.

Различия в измерениях других метеорологических параметров представлены в таблице 2.

Таблица 2 – различия в измерениях метеопараметров датчиками станций ГМСК и ПАБ, средние значения

| Параметры | T, °C | f, % | P, гПа | φ , ° | V, м/с |
|-----------|-------|------|--------|---------------|--------|
| Различия | 0,10 | 1,50 | 0,15 | 3,50 | 0,10 |

В результате проделанной работы можно сделать вывод, что средние различия в измерениях метеорологических параметров датчиками двух станций ГМСК и ПАМ не превышают погрешностей измерений каждого метеопараметра и практически идентичны, что позволяет использовать измерения ГМСК «Характер» в процессе метеорологического обеспечения полетов морской авиации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адамович О.Р., Балахтар В.Д. Организация гидрометеорологического обеспечения ВМФ. СПб: ВМА им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова, 2005г. – 306 с.
2. Наставление по метеорологической службе авиации вооруженных сил (НАМС – 2014), 81 с.;

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВИДИМОСТИ НА МЕСТНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ПРИ ПОЛЕТАХ ПО ПРАВИЛАМ ВИЗУАЛЬНЫХ ПОЛЕТОВ

Дорофеев В.В., Степанов А.В., Насонов А.А., Подгузов М.Ю., Яшинин А.Д.
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил Военно-воздушная академия имени
профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина. Воронеж
metemilitary@yandex.ru

Аннотация. Приведена методика оценки видимости на местных воздушных линиях в воздушном пространстве класса G, реализованная построением модели наклонной полетной дальностью видимости в различных типах распределения горизонтальной дальности видимости под низкими облаками над равнинной местностью.

Ключевые слова. Полетная дальность видимости, горизонтальная дальность видимости, воздушное пространство, метеорологическое обеспечение.

METHODOLOGY FOR ASSESSING VISIBILITY ON LOCAL AIR LINES WHEN FLYING ACCORDING TO THE RULES OF VISUAL FLIGHTS

Dorofeev V.V., Stepanov A.V., Nasonov A.A., Podguzov M.Yu., Yashinin A.D.
Military Training and Research Center of the Air Force Air Force Academy named after Professor
N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin. Voronezh

Annotation. A technique for assessing visibility on local air lines in Class G airspace is presented, implemented by constructing a model of inclined flight visibility range in various types of horizontal visibility range distribution under low clouds over flat terrain.

Keywords. Flight visibility range, horizontal visibility range, airspace, meteorological support.

В настоящее время в Российской Федерации большое внимание уделяется развитию региональной авиации – это обусловлено необходимостью регулярности сообщений между областными центрами и населенными пунктами, обширной территорией Российской Федерации.

Региональная авиация выполняет полеты на местных воздушных линиях (МВЛ) первой и второй категории на высотах нижнего эшелона на малых и предельно малых высотах в воздушном пространстве класса G [5].

Особую трудность представляет метеорологическое обслуживание полетов МВЛ в воздушном пространстве G класса по правилам визуальных полетов (ПВП) в условиях низкой облачности (высота нижней границы облаков (ВНГО) менее 600 м) [1].

Для полетов на МВЛ воздушном пространстве G класса по ПВП устанавливаются минимумы по ВНГО и видимости, под которой понимается предельное расстояние, на котором с борта воздушного судна виден реальный объект на окружающем его фоне воздушном пространстве G класса [5].

В прогнозах погоды для полетов на МВЛ по ПВП прогнозируется горизонтальная видимость у поверхности земли (метеорологическая дальность видимости (МДВ)), которая не позволяет оценить соответствие метеорологических условий по видимости уровню подготовки командира воздушного судна (ВС) [4].

При полетах по ПВП под низкими облаками экипажу необходима наклонная полетная дальность видимости (НПДВ) – видимость из кабины воздушного судна ориентиров на земной поверхности. НПДВ под низкими облаками зависит от высоты и скорости полета ВС, типа распределения горизонтальной видимости (ТРГВ), контраста ориентиров [2].

Поэтому при оценке метеорологических условий на выполнение полетов на МВЛ возникает противоречие между представляемой МДВ прогнозах погоды для полетов по ПВП и необходимой НПДВ ориентиров на фоне местности [2,3,4,5]. Противоречие требует

решения научной задачи по разработке методики оценки НПДВ для обеспечения полетов на МВЛ.

Поэтому целью работы является повышение качества метеорологического обеспечения полетов в воздушном пространстве G класса путём разработки методики оценки НПДВ для обеспечения полетов на МВЛ под низкими облаками.

Оценки видимости для полетов по ПВП реализована построенной моделью НПДВ (S_{II}) под низкими облаками с учетом влияющих факторов [1,2,3] по формуле:

$$S_{II} = L_{явл} \frac{H_{пол}}{\cos \theta \cdot \int_0^{H_{пол}} \frac{dh}{S_{mh}}} D, \quad (1)$$

где D – коэффициент относительной видимости; $H_{пол}$ – высота полета воздушного судна, м; K – контраст объекта на фоне местности; ε – порог контрастной чувствительности глаза; θ – угол визирования °; dh – слои, характеризующие распределение горизонтальной видимости с высотой, м; S_{mh} – горизонтальная видимость на высоте h , м, $L_{явл}$ – экспериментально установленные коэффициенты ($L_{дымка}=1$, $L_{дождь}=0,91$, $L_{снег} = 0.84$, $L_{морось}=0.8$) [3,4].

$$D = \frac{\ln(K/\varepsilon)}{\ln(1/\varepsilon)}. \quad (2)$$

Входными параметрами модели являются: ВНГО, МДВ, яркостный контраст (K) объектов (ориентиров) на фоне местности, высота и скорость полёта, МДВ.

Выходным параметром модели является НПДВ из кабины воздушного судна при различных скоростях и высотах полёта.

В качестве примера на рисунках 1, 2, 3 приведена зависимость НПДВ от МДВ в I, II III ТРГВ при различных явлениях погоды (дымка, снег, морось), коэффициент контрастности (K) – 0,6, ВНГО – 100 м, высота полета(h) – 50 м и путевой скорости полета воздушного судна 200 км/ч.

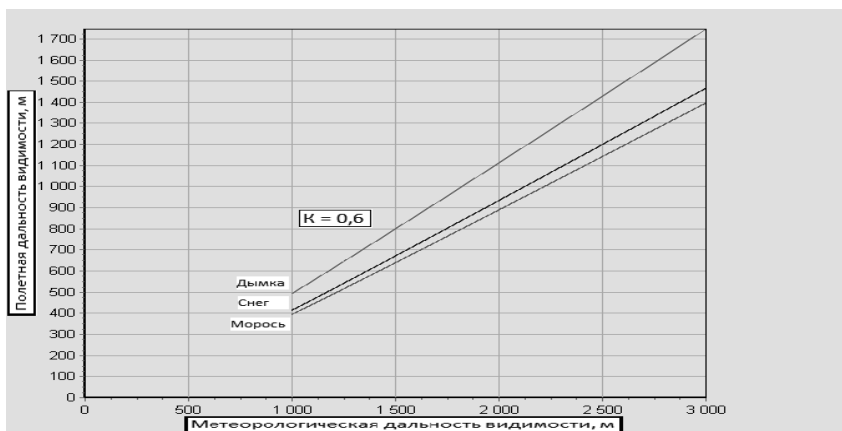


Рисунок 1 – Зависимость ПДВ от МДВ в I ТРГВ при различных явлениях погоды (дымка, снег, морось), коэффициент контрастности(K) –0.6, ВНГО – 100 м, высота полета(h) – 50 м и скорости полета воздушного судна 200 км/ч

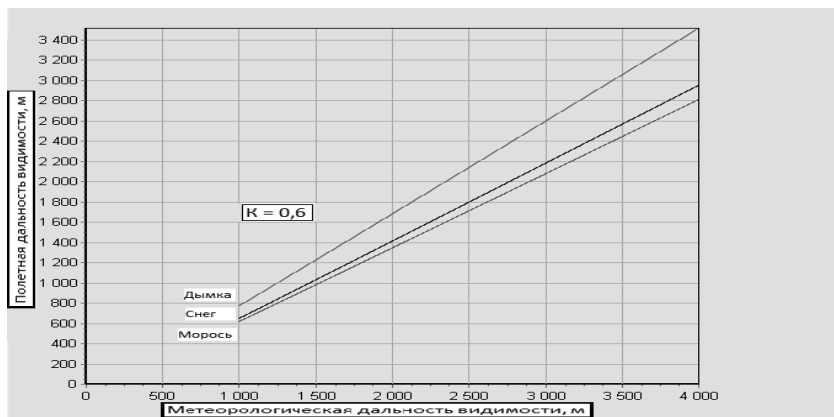


Рисунок 2 – Зависимость ПДВ от МДВ в II ТРГВ при различных явлениях погоды (дымка, снег, морось), коэффициент контрастности(K) –0.6, ВНГО – 200 м, высота полета(h) – 50 м и скорости полета воздушного судна 200 км/ч

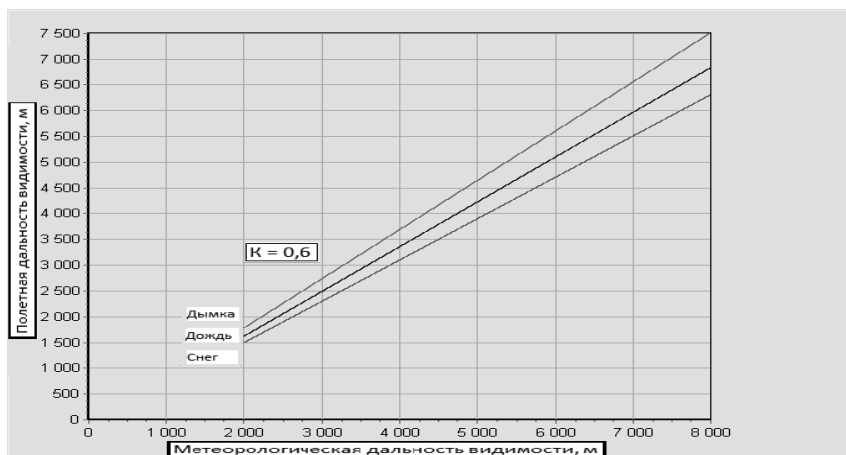


Рисунок 3 – Зависимость ПДВ от МДВ в III ТРГВ при различных явлениях погоды (дымка, дождь, снег), коэффициент контрастности(K) –0.6, ВНГО – 300 м, высота полета(h) – 50 м и скорости полета воздушного судна 200 км/ч

Анализ графиков (рис.1,2,3) позволяет сделать следующие выводы:

1. В I ТРГВ при МДВ = 1000 м – ПДВ составляет 400 м в мороси, 420 м в снеге и 500 м в дымке, при МДВ = 2000 м – ПДВ составляет 900 м в мороси, 940 м в снеге и 1100 м в

дымке, при МДВ = 3000 м – ПДВ составляет 1400 м в мороси, 1460 м в снеге и 1700 м в дымке соответственно.

2. В II ТРГВ и МДВ = 1000 м – ПДВ составляет 620 м в мороси, 640 м в снеге и 780 м в дымке, при МДВ = 2000 м – ПДВ составляет 1350 м в мороси, 1400 м в снеге и 1700 м в дымке, при МДВ = 3000 м – ПДВ составляет 2100 м в мороси, 2200 м в снеге и 2600 м в дымке соответственно.

3. В III ТРГВ и МДВ = 2000 м – ПДВ составляет 1500 м в мороси, 1700 м в снеге и 1800 м в дымке, при МДВ = 3000 м – ПДВ составляет 2300 м в мороси, 2500 м в снеге и 2700 м в дымке соответственно.

Методика оценки НПДВ на МВЛ осуществляется с применением топографических карт местности крупного масштаба и предлагается реализовать по следующему алгоритму:

1. На карте определяется маршрут полёта, ориентиры относительное превышение рельефа местности.

2. По фактическим (прогностическим) значениям ВНГО и МДВ определяется ТРГВ с высотой под низкими облаками.

3. Производится расчет приборной безопасной высоты полёта по маршруту выполнения полёта с учётом рельефа местности.

4. По фактическим (прогностическим) значениям ВНГО, МДВ, ТРГВ с учётом явлений погоды, яркостного контраста объектов на фоне местности, скорости и высоты полёта рассчитываются значения НПДВ по маршруту выполнения полёта.

Достоверность расчётных значений модели НПДВ проведена по критериям успешности (γ - коэффициент корреляции, σ - средняя квадратическая ошибка, η - средняя абсолютная ошибка) путём сравнения расчётных значений НПДВ с данными, полученными от экипажей, выполняющих полёты на МВЛ (таблица 1).

Таблица 1 – Значения критериев успешности (γ , η , σ) расчётных значений НПДВ при различных значениях ВНГО и ТРГВ

| Критерии успешности наклонной полётной дальности видимости | | | | | | | | | | | |
|--|------------|--------------|---------------------------------|------------|--------------|----------------------------------|------------|--------------|---------------------------------|------------|--------------|
| I тип ТРГВ 100м<ВНГО≤150 м | | | II тип ТРГВ 150 м<ВНГО≤200 м | | | III тип ТРГВ 200 м<ВНГО≤400 м | | | IV тип ТРГВ 600 м<ВНГО≤600 м | | |
| γ | η , м | σ , м | γ | η , м | σ , м | γ | η , м | σ , м | γ | η , м | σ , м |
| 0,79 | 146 | 182 | 0,77 | 153 | 191 | 0,71 | 298 | 372 | 70 | 340 | 380 |

Для практического применения методики оценки видимости для обслуживания полетов на МВЛ разработано решающее правило, обеспечивающее требования безопасности, регулярности и эффективности выполнения и планирования полетов под низкими облаками на основе оценки соответствия метеорологических условий минимуму командира ВС по ВНГО и НПДВ:

$$\left\{ \begin{array}{l} (S_n \geq S_{нкр}) \wedge (H \geq H_{кр}) \wedge \overline{ОЯП} - \text{полёты планируются} \\ (S_n < S_{нкр}) \vee (H < H_{кр}) \wedge \overline{ОЯП} - \text{полёты не планируются} \\ (S_n \geq S_{нкр}) \wedge (H < H_{кр}) \wedge \overline{ОЯП} - \text{полёты планируются с ограничениями} \\ (S_n < S_{нкр}) \wedge (H \geq H_{кр}) \wedge \overline{ОЯП} - \text{полёты не планируются} \end{array} \right\}, \quad (3)$$

где S_n – расчетное значение НПДВ, м; $S_{нкр}$ – минимальное допустимое значение НПДВ, установленное командиру ВС на выполнение полета на МВЛ; H – ВНГО, м; $H_{кр}$ – минимально допустимое значение ВНГО, установленное командиру ВС на выполнение полета на МВЛ по ПВП, м; $ОЯП$ - опасные явления погоды.

Вывод: таким образом, разработанная методика позволяет оценивать соответствие метеорологических условий при планировании и выполнении полетов по ПВП на МВЛ под низкими облаками. Предложенную методику целесообразно применять и для оценки метеорологических условий при планировании специальных задач авиации Воздушно-космических сил, Министерства чрезвычайных ситуаций, Федеральной службы безопасности, Национальной гвардии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Васильев А.А. Метеорологические условия полетов воздушных судов. Пособие АМСГ, АМЦ, ЗАМЦ, ГАМЦ и для летного и диспетчерского состава гражданской авиации. Л.: Гидрометеиздат. -1983г.- 90 с.
- 2 Дорофеев В.В., Нахмансон Г.С. Наклонная дальность видимости. Монография. Воронеж, ВВАИУ (ВИ), 2007г.- 102-118 с.
- 3 Кмито А.А., Смирнов П.И. Общий курс метеорологии. Часть II, ЛКВВИА им. А.Ф. Можайского, 1969г.- 180 с.
- 4 Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации (НМО ГА – 95) 1995г.- 156 с.
- 5 Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации 11.03 2010 №138.- 56 с.

ТЕХНОЛОГИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Веселов В. С., Глуценко Д.Е., Чжан-Энь-Хын Д.С., Головин С.С.

¹Военный инновационный технополис «ЭРА», Анапа
era_lab13@mil.ru

Аннотация. Рассматриваются технологии дистанционного зондирования Земли и их применение в области спутникового мониторинга окружающей среды.

Ключевые слова. Дистанционное зондирование Земли, спутниковый мониторинг окружающей среды.

EARTH REMOTE SENSING TECHNOLOGIES

Veselov V.S., Glushenko D.E., Chzhan-En-Khyn D.S., Golovin S.S.

Military innovative technopolis "ERA", Anapa

Annotation. Earth remote sensing technologies and their applications to the satellite environmental monitoring.

Keywords. Remote sensing of the Earth, satellite environmental monitoring.

Технологии дистанционного зондирования Земли из космоса - незаменимый инструмент изучения и постоянного мониторинга нашей планеты, помогающий эффективно использовать и управлять ее ресурсами. Современные технологии дистанционного зондирования Земли находят применение практически во всех сферах нашей жизни, таких как: создание прогнозов погоды, обновление топографических, навигационных, дорожных и других специальных карт, прогнозирование и мониторинг опасных природных явлений, осуществление контроля за состоянием гидротехнических сооружений на каскадах водохранилищ, реальное местонахождение морских судов, отслеживание динамики и состояния рубок лесов, оценка ущерба от лесных пожаров, мониторинг разливов нефти и движения нефтяного пятна, наблюдение за ледовой обстановкой, мониторинг

чрезвычайных ситуаций, связанных с природными и техногенными воздействиями, планирование аварийно-спасательных работ в районах стихийных бедствий и антропогенных катастроф [1].

Сегодня разработанные предприятиями Роскосмоса технологии и методики использования данных дистанционного зондирования Земли позволяют предложить уникальные решения для обеспечения безопасности, повышения эффективности разведки и добычи природных ресурсов, внедрения новейших практик в сельское хозяйство, предупреждения чрезвычайных ситуаций и устранения их последствий, охраны окружающей среды и контроля над изменением климата.

В настоящее время российская орбитальная группировка дистанционного зондирования Земли состоит из космических аппаратов серий «Ресурс-П», «Канопус-В», «Метеор-М», «Электрон-Л» и «Арктика-М». В 2023 г. готовится к запуску первый аппарат радиолокационного зондирования «Кондор-ФКА».

Изображения, передаваемые спутниками дистанционного зондирования Земли, находят применение во многих отраслях: сельском хозяйстве, геологических и гидрологических исследованиях, лесоводстве, охране окружающей среды, планировке территорий, образовании, военном деле. Космические системы дистанционного зондирования Земли позволяют за короткое время получить необходимые данные с больших площадей (в том числе труднодоступных и опасных участков).

Космический комплекс «Ресурс-П». Космический комплекс «Ресурс-П» предназначен для высокودетального, детального широкозахватного и гиперспектрального оптико-электронного наблюдения поверхности Земли и передачи данных по радиоканалу на наземные пункты приема информации.

Космический комплекс «Ресурс-П» применяется для осуществления контроля загрязнения и деградации окружающей среды, контроля водоохранных и заповедных районов, исследования природных ресурсов, оценки состояния ледовой обстановки, мониторинга чрезвычайных ситуаций, создания и обновления кадастровых планов, топографических и навигационных карт.

Основными преимуществами комплекса являются: сверхвысокое пространственное разрешение (лучше 1,0 м), использование рациональных полиномов (RPC) (инструмент для повышения точности и ускорения процесса обработки данных), стереоскопическая съемка (возможность создания трехмерных моделей).

Целевая аппаратура космических аппаратов «Ресурс-П» обеспечивает съемку земной поверхности в панхроматическом, спектрзональном, широкозахватном и гиперспектральном режимах в любом сочетании. Передача информации может осуществляться в реальном времени и в записи по высокоскоростной радиолинии.

В состав целевой аппаратуры космических аппаратов входит оптико-электронная аппаратура «Геотон-Л1» с длиннофокусным линзовым объективом и системой приема и преобразования информации «Сангур-1У» на базе высокочувствительных матриц, позволяющих получать снимки земной поверхности в панхроматическом диапазоне с разрешением лучше 1 м, в узких спектральных диапазонах с разрешением 3-4 м.

Гиперспектральная аппаратура позволяет получить данные о спектральной характеристике любых объектов на Земле. Гиперспектральная съемка представляет собой метод сбора и обработки информации из различных участков электромагнитного спектра. Каждый объект имеет уникальную спектральную характеристику излучения, что позволяет однозначно идентифицировать материалы, составляющие его структуру. Сенсоры собирают информацию в виде «пакетов» изображений, при этом каждое изображение представляет определенную область электромагнитного спектра, так называемый спектральный канал. Аппаратура для геоспектральной съемки позволяет обработать до 216 спектральных каналов со спектральным разрешением от 5 до 10 нм.

Комплекс широкозахватной мультиспектральной аппаратуры позволяет вести дистанционную оптико-электронную съемку земной и водной поверхности в панхроматическом и мультиспектральном диапазонах на полосе захвата шириной до 441 км (камерой среднего разрешения) и до 97 км (камерой высокого разрешения). Комплекс состоит из широкозахватной мультиспектральной аппаратуры высокого и среднего разрешения, которые могут работать как одновременно, так и раздельно.

Бортовая аппаратура системы высокоскоростной радиолинии связи обеспечивает передачу информации с космического аппарата на наземный пункт приема информации.

Космический комплекс «Канопус-В». Космический комплекс «Канопус-В» предназначен для получения панхроматических и многозональных изображений поверхности Земли. Основными преимуществами комплекса являются высокая оперативность съемки, возможность одновременной съемки в панхроматическом и многозональном режимах или съемки с различными комбинациями спектральных зон, сопровождение данных коэффициентами рациональных полиномов (RPC) для ускорения процесса обработки информации и повышения точности изображений, применение телекомандной системы международного S-диапазона [2].

В состав космического комплекса «Канопус-В» входят космические аппараты «Канопус-В» и «Канопус-В-ИК». Космический аппарат «Канопус-В» обеспечивает съемку поверхности Земли в видимом диапазоне спектра электромагнитного излучения, формирование полученной видеoinформации в кадры, хранение и передачу полученных данных по радиоканалам на наземный комплекс планирования приема, регистрации, обработки и распространения информации.

В состав целевой аппаратуры космического аппарата входят панхроматическая съемочная система и многозональная съемочная система, с помощью которых осуществляется съемка участков поверхности Земли в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра. При этом возможно проведение одновременной съемки в панхроматическом и многозональном режимах или съемки только в многозональном режиме при различных комбинациях спектральных зон.

Впервые в мировой практике на космическом аппарате «Канопус-В» применен кадрово-сканирующий принцип съемки, позволяющий получить данные высокого геометрического качества и обладающие высокими изобразительными свойствами. На космическом аппарате «Канопус-В» установлена телекомандная система международного диапазона (S-диапазона), что повышает эффективность работы космического комплекса при реализации международных проектов.

Также впервые в отечественной практике информация, поступающая с космического аппарата, сопровождается коэффициентами рациональных полиномов (RPC), что позволило значительно повысить точность изображения при ортотекстурировании, упростить и ускорить обработку изображений за счет автоматизированного режима.

Технические решения, реализованные в «Канопус-В», обеспечивают международный уровень качества получаемой информации высокого разрешения, надежность и эффективность функционирования космического комплекса.

«Канопус-В-ИК» является вторым аппаратом в космическом комплексе «Канопус-В» и предназначен для мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций, в том числе стихийных гидрометеорологических явлений, обнаружения очагов лесных пожаров, картографирования и обновления топографических карт.

Помимо традиционного для аппаратов серии «Канопус-В» моноблока целевой аппаратуры, включающего в себя панхроматическую и многозональную съемочные системы, космический аппарат «Канопус-В-ИК» оснащен многоканальным радиометром среднего и дальнего инфракрасных диапазонов. Аппаратура «Канопус-В-ИК» позволяет получать качественно новую информацию за счет более высокого пространственного разрешения

и широкой полосы захвата— 2000 км. Но главным достоинством прибора является способность обнаруживать малоразмерные очаги пожара площадью всего 25 м², что значительно упрощает борьбу с ними.

Космический комплекс «Метеор-3М». В состав орбитальной части космического комплекса «Метеор-3М» входят три космических аппарата: «Метеор-М» №1, «Метеор-М» №2, «Метеор-М» №2-2.

Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» предназначен для получения космической информации дистанционного зондирования Земли в интересах оперативной метеорологии, гидрологии, агрометеорологии, мониторинга климата и окружающей среды, мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, проведения научных гелиогеофизических исследований, изучения состояния атмосферы в планетарном масштабе. Также одной из задач орбитального комплекса является сбор и передача гидрометеорологических данных от автоматических измерительных платформ различных типов (наземных, ледовых, дрейфующих) [3].

Целевая информация с космических аппаратов «Метеор-М» успешно используется для различных видов мониторинга, в том числе мониторинга сельскохозяйственного землепользования, лесопользования, лесных пожаров, паводковой ситуации, снежного покрова, ледовой обстановки зарождения тайфунов, вулканической деятельности, обзорных наблюдений за облачностью по всей территории России и миру.

Основными преимуществами комплекса являются многофункциональность космического аппарата для решения гидрометеорологических, океанографических и гелиогеофизических задач, непрерывный процесс съемки сканирующим устройством малого разрешения, применение для прогнозирования стихийных бедствий.

Бортовой информационный комплекс включает в себя:

- многоканальное сканирующее устройство малого разрешения, предназначенное для проведения широкозахватной трассовой съемки облачного покрова и подстилающей поверхности (в том числе, ледового покрова), позволяющее проводить многоканальную съемку на полосе захвата до 2800-2850 км с пространственным разрешением 1000 м;

- комплекс многоканальной спутниковой съемки среднего разрешения для получения многозональных изображений подстилающей поверхности в оптическом диапазоне на полосе 900 км с пространственным разрешением 60 или 120 м;

- бортовой радиолокационный комплекс «Северянин-М» для сканирования поверхности Земли в радиодиапазоне в целях обеспечения безопасности мореплавания, исследования ледового покрова, мониторинга наводнений, гидрометеорологического обеспечения сельскохозяйственного производства и т.д.;

- радиометрическую аппаратуру, применяемую для температурно-влажностного зондирования атмосферы в СВЧ-диапазоне (применяется для раннего обнаружения тайфунов и ураганов, составления вертикальных профилей температуры и влажности атмосферы и почвы);

- инфракрасный Фурье-спектрометр, установленный на космическом аппарате «Метеор-М» №2, предназначенный для получения профилей температуры и влажности в тропосфере и нижней стратосфере, а также для определения общего содержания озона в озоновом слое Земли;

- гелиогеофизический аппаратный комплекс, предназначенный для осуществления контроля и прогнозирования радиационной обстановки, состояния магнитосферы, ионосферы и верхней атмосферы.

Космический комплекс «Электро-Л». Космические аппараты «Электро-Л» («Электро-Л» №1, «Электро-Л» №2, «Электро-Л» №3), входящие в состав геостационарной гидрометеорологической системы «Электро-Л» предназначены для получения и предварительной обработки многоспектральных снимков облачности и подстилающей

земной поверхности в пределах всего наблюдаемого диска Земли, получения гелиогеофизических данных на высоте орбиты, выполнения телекоммуникационных функций по распространению, обмену гидрометеорологическими гелиофизическими данными, ретрансляции сигналов от аварийных радиобуев системы КОСПАС-САРСАТ.

Основными преимуществами космического комплекса «Электро-Л» являются: многофункциональное аппаратное и программное обеспечение, проведение предварительной обработки снимков на борту космического аппарата, рекордное разрешение снимков Земли в 121 мегапиксель (пространственное разрешение 1 км/пиксель).

Основной областью применения космических аппаратов системы «Электро-Л» является обеспечение Росгидромета и других ведомств оперативной информацией в целях проведения синоптического анализа и прогноза погоды в глобальном масштабе, анализа и прогноза состояния акваторий морей и океанов, анализа пространственно-временного изменения состояния снежного покрова, влагозапасов, мониторинга климата и глобальных изменений, обеспечения экологического контроля и охраны окружающей среды, контроля чрезвычайных ситуаций.

Космический аппарат «Электро-Л» построен по модульному принципу и состоит из:

- космической платформы «Навигатор», обеспечивающей функционирование целевой аппаратуры и космического аппарата в целом;
- многозонального сканирующего устройства гидрометеорологического обеспечения, предназначенного для получения многоспектральных изображений облачности и подстилающей поверхности в пределах видимого диска Земли во всем диапазоне наблюдения в видимом и в ИК-диапазоне;
- гелиогеофизического аппаратного комплекса, предназначенного для глобального мониторинга гелиогеофизических параметров с целью контроля и прогнозирования солнечной активности, контроля и прогнозирования радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве, осуществления контроля и прогнозирования состояния геомагнитного поля, диагностики и контроля состояния естественных и модифицированных магнитосферы, ионосферы и верхней атмосферы;
- бортовой системы сбора данных, обеспечивающей сбор целевой и служебной информации, формирование единого информационного потока данных для передачи по радиолинии;
- бортового радиотехнического комплекса, осуществляющего передачу и обмен гидрометеорологических данных между станциями космической связи, а также ретрансляцию сигналов от аварийных радиобуев на станции приема информации международной космической системы поиска и спасения КОСПАС-САРСАТ.

Гидрометеорологический комплекс «Арктика-М». Создание спутниковых систем на высокоэллиптических орбитах обусловлено необходимостью информационного обеспечения при решении задач оперативной метеорологии, гидрологии, агрометеорологии, мониторинга климата и окружающей среды в арктическом регионе. Два космических аппарата «Арктика-М» в составе высокоэллиптической гидрометеорологической космической системы (ВКГС) «Арктика-М» обеспечивают круглосуточный всепогодный мониторинг поверхности Земли и морей Северного Ледовитого океана. 29 февраля 2021 года был выведен на орбиту первый гидрометеорологический спутник «Арктика-М», а 22 марта опубликованы первые снимки, полученные с него. Аппарат находится на высокоэллиптической орбите с высотой апогея 37 400 — 39 800 км, перигея 600 — 3 000 км соответственно.

Основными задачами гидрометеорологического комплекса «Арктика-М» является получение и передача на рабочем участке орбиты многозональных снимков облачности и подстилающей поверхности Земли, получение и передача на рабочем участке орбиты гелиогеофизических данных подразделениям Росгидромета, ретрансляция метеоинформации с платформ сбора данных и сигналов от аварийных радиобуев системы КОСПАС-САРСАТ.

Космические аппараты «Арктика-М» базируются на унифицированной платформе «Навигатор» и имеют практически идентичную целевую аппаратуру с космическим аппаратом «Электро-Л». Главным отличием является способ решения целевой задачи – «Электро-Л» проводит регулярную (с периодичностью 15-30 минут) съёмку Земли с геостационарной орбиты, а «Арктика-М» проводит аналогичную съёмку арктического региона Земли, недоступного для наблюдения с геостационарных космических аппаратов «Электро-Л», находясь на рабочем участке высокоэллиптической орбиты типа «Молния» в районе апогея.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дворкин Б.А., Дудкин С. А. Новейшие и перспективные спутники дистанционного зондирования Земли // Геоматика. – 2013 г. – № 2. – С. 16-21.
2. Горбунов А.В. Космический комплекс оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций «Канопус-В» / А.В. Горбунов, И.Н. Слободской // Геоматика. 2010 г. – № 1 – С. 30-33.
3. Горбунов А.В. Состояние перспективы развития космических комплексов «Канопус-В» и «Метеор-М»/ А.В. Горбунов, И.Ю. Ильина, В.К. Саульский // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. – 2015 г., том 2, выпуск 4 – С. 14–19.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Чжан-Энь-Хын Д.С., Веселов В.С., Глущенко Д.Е., Жалнин А.Ю., Головин С.С.

Военный инновационный технополис «ЭРА», Анапа

era_lab13@mil.ru

Аннотация. В статье рассматривается общая характеристика систем дистанционного зондирования Земли. Приводятся сведения о методах и технологиях, используемых при наблюдения Земли из космоса.

Ключевые слова. Дистанционное зондирование Земли, методы дистанционного зондирования Земли, космический аппарат, искусственный спутник Земли, бортовая аппаратура, электромагнитный спектр.

MODERN METHODS OF REMOTE SENSING OF THE EARTH

Chzhan-En-Khyn D.S., Veselov V.S., Glushenko D.E., Zalnin A.Y., Golovin S.S.

Military innovative technopolis "ERA", Anapa

Annotation. The article discusses the general characteristics of Earth remote sensing systems. Information is provided on the methods and technologies used to observe the Earth from space.

Keywords. Remote sensing of the Earth, methods of remote sensing of the Earth, spacecraft, artificial Earth satellite, on-board equipment, electromagnetic spectrum.

Общая характеристика дистанционного зондирования Земли. Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) – это получение информации о поверхности Земли и объектах на ней, атмосфере, океане, верхнем слое земной коры бесконтактными методами, при которых регистрирующий прибор удален от объекта исследований на значительное расстояние. Общей физической основой дистанционного зондирования является функциональная зависимость между зарегистрированными параметрами

собственного или отраженного излучения объекта и его биогеофизическими характеристиками, и пространственным положением [1].

Известно, что в основе всех методов ДЗЗ лежит требование регистрации и измерения потоков собственного (теплового) или отраженного электромагнитного излучения от интересующих природных и хозяйственных объектов, расположенных на земной поверхности, несколько заглубленных под ней или существующих в атмосфере нашей планеты [1]. Таким образом, схему ДЗЗ можно представить в следующем виде (рисунок 1)

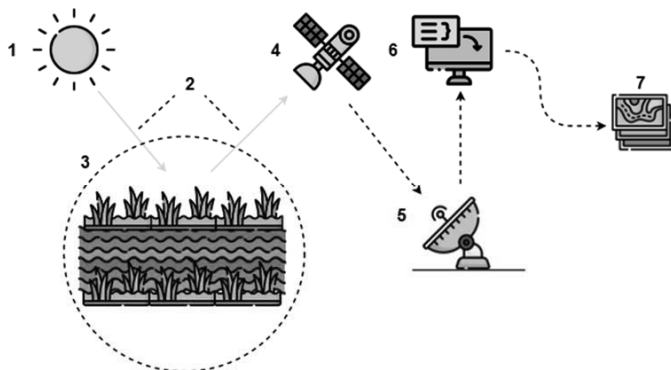


Рисунок 1 – Процесс дистанционного зондирования Земли

Процесс ДЗЗ сводится к последовательным этапам [2]:

1. Источник электромагнитной (ЭМ) энергии (в большинстве случаев это Солнце, однако есть и другие варианты: собственное тепловое излучение Земли или микроволновое излучения, которое испускает сам спутник).
2. Прохождение ЭМ энергии через атмосферу (пока излучение проходит через среду, оно рассеивается, поглощается и претерпевает другие изменения)
3. Взаимодействие с объектом зондирования (поглощение или отражение ЭМ волн).
4. Фиксирование ЭМ энергии датчиком, установленным на платформе (спутнике).
5. Передача данных ДЗЗ на приёмную станцию, и первичная обработка этих данных.
6. Интерпретация и анализ данных в специальном программном обеспечении.
7. Применение результатов анализа для решения стоящих задач.

По результатам наблюдений и измерений, передаваемым в виде поступающей КИ ДЗЗ на наземные пункты ее приема, обнаруживаются, отождествляются и конкретизируются (классифицируются) типы и фиксируется состояние природохозяйственных объектов и процессов, важных для проведения эффективной природоохранной деятельности, прогнозирования погоды и опасных гидрометеорологических явлений, оценки масштабов чрезвычайных ситуаций (ЧС) с целью принятия адекватных мер по уменьшению их последствий и минимизации ущерба [1, 3].

По виду облучения используемые в ДЗЗ сенсоры можно разделить на пассивные и активные (рисунок 2). Пассивные сенсоры фиксируют естественное излучение, (солнечное, либо тепловое), исходящее от объекта. Активные сенсоры освещают объект и фиксируют его излучение.

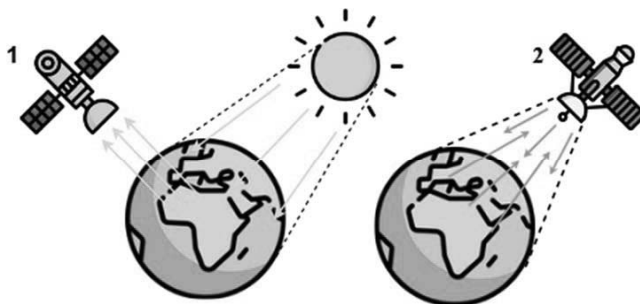


Рисунок 2 – Виды ДЗЗ (1 – пассивное, 2 – активное)

ДЗЗ в основном осуществляется в видимой области спектра, что соответствует современному уровню развития высокоточных бортовых приборов ДЗЗ.

Вместе с тем, уже в настоящее время широко применяются и развиваются опережающими темпами методы и аппаратура в радиодиапазоне: радиолокаторы с синтезированной антенной, скаттерометры, радиовысотометры и другие приборы активного сверхвысокочастотного зондирования (СВЧ–радиометры), а также пассивные микроволновые многоканальные радиометры инфракрасной (ИК) области спектра (ИК-радиометры и спектрометры, Фурье спектрометры, абсорбционные спектрометры и т. д.). Постепенно возрастает разнообразие новых приборов ДЗЗ для наблюдения в ультрафиолетовой (УФ) области спектра и для реализации новых технологий ДЗЗ (новые методы лимбового и затменного зондирования, многополяризационные и многоугловые методы, двух- и многопозиционная радиолокация, формирование сверхбольшой апертуры для СВЧ зондирования на основе кластерных систем спутников и т. д.) [1,3].

Области применения дистанционного зондирования Земли. В соответствии с составом и характеристиками задач ДЗЗ можно выделить следующие основные области применения КИ ДЗЗ [1, 3, 4]:

- гидрометеорология, для решения конкретных задач которой необходимо высокочастотное получение в глобальном масштабе космических данных об облачном и снежно-ледовом покровах, трехмерных полях температуры и влагосодержания атмосферы, трехмерном поле ветра и других физико-химических параметрах поверхности Земли, зонах и интенсивности осадков, крупномасштабных и опасных процессах в атмосфере и на поверхности Земли (циклоны, антициклоны, тропические штормы и ураганы и др.), всех составляющих элементов для изучения эволюции климата (альбеда Земли, малые газы, аэрозоль, вариации солнечного излучения и т. д.);

- экологический мониторинг на глобальном, региональном и локальном уровнях за распространением загрязнений во всех трех основных природных сферах (атмосфера, поверхность суши, водная среда), развитием эрозийных и других процессов деградации природной среды; обнаружение факта и адресная локализация крупных промышленных и иных источников загрязнения окружающей среды; контроль трансграничного переноса загрязнений;

- мониторинг чрезвычайных ситуаций, включая обнаружение факта ЧС, оценку масштабов и характера разрушений; прогнозирование землетрясений и других разрушительных природных явлений; оповещение о цунами, наводнениях, селях, химическом и ином заражении местности, лесных пожарах, крупных разливах нефтепродуктов.

- создание и обновление широкого спектра общегеографических и тематических картографических материалов (топографические карты, карты в цифровом виде,

геоинформационные системы (ГИС) разного назначения, карты сейсмичности, карты лесных массивов);

– информационное обеспечение хозяйственной деятельности в ведущих отраслях социальной экономики, связанных с использованием и переработкой возобновляемых и невозобновляемых природных ресурсов, включая сельское, рыбное, лесное, водное хозяйство, геологию и разработку месторождений полезных ископаемых.

– океанография и океанология (зондирование водных поверхностей с целью определения их температуры, солености, цветности, прозрачности, биопродуктивности, загрязнений, течений, ледовой обстановки, волнения, приводного ветра, а также изучение шельфа);

– фундаментальное изучение закономерностей и тенденций изменения глобальных

и крупнейших региональных процессов в атмосфере и других оболочках нашей планеты (гидросфера, криосфера, биосфера, околоземный космос и магнитосфера).

Методы дистанционного зондирования Земли. Существует различные методы ДЗЗ, в зависимости от используемой съемочной аппаратуры: фотосъемки, тепловые съемки, сканерные съемки, радарные съемки.

Метод фотосъемки

Фотографические снимки поверхности Земли получают с пилотируемых кораблей и орбитальных станций или с автоматических спутников. Отличительной чертой данного метода является высокая степень обзорности, охват одним снимком больших территорий. В зависимости от типа применяемой аппаратуры и фотопленок, фотографирование может производиться во всем видимом диапазоне ЭМ спектра, в отдельных его зонах, а также в ближнем ИК диапазоне (рисунок 3).



Рисунок 3 – Часть ЭМ спектра, применяемая в ДЗЗ

На масштаб получаемых снимков непосредственно влияют высота, с которой производится съемка, и значение фокусного расстояния объектива. Изменение оптической оси КА дает возможность получать не только плановые, но и перспективные снимки интересующей поверхности Земли.

Стремительное развитие технологий дало возможность использовать фотоаппаратуру с высоким разрешением, которая позволяет получать космические снимки с перекрытием 60% и более. Однако фотографический метод имеет существенный недостаток, который заключается в необходимости возвращения пленки со снимками обратно на Землю. Также необходимо помнить, что запас пленки на борту ограничен [1, 3]. Несмотря на это, данный метод является самым информативным.

Метод тепловой съемки

Особенность метода ИК, или тепловой съемки заключается в выявлении тепловых аномалий. Это достигается благодаря регистрации теплового излучения Земных объектов, обусловленного солнечным излучением или эндогенным (внутренним) теплом. Температурные неоднородности поверхности Земли возникают в результате неодинакового нагрева различных ее участков.

Солнечное и эндогенное тепло нагревает геологические объекты по-разному в зависимости от литологических свойств пород, тепловой инерции, влажности, альбедо и многих других причин. ИК-излучение, проходя через атмосферу, избирательно

поглощается, в связи с чем тепловую съемку можно вести только в зоне так называемых «окоп прозрачности» – частот пропускания ИК-лучей [1, 3].

Тепловая съемка широко применяется в геологии. На ИК-снимках, полученных с искусственных спутников Земли (ИСЗ), четко вырисовывается береговая линия, гидрографическая сеть, ледовая обстановка, тепловые неоднородности водной среды, вулканическая деятельность и т.п. ИК-съемку можно проводить в ночное время. ИК-снимки используются для составления тепловых карт Земли, особенно ценна информация, полученная в районах активной вулканической деятельности [1, 3, 4].

Метод сканирования

Для выполнения ДЗЗ интересующего объекта методом сканирования применяются многоспектральные оптико-механические системы – сканеры, устанавливаемые на ИСЗ различного назначения. С использованием сканеров открывается возможность формирования изображения, которое состоит из нескольких отдельных снимков, получаемых последовательно.

Сканирование – это процесс получения развертки изображений с применением сканирующего элемента, которым выступает сканер. Сканер поэлементно фиксирует местность поперек движения носителя и отправляет лучистый поток в объектив, и после него на точечный датчик, который видоизменяет световой сигнал в электрический. Единичные сигналы фиксируются, накапливаются и отправляются на приемные станции по каналам связи [1, 3].

Упорядоченный пакет яркостных данных, переданных по радиоканалам на Землю, называют сканерным изображением. Эти данные фиксируются на магнитную ленту. Далее их можно преобразовать в кадровую форму [1, 3]. Сканерные изображения можно получить во всех спектральных диапазонах, но особенно эффективным является видимый и ИК-диапазоны.

Основными характеристиками сканерных аппаратов являются угол сканирования и мгновенный угол зрения. От значения угла зрения зависит не только значение ширины снимаемой полосы, но и разрешение получаемых снимков. Относительно угла сканирования можно разделить сканеры на две группы: точные и обзорные. Точные сканеры имеют угол сканирования, уменьшенный до $\pm 5^\circ$. Значение угла сканирования у обзорных сканеров увеличивают до $\pm 50^\circ$. Величина разрешения обратно пропорциональна ширине снимаемой полосы [1, 3, 4].

Метод радарной съемки

Радарная съемка, которая также имеет название «радиолокационная», выполняется при условии, если непосредственное наблюдение интересующего объекта затруднено. Причиной затруднения проведения наблюдения может быть туман или облачность (рисунок 4).

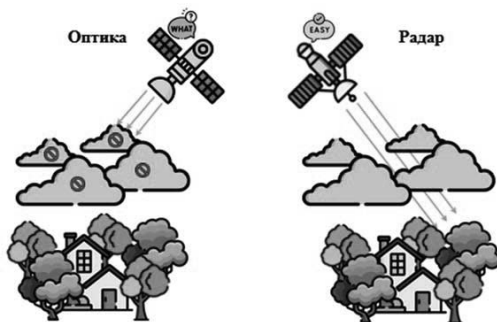


Рисунок 4 – Особенности оптической и радарной съемки

Для радарной съемки обычно используются радиолокаторы бокового обзора (ЛБО), установленные на самолетах и ИСЗ. С помощью ЛБО радиолокационная съемка осуществляется в радиодиапазоне электромагнитного спектра. Сущность данного метода состоит в послышке радиосигнала, вырабатываемого специальным генератором. Радиосигнал отражается по нормали от изучаемого объекта и фиксируется на приемнике, который устанавливается на борту носителя. В зависимости от того, какое расстояние между приемником и исследуемым объектом, меняется время возвращения радиосигнала обратно в приемник. То есть, чем больше расстояние, тем больше требуется времени на прохождение отражаемого сигнала до его фиксации электронно-лучевой трубкой, совмещенной со специальной камерой [1, 3, 4].

Достоинством и отличительной чертой радарной съемки является возможность ее проведения в ночное время, ведь данная разновидность съемок относится к активному виду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владимирова В.М., Дмитриев Д.Д., Дубровская О.А. [и др]. Дистанционное зондирование Земли: учебное пособие. – Красноярск: СФУ, – 2017 г. – С. 6-67.
2. Дистанционное зондирование Земли из космоса. [Электронный ресурс] – URL: <https://paititi.info/ru/> (дата обращения 10.09.23 г.).
3. Воробьева А.А. Дистанционное зондирование Земли. Учебно-методическое пособие. – СПб.: СПбУ ИТМО, – 2012 г. – С. 9-50.
4. Российские космические системы. [Электронный ресурс] – URL: <https://russianspacesystems.ru/> (дата обращения 12.09.23 г.).

ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВ В МОНИТОРИНГЕ И ПРЕДОТВРАЩЕНИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Жданов И.А., Глуховской И.И., Головин С.С.
Военный инновационный технополис «ЭРА», Анапа
era_lab13@mil.ru

Аннотация. В статье рассматривается важность и способы применения спутников в мониторинге стихийных бедствий.

Ключевые слова. Стихийные бедствия, спутники, дистанционное зондирование земли, пассивное зондирование земли, активное зондирование земли, радиометрическое зондирование.

APPLICATION OF SATELLITES IN MONITORING AND PREVENTING THE CONSEQUENCES OF NATURAL DISASTERS

Zhdanov I.A., Glukhovskoy I.I., Golovin S.S.
Military innovative technopolis "ERA", Anapa

Annotation. The article discusses the importance and ways of using satellites in monitoring natural disasters.

Keywords. Natural disasters, satellites, remote sensing of the earth, passive sensing of the earth, active sensing of the earth, radiometric sensing.

Выше 12 000 стихийных бедствий, зарегистрированных в мире за период с 1970 года по 2010 год, унесли жизни более 3,3 миллионов человек и нанесли ущерб, оценивающийся на

уровне, превышающем 2,7 триллиона долларов США [1]. Девяносто процентов этих стихийных бедствий, более 60% смертей от несчастных случаев и 70% экономического ущерба приходится на такие погодные, климатические и связанные с водной стихией факторы, как засухи, наводнения, ураганы и тропические циклоны, а также на эпидемии заболеваний и нашествия насекомых, непосредственно связанные с метеорологическими и гидрологическими условиями. С изменением климата названные экстремальные явления учащаются, превращаясь в "определяющий вызов нашего времени", и эта тенденция сохраняется, если оставить ее без внимания. Существует большое количество достоверных научных доказательств того, что изменение климата будет угрожать не только экономическому росту, долгосрочному процветанию и социальному благополучию практически всех стран, но и самому выживанию наиболее уязвимых групп населения.

Технологии и инфраструктура наблюдения и мониторинга играют важную роль в понимании и решении проблемы изменения климата и его последствий. На сегодняшний день основным источником информации о земной поверхности и атмосфере являются прикладные системы, использующие радиотехнологии, такие как аппаратура дистанционного зондирования, установленная на спутниках и на поверхности земли (например, метеорологические радары). Эта информация используется для прогнозирования и мониторинга климата, погоды и качества воды, предупреждения о стихийных бедствиях и снижения их опасности, контролем превышения некоторыми гидрометеорологическими величинами критических значений [2], а также для оказания помощи в случае бедствий и планирования предупредительных мер по адаптации к негативным последствиям изменения климата и смягчению этих последствий.

В последние годы был сделан значительный прогресс в анализе и прогнозировании погоды и климата, а также в предупреждении о опасных погодных явлениях, таких как ливни, бури и циклоны, которые оказывают воздействие на население и экономику. Этот прогресс в значительной степени связан с использованием данных, полученных из космоса, и их включением в цифровые модели.

Исследования, проведенные в Европе, подтвердили, что спутники с несколькими датчиками дистанционного зондирования (пассивными и активными) существенно способствуют работе системы числового прогнозирования погоды. Они сокращают количество ошибок в круглосуточных прогнозах на 25%, поскольку результаты всех наблюдений включаются в модели в режиме реального времени.

Дистанционное зондирование — это метод измерения свойств объектов на земной поверхности, в котором используются данные, полученные с помощью воздушных летательных аппаратов и искусственных спутников Земли [3]. Существует два класса широко используемых бортовых устройств дистанционного зондирования – активные и пассивные, которые работают в спутниковой службе исследования Земли, в настоящее время только на негеостационарных спутниках.

Пассивное зондирование заключается в использовании только одних приемников, без передатчиков. Радиация, которую эти приемники улавливают, обычно имеет низкие мощности и естественное происхождение. Эта радиация содержит важную информацию о физических процессах, которые исследуются. Интерес представляют пиковые значения радиации, которые указывают на наличие конкретных химических веществ или отсутствие определенных частот, что указывает на поглощение частотных сигналов в атмосферных газах. Уровень сигнала или его отсутствие на определенных частотах используется для определения наличия конкретных газов (например, влаги и загрязняющих веществ) и их количества и распределения. Разнообразная информация об окружающей среде может быть обнаружена

с использованием пассивных датчиков, которые работают в определенных частотных диапазонах, определяемых физическими свойствами исследуемого вещества, которые проявляются только в этих диапазонах частот. Уровень сигнала на определенной частоте может зависеть от нескольких факторов, поэтому необходимо использование нескольких частот для определения многих неизвестных параметров. Использование нескольких частот является основным методом измерения различных характеристик атмосферы и поверхности Земли.

Активное зондирование отличается от пассивного зондирования тем, что в нем используются и передатчики, и приемники, размещенные на борту спутника. Как правило, передача сигнала и прием отраженного сигнала осуществляются с одного и того же спутника, но иногда это не так. Спектр использования активного зондирования включает в себя измерение характеристик поверхности моря, таких как морские волны и ветры, и определение плотности растительности во влажном лесу, но не ограничивается только этими параметрами.

Пассивная микроволновая радиометрия имеет огромное значение для наблюдения за Землей. В рамках Системы спутниковой информации Земли используются пассивные датчики, которые принимают и измеряют естественное излучение, образующееся на поверхности Земли и в ее атмосфере. Частота и интенсивность этого излучения определяют различные геофизические параметры атмосферы и поверхности (суши, моря и ледяного покрова), которые характеризуют состояние системы Земля-атмосфера-океаны, а также ее устройство:

- параметры поверхности Земли, например, влажность почвы, температура поверхности моря, давление океанского ветра, распространение и возраст льда, снежный покров, дождевые осадки на суше и т. д.
- трехмерные атмосферные параметры (в нижней, средней и верхней атмосфере), например, профили температуры, содержание водяного пара и профили распределения концентрации газовых примесей, обладающих высокой радиоактивностью и химической активностью (например, озон, закись азота, хлор).

Методы микроволнового зондирования позволяют наблюдать поверхность и атмосферу Земли с околоземной орбиты, даже если на ней есть облака. Облака обычно прозрачны

для частот ниже 100 ГГц, и поэтому методы микроволнового зондирования могут использоваться для наблюдения Земли при любой погоде. Это особенно важно, учитывая, что более 60% поверхности Земли обычно покрыто облаками. Помимо возможности наблюдения при любой погоде, пассивные микроволновые измерения также могут проводиться в любое время дня, так как они не зависят от дневного света. Пассивное микроволновое зондирование является эффективным инструментом, который широко используется в метеорологии, климатологии и экологии для мониторинга и исследования Земли. Оно имеет как практическое, так и научное применение, и важно иметь надежное повторяющееся глобальное покрытие для различных задач.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Стихийные бедствия и техногенные катастрофы: Превентивные меры /The World Bank and The United Nations ; пер. с англ. – М.: Альпина Паблишер, 2011 г. – 51 с.
2. Русин И.Н. Стихийные бедствия и возможности их прогноза. Учебное пособие. – СПб., РГГМУ, 2003 г. – 103 с.
3. Robert A. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. 3rd Edition, 2006 г. ISBN: 978-0123694072 – 2 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МОНИТОРИНГЕ И ПРЕДОТВРАЩЕНИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Руднев И.А., Чжан-Энь-Хын Д.С., Глуховской И.И.
Военный инновационный технополис «ЭРА», Анапа
era_lab13@mil.ru

Аннотация. В статье рассматривается возможность применения геоинформационных технологий в мониторинге и предотвращении лесных пожаров на примере ГИС ИСДМ РОСЛЕСХОЗ.

Ключевые слова. Лесные пожары, геоинформационные системы, ГИС, ИСДМ-РОСЛЕСХОЗ.

APPLICATION OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES IN MONITORING AND PREVENTION OF FOREST FIRES

Rudnev Igor Alekseevich, Chzhann-En-Khyn Dmitry Sergeevich, Glukhovskoy Ivan Ivanovich
Military innovative technopolis «ERA». Anapa

Annotation. The article considers the possibility of using geoinformation technologies in monitoring and prevention of forest fires on the example of GIS ISDM ROSLESKHOZ.

Keywords. Forest fires, geoinformation systems, GIS, ISDM-ROSLESKHOZ.

На территории Российской Федерации ежегодно возникает порядка 40 тыс. лесных пожаров на площади до 10 млн. гектаров [1]. Подобные случаи приводят к уничтожению государственных лесных фондов, загрязнению атмосферы, гибели людей. Кроме того, в тяжелых случаях чрезвычайной ситуации время для принятия решений ограничено и составляет от нескольких минут и до нескольких дней. В условиях ограниченных временных ресурсов в целях минимизации экологических, экономических и людских жертв для опережения и мониторинга лесных пожаров применяются современные технологии, в число которых входят программные средства, основанные на базе географических информационных систем (ГИС).

Лесные пожары возникают и распространяются под влиянием различных факторов. Ситуация усугубляется во время взаимного усиления факторов, которые и формируют условия возгорания лесов. Геоинформационные системы являются эффективным средством выделения наиболее важных факторов, влияющих на пожары. ГИС-технологии эффективны для построения необходимых долгосрочных моделей пожарной безопасности. С учетом размеров опасных зон распространения огня можно при использовании геоинформационных систем определить участки потенциальной опасности.

Функциональная структура ГИС мониторинга лесных пожаров определяется перечнем задач учета, планирования, оперативного регулирования, контроля и анализа, решаемых в рамках общей системы управления мероприятиями по защите населения, объектов и территорий от ландшафтных пожаров. Она включает в себя пять подсистем [2]:

1. Оценки и прогноза пожарной опасности;
2. Мониторинга процессов возникновения и развития лесных пожаров;
3. Мониторинга процессов предупреждения, обнаружения и ликвидации лесных пожаров;
4. Интеллектуальной поддержки управленческих решений;
5. Оценки последствий лесных пожаров и результатов функционирования системы защиты от лесных пожаров.

Для решения стоящих перед ней задач ГИС мониторинга лесных пожаров взаимодействует с системами дистанционного зондирования, обеспечивающими проведение

измерений земной поверхности с использованием сенсоров на борту искусственных спутников земли.

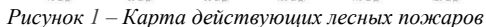
Анализ, мониторинг и моделирование производится на карте области масштаба ГИС. В программном обеспечении за основу берутся исходные картографические материалы в виде цифровой топографической карты масштаба 1:1000000, а также природно-хозяйственные карты, карты-схемы лесхозов. Из всего массива векторных данных цифровой топокарты в слое остаются границы субъектов РФ, необходимые элементы гидрографии, дорожная сеть и населенные пункты. Встроенный функционал ГИС позволяет определять расстояние от очагов возгорания до близлежащих населенных пунктов, время, а также обеспечивает возможность наложения одного тематического слоя на другой с целью принятия объективного решения об опасности пожара, эвакуации и привлечении дополнительных ресурсов для тушения.

Стоит отметить, что ГИС является средством, помогающим в ускоренном и эффективном порядке принять решение, а не инструментом выдачи решения. ГИС позволяет сочетать разного вида информацию, например, бумажные карты, аэро- и космофотоснимки [3].

Одним из примеров геоинформационных систем мониторинга лесных пожаров является ГИС ИСДМ-РОСЛЕСХОЗ.

Особенностью данной ГИС является то, что в наборе используется оптимальное количество информации для оперативной оценки пожарной опасности в России. В ИСДМ-РОСЛЕСХОЗ используется автоматизированная система оценки пройденных пожаром площадей и степени повреждения огнем лесных массивов, использующая для работы спутниковые данные среднего и низкого пространственного разрешения.

Структурно по пространственному охвату лесного фонда ГИС делятся на системы федерального, окружного, регионального и локального уровня. На федеральном уровне осуществляется ежедневный сбор информации для формирования в автоматизированном режиме материала, который представляется на WEB-серверах ИСДМ-РОСЛЕСХОЗ. ГИС-сервер обращается с запросом к единой базе данных с целью получения нужных параметров для построения тематической карты, после чего выполняется анализ пространственных данных, подготовка типовых карт на основе шаблонов и выгрузка готовых карт на WEB-серверы (рисунок 1) [4].



Таким образом, ГИС-технологии позволяют:

- выявлять пожароопасные участки местности;
- сохранять жизнь населению;
- рассчитать пути эвакуации.

1. Доррер Г.А. Прогнозирование динамики распространения лесных пожаров в России // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2010 г. С. 14-17.

2. Бокадаров С.А. Применение ГИС-технологий в целях оперативного обнаружения лесных пожаров и слежения за лесопожарной обстановкой // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2015 г. С. 164-167.

3. Некрасова Н.М. Работа системы мониторинга и прогнозирования ЧС в пожароопасный период с применением специализированного программного комплекса на базе геоинформационных технологий // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Круглый стол. 17 сентября 2015 г. Доклады и выступления. – 2015 г. С. 263-269.

4. Геоинформационная система мониторинга лесных пожаров ГИС ИСДМ-ПОСЛЕСХОЗ. [Электронный ресурс] – URL: <http://cepl.rssi.ru/gis-of-forest-fires-monitoring> (дата обращения: 21.08.2023 г.).

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Жалнин А.Ю., Чжан-Энь-Хын Д.С., Семёнов В.А.
Военный инновационный технополис «ЭРА», Анапа
era_lab13@mil.ru

Аннотация. Приводится обзор существующих средств контроля метеорологических характеристик в составе автоматизированных систем метеорологического мониторинга.

Ключевые слова. Информационно-измерительная система, атмосфера, датчики, аэродром, метеорологическая станция.

USE OF AUTOMATED INFORMATION – MEASURING SYSTEMS METEOROLOGICAL MONITORING

Zhalnin A.Y., Chzhan-En-Khyn D.S., Semyonov V.A.
Military innovative technopolis "ERA", Anapa

Annotation. An overview of the existing means of monitoring meteorological characteristics as part of automated meteorological monitoring systems is given.

Keywords. Information-measuring system, atmosphere, sensors, airfield, meteorological station.

Глобальный мониторинг атмосферы осуществляется с помощью спутниковых наблюдений и метеорологических постов, которые составляют государственные и мировые измерительные сети. Однако Россия отстает в создании современных систем и измерительной аппаратуры для мониторинга окружающей среды, включая приземный слой атмосферы и атмосферный пограничный слой (АПС). У метеорологических постов Росгидромета есть существенные недостатки, такие как редкая сеть измерительных постов, низкая периодичность измерений и использование устаревших приборов. Ограниченность информации, получаемой такими системами, не позволяет осуществлять оперативный контроль метеорологической обстановки.

Существующее относительно небольшое число автоматических метеостанций нового поколения оснащено зарубежными приборами, стоимость которых высока, и есть проблемы с их техническим обслуживанием и адаптацией в существующие сети. В результате, их широкое использование в составе сети постов Росгидромета и в специализированных измерительных комплексах затруднено. В связи с недостатком объема и качества метеорологической информации стали активно разрабатывать и внедрять специализированные автоматические системы метеорологического мониторинга.

Для обеспечения метеорологической информацией Росгидромета и подготовки прогнозов погоды и климатических характеристик была создана автоматизированная информационно-измерительная система (АИИС) «Погода» [1]. Она предназначена для автоматического измерения метеорологических параметров, таких как температура воздуха, скорость и направление ветра, относительная влажность воздуха, атмосферное давление, количество осадков, температура поверхности почвы, температура почвы на глубине, высота облаков, метеорологическая дальность видимости, а также их обработки, отображения, регистрации и архивирования.

Принцип работы АИИС «Погода» основан на дистанционном измерении с использованием контактных датчиков метеорологических параметров и последующей передачи информации по кабельной линии связи в центральную систему для отображения на дисплее оператора. Конструктивно АИИС «Погода» построена по модульному принципу. Система имеет последовательные интерфейсы RS-232/485. Дистанция подключения датчиков при использовании модемов составляет до 10 км. В составе АИИС «Погода» использованы, преимущественно, датчики зарубежного производства (рисунок 1).

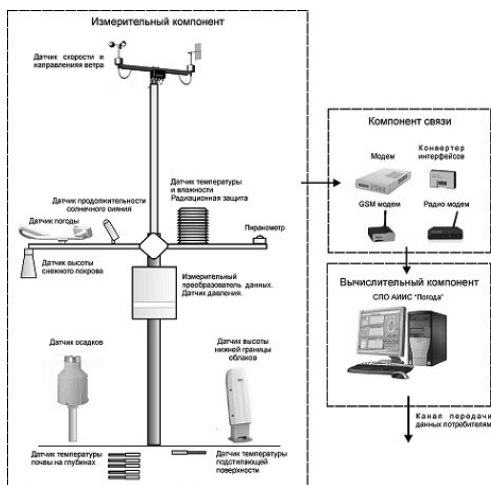


Рисунок 1 – Измерительный модуль АИС «Погода»

В настоящее время наблюдается активное развитие направления автоматизированных информационно-измерительных систем (АИИС) авиационного обеспечения [2]. Кроме стандартного комплекта измерительного оборудования, предназначенного для оснащения аэродромов, в состав АИИС включаются дополнительные датчики, которые способствуют повышению уровня автоматизации метеообеспечения (датчики яркости, гололёда, количества и интенсивности осадков, а также датчики, отслеживающие состояние взлётно-посадочной полосы и пеленгаторы грозových разрядов). Важными задачами, возлагаемыми на аэродромные АИИС, является автоматизация процесса режимных наблюдений и формирование климатических характеристик аэродрома. Это позволяет оперативно получать данные о текущих погодных условиях и климатических характеристиках, что является важным для безопасности полетов и планирования авиационных операций. При разработке аэродромных АИИС уделяется большое внимание надежности систем. Это не только обеспечение аппаратной надежности (использование различных схем резервирования датчиков и центральной системы, проведение тестирования), но и обеспечение достоверности и защиты информации. В связи с чувствительностью данных, собираемых и обрабатываемых АИИС, важно обеспечить защиту от несанкционированного доступа и возможных внешних угроз. Также стоит отметить, что с развитием технологий и внедрением искусственного интеллекта в авиационное обеспечение, АИИС становятся более эффективными и точными. Использование алгоритмов машинного обучения и анализа больших данных позволяет улучшить прогнозирование погоды и климатических условий, что в свою очередь способствует повышению безопасности и эффективности авиационных операций.

Метеорологическая информационно-измерительная система АИС-РФ предназначена для автоматического измерения метеорологических величин и их отображения на рабочем месте оператора [3]. Она играет важную роль в обеспечении безопасности воздушного движения на аэродроме, предоставляя метеорологическую информацию службе управления воздушным движением.

Система построена по модульному принципу, где измерительный модуль включает в себя метеорологические датчики, а также дополнительное и вспомогательное

оборудование, расположенное в основном пункте наблюдения, вдоль взлетно-посадочной полосы и на ближних приводных радиомаяках. Дистанция подключения датчиков и обмен информацией аналогичны системе АИИС «Погода». В АМИС-РФ также используются импортные метеодатчики.

Автоматизированная метеорологическая информационно – измерительная система АМИИС-Ямал-М по назначению, области применения и архитектуре аналогична АМИС-РФ. Однако, основным отличительным признаком системы АМИИС-Ямал-М является ее способность работать при низких отрицательных температурах, что делает ее подходящей для эксплуатации в условиях Сибири и Арктики.

Существует также комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция КРАМС-4. Эта система также имеет аналогичное назначение, область применения и архитектуру, как и предыдущие системы. В КРАМС-4 частично используются импортные метеодатчики (рисунок 2).

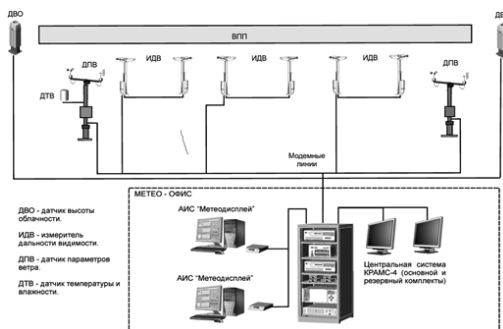


Рисунок 2 – Структурная схема станции КРАМС-4

Автоматизированные метеорологические станции «ЛОМО-Метео-01» и «ЛОМО-Метео-02» являются аэродромными АМИИС, разработанные для автоматического дистанционного измерения основных метеорологических параметров. Они осуществляют регистрацию результатов измерений, индикацию метеорологической информации и автоматическое формирование сводок погоды [4].

АИС «ЛОМО-Метео-03» предназначена для сбора, обработки и архивирования данных о состоянии приземного слоя атмосферы. В ее состав входят не только метеорологические измерительные датчики, но и различные газоанализаторы. Важно отметить, что в составе АИС «ЛОМО-Метео» количество импортных датчиков значительно сокращено. Однако используемые датчики основаны на комплектующих изделиях зарубежного производства (рисунок 3).



*Рисунок 3 – Автоматизированная метеорологическая аэродромная станция
«ЛОМО-Метео-01»*

Одной из главных задач, решаемых с помощью автоматических метеорологических комплексов, является обеспечение безопасности граждан и объектов критической инфраструктуры в условиях природных катаклизмов. Однако автоматические метеорологические комплексы нашли свое применение и в других отраслях, где возможны риски, связанные с погодными условиями. Например, автоматические метеостанции используются для оптимизации работы ветряных и солнечных электростанций, а также позволяют оперативно реагировать на возможные отключения электричества в условиях сильного ветра или грозы. В сельском хозяйстве данные, полученные от метеорологических комплексов, позволяют оптимизировать использование водных ресурсов, регулировать системы орошения для увеличения урожайности.

На сегодняшний день отечественные компании ведут разработки современных автоматических метеорологических станций, оснащенных отечественными датчиками, позволяющими получать более точные данные о погодных условиях. Кроме того, разработка новых технологий и материалов позволяет сократить размеры и вес метеорологических приборов, снизить их стоимость и повысить надежность. Одним из перспективных направлений развития является создание мобильных автоматических метеорологических комплексов, которые можно использовать для мониторинга погоды в реальном времени в отдаленных и малонаселенных районах или на объектах с непостоянной метеорологической обстановкой. Такие комплексы можно использовать не только в гражданской

сфере, но и в военной, например, для своевременного выявления опасных метеорологических условий на боевых учениях, полигоне или при выполнении боевых задач различными видами вооруженных сил.

Таким образом, автоматические метеорологические комплексы играют все более важную роль в различных сферах. Зависимость от зарубежных приборов снижается, благодаря развитию отечественной промышленности и увеличению количества отечественных производителей. Развитие новых технологий и материалов позволяет создавать более прочные и надежные приборы, что повышает их эффективность и область применения. Поэтому, несмотря на отставание России в этой области, ведутся активные усилия

для сокращения разрыва и достижения мировых стандартов в метеорологическом мониторинге.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Институт радарной метеорологии. ИРАМ. [Электронный ресурс] – URL: <http://www.iram.ru/> (дата обращения: 04.09.2023 г.).

2. Анискин Л.В., Персин С.М. Опыт внедрения и развития аэродромной метеорологической информационно-измерительной системы АМИС-РФ // Современные тенденции развития аэродромных метеорологических информационно-измерительных систем. – 2014 г.

3. Институт геофизического приборостроения [Электронный ресурс] – URL: <http://www.igptech.ru/> (дата обращения: 04.09.2023 г.).

4. ООО «ЛОМО МЕТЕО» [Электронный ресурс] – URL: <http://www.lomo-meteo.ru/> (дата обращения: 04.09.2023 г.).

МОНИТОРИНГ РАДИОАКТИВНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ИЗ КОСМОСА МЕТОДОМ ПОПРАВКИ ХИМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

Хурасев А.М., Ситниченко Е.В., Асмолов К.Г.
Военный инновационный технополис «ЭРА», Анапа
era_lab3@mil.ru

Аннотация. Дается характеристика мониторинга радиоактивного загрязнения методом поправки химического потенциала, описание спутников и приборов, при помощи которых можно осуществлять наблюдения, а также дается оценка перспектив использования данного метода с учетом имеющейся на данный момент сети спутников.

Ключевые слова. Метод поправки химического потенциала, Метеор-М, микроволновый сканер/зондировщик МТВЗА-ГЯ

MONITORING OF RADIOACTIVE CONTAMINATION FROM SPACE BY THE CHEMICAL POTENTIAL CORRECTION METHOD

Khurasev A.M., Sitnichenko E.V., Asmolv K.G.
¹Military innovative technopolis "ERA", Anapa

Annotation. The characteristic of the method of monitoring radioactive contamination by the method of chemical potential correction is given, the description of satellites and instruments with which observations can be carried out, and expressed regarding the prospects for using this method as well as an assessment

of the state of the currently available satellite network is given.

Keywords. Chemical potential correction method, Meteor-M, Microwave scanner/probe MTVZA-GYA

Введение. Способы наблюдения за различными изменениями в среде условно разделяют на контактные и дистанционные. В отличие от контактных дистанционные способы обеспечивают большую глобальность и оперативность наблюдения, что особенно важно

в современных условиях, когда приоритетным считается заблаговременность упреждения принятия необходимых мер. Кроме того, применение дистанционных способов является одним из путей повышения эффективности мониторинга радиоактивного загрязнения в условиях ресурсных или иных ограничений (пространственная удаленность, недоступность контактных измерений, недостаточность специальной техники и/или ограничение по времени).

Проведенные в XX веке испытания ядерного оружия и ядерные взрывы, выполненные в промышленных целях, случившиеся техногенные аварии на объектах ядерного цикла, а также возрастание потенциальной угрозы применения ядерного оружия в современном мире обуславливают необходимость организации и ведения непрерывного глобального мониторинга радиоактивного загрязнения окружающей среды.

В связи с этим, все большую актуальность приобретает разработка и внедрение эффективных методов дистанционного обнаружения и контроля радиоактивного загрязнения окружающей среды по диагностическим параметрам с использованием технологических возможностей спутникового мониторинга.

Существующие методы дистанционного мониторинга подразделяют на прямые и косвенные. Первые регистрируют интенсивность и спектр ионизирующего излучения объекта, как правило, при непосредственном контакте измерительной техники с объектом измерения или при небольшом расстоянии (не более сотен метров). Вторые основаны на регистрации изменений в окружающей среде под действием ионизирующего излучения. При этом учитывается, что α - и β -излучения обладают сравнительно малой проникающей способностью, вследствие чего расстояние до объекта измерений сокращается. Таким образом, использование косвенных методов позволяет оценить уровень загрязнения по отклику окружающей среды на ионизирующее излучение.

Согласно исследованиям [1], был составлен список наиболее перспективных методов мониторинга радиоактивных загрязнений из космоса, в число которых вошел метод поправки химического потенциала.

Реализация данного метода стала возможна благодаря установке отечественного СВЧ-радиометра МТВЗА-ГЯ на космических аппаратах «Метеор-М».

Полярно-орбитальные спутники серии «Метеор-М», задачи, оснащение. Полярно-орбитальные спутники серии «Метеор-М» предназначены для обеспечения оперативной гидрометеорологической информацией подразделений Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, а также других ведомств для решения следующих основных задач: анализа и прогноза погоды в региональном и глобальном масштабах, анализа и прогноза состояния акватории морей и океанов, включая контроль ледовой обстановки, анализа и прогноза условий для полета авиации, анализа и прогноза гелиогеофизической обстановки в околоземном космическом пространстве (ОКП), а также состояния ионосферы и магнитного поля Земли, мониторинга климата и глобальных изменений, контроля чрезвычайных ситуаций, экологического мониторинга окружающей среды и др. [2, 3].

Спутники серии «Метеор-М» оснащены высокоточной аппаратурой, в число которой входят: многозональное сканирующее устройство малого разрешения (МСУ-МР), комплекс многозональной спектральной съемки среднего разрешения (КМСС), модуль температурного и влажностного зондирования атмосферы (МТВЗА), бортовой радиолокационный комплекс (БРЛК), гелиогеофизический аппаратный комплекс (ГТАК-М), МТВЗА-ГЯ [3].

Микроволновый сканер/зондировщик МТВЗА-ГЯ. Устанавливаемый на полярно-орбитальные космические аппараты серии «Метеор-М» микроволновый сканер/зондировщик МТВЗА-ГЯ [1, 5, 6] предназначен для температурно-влажностного профилирования атмосферы, а также определения ряда интегральных параметров атмосферы и поверхности Земли. Комплекс позволяет выполнять:

- расчет текущей величины систематического отклонения результатов измерений МТВЗА-ГЯ от эталонных;
- обнаружение сбоев в работе аппаратуры МТВЗА-ГЯ;
- контроль точности, исследование области применимости и обнаружение сбоев в работе программного комплекса тематической обработки измерений МТВЗА-ГЯ для получения данных температурно-влажностного зондирования атмосферы.

Основные характеристики приведены в таблице 1.

В основе использованного в МТВЗА-ГЯ метода измерений лежит регистрация вариаций термодинамических параметров воздуха и одновременного падения влажности под действием ионизирующего излучения газа радона в приземном слое. Измерение данных характеристик позволяет получать информацию о распространении и уровне радиоактивных загрязнений.

Методы, основанные на СВЧ-радиометрии, обладают рядом особенностей.

К преимуществам спутниковой микроволновой СВЧ-радиометрии относят: глобальность обзора поверхности Земли, регулярность съемки интересующих участков, независимость проведения съемки от времени суток, независимость проведения съемки от погодных условий.

Недостатки спутниковой СВЧ-радиометрии заключаются в низком пространственном разрешении, неустойчивой калибровке, завышенных требованиях к чувствительности радиометрических приемников. Особенностью метода СВЧ-радиометрии является низкое пространственное разрешение с высоты орбиты космического аппарата, составляющее порядка 15 км для диапазона 183 ГГц и до 150 км для диапазона 10,7 ГГц при диаметре зеркала антенны в пределах 60-70 см.

Таблица 1 – Характеристики микроволнового сканера/зондировщика МТВЗА-ГЯ

| Характеристики | Значения |
|--|---|
| Диапазон | 10,6; 18,7; 23,8 31,5; 36,7; 42; 48 52-57, 91, 183,31 ГГц |
| Разрешение: - по горизонтали; - по вертикали. | 16-198 км 1,5-7 км |
| Полоса обзора | 1500 км |
| Сканирование | коническое |
| Режим работы | непрерывный |
| Период сканирования | 2,5 с |
| Поток данных | 35 Кбит/с |
| Объем ЗУ | 1 Гбайт |
| Масса, не более | 94 кг |
| Потребление, не более | 80 Вт |

Технология спутниковой СВЧ-радиометрии создавалась для решения задач гидрометеорологии, поэтому приведенные численные значения пространственного разрешения в основном удовлетворяют потребителей метеоинформации, но не подходят для непосредственного решения задач диагностики радиоактивного заражения. Такие значения пространственного разрешения недостаточны для мониторинга радиоактивного загрязнения, когда размеры зон заражения на местности и, как следствие, размеры областей проявления маркеров ионизации варьируются в пределах от десятков метров до нескольких километров. Поэтому в целях повышения пространственного разрешения данного метода разработчики СВЧ-радиометров стремятся к увеличению диаметра антенн до 2 метров и более, что ограничено массово-габаритными требованиями конструкции космического аппарата.

Заключение. СВЧ-радиометрия при своей многолетней истории применения не имеет большого опыта спутникового мониторинга радиоактивного загрязнения окружающей среды. Недостаточно изучены участки спектрального диапазона, позволяющие достоверно определять границы зон и концентрацию малых газовых составляющих атмосферы, свидетельствующих о масштабах загрязнения. Кроме того, требования к информативности данного метода определяют необходимость освоения более высоких частотных диапазонов (от 2 ТГц), что сопряжено с технологическими сложностями в создании высокочастотных элементов радиотракта. В этом случае приходится учитывать не только частотные участки электромагнитного излучения (ЭМИ) в «окнах прозрачности» атмосферы, но и частоты отражения ЭМИ исследуемых объектов на поверхности Земли.

Метод поправки химического потенциала имеет как преимущества, так и недостатки.

Большинство имеющихся недостатков с большой вероятностью будут устранены по мере развития технологий зондирования. Вместе с тем, существует возможность улучшения качества получаемых результатов наблюдения за счет совместного использования нескольких способов мониторинга окружающей среды, что позволит компенсировать недостатки каждого из них.

На данный момент российская группировка спутников, оснащенных СВЧ-радиометрами МТВЗА-ГЯ, составляет 2 единицы («Метеор-М» № 2-2, «Метеор-М» № 2-3). В дальнейшем планируется расширение группировки российских гидрометеорологических спутников серии «Метеор-М» до 4 единиц. Растущее количество спутников, способных осуществлять мониторинг окружающей среды методом поправки химического потенциала, делает использование данного метода все более перспективным, а результаты его работы более информативными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суровцева И.В., Полушковский Ю.А., Чигрин Д.Н. Анализ возможностей спутникового мониторинга радиоактивного загрязнения // Российский химический журнал. – 2021 г. – №4. – С. 25-30.
2. Метеор-м // Метеор-м. [Электронный ресурс] – URL: <https://orbits.postnews.ru/> (дата обращения: 28.08.23 г.).
3. Космические аппараты «Метеор-М» // Российские космические системы. [Электронный ресурс] – URL: <https://russianspacesystems.ru/bussines/dzz/meteor-m/> (дата обращения: 28.08.23 г.).
4. Данные дистанционного зондирования со спутников серии «Метеор-М» // Дальневосточный центр НИЦ планета. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.dvrcpod.ru/> (дата обращения: 28.08.23 г.).
5. Программный комплекс валидации измерений прибора МТВЗА-ГЯ космических аппаратов серии "МЕТЕОР-М" // Cyberleninka. [Электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/> (дата обращения: 28.08.2023 г.).
6. В.В. Болдырев, П.А. Ильгасов, В.Ю. Панцов, Ю.Н. Прохоров, Н.И. Стрельников, И.В. Черный, Г.М. Чернявский, В.В. Яковлев микроволновый сканер/зондировщик МТВЗА-ГЯ на «МЕТЕОР-М» №1 // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. - 2008 г. - №107. - С. 22-25.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЕТОВ НА АЭРОДРОМЕ ХАБАРОВСК (НОВЫЙ)

Глуховской И.И., Глушенко Д.Е., Денисов А.А., Ходак А.В.
Военный инновационный технополис «ЭРА», Анапа
era_lab13@mil.ru

Аннотация. В статье рассматривается описание метеорологического обеспечения полетов на аэродроме Хабаровск (Новый). Приводится перечень приборов комплексной системы КРАМС-4, с помощью которых производится сбор, обработка, передача и архивирование метеоинформации. Рассмотрены местные регулярные и специальные сводки погоды, а также метеосводки METAR и SPECI и необходимые дополнения к ним. Описываются процедуры и действия техника-метеоролога при получении сигнала "Тревога", методы проведения наблюдений при сбоях или отказах в работе метеорологического оборудования и метеорологических радиолокационных наблюдений.

Ключевые слова. Метеорологическое обеспечение полетов, КРАМС-4, обслуживание воздушного движения, метеосводка, явления погоды, техник-метеоролог.

METEOROLOGICAL SERVICE FOR FLIGHTS AT THE Khabarovsk (Noviy) Aerodrome

Glukhovskoy I.I., Gluschenko D.E., Denisov A.A., Khodak A.V.
Military innovative technopolis "ERA", Anapa

Annotation. The article discusses the description of meteorological support for flights at the Khabarovsk (Noviy) airfield. A list of instruments of the KRAMS-4 complex system is provided, with the help of which the collection, processing, transmission and archiving of meteorological information is carried out. Issued the local regular and special weather reports, as well as METAR and SPECI weather reports and the necessary additions to them. The procedures and actions of a meteorological technician upon receiving an "Alarm" signal, methods for conducting observations in the event of malfunctions or failures in the operation of meteorological equipment and meteorological radar observations are described.

Keywords. Meteorological support of flights, KRAMS-4, air traffic services, weather report, weather phenomena, meteorologist technician.

Введение. Метеорологическое обеспечение полетов гражданской авиации (ГА) осуществляется в целях обеспечения безопасности, регулярности и эффективности полетов путем предоставления требуемой метеорологической информации пользователям воздушного пространства, органам, осуществляющим организацию воздушного движения (ОрВД) [1].

В полетную документацию включаются прогнозы ветра и температуры на высотах, прогнозы особых явлений погоды, сводки регулярных (METAR) и специальных (SPECI) сообщений о погоде на аэродроме, прогнозы погоды на аэродроме (TAF) и корректив прогноза погоды TAFAMD для аэродромов вылета и намеченной посадки, для запасных аэродромов вылета, на маршруте, информация о фактическом или ожидаемом возникновении определенных явлений погоды по маршруту (району) полета, которые могут повлиять на безопасность полетов воздушных судов SIGMET, консультативная информация о вулканическом пепле и тропических циклонах, относящаяся ко всему маршруту, а также, при необходимости, зональные прогнозы для полетов ниже эшелона 150 GAMET и/или зональные прогнозы погоды в картографическом виде, информация о фактическом или ожидаемом возникновении определенных явлений погоды по маршруту (району) полета, которые могут повлиять на безопасность полетов ВС на малых высотах и которые не были включены в прогноз (AIRMET) [2].

Метеорологическое обеспечение полета на аэродроме «Новый» города Хабаровск осуществляет Хабаровский Зональный авиационный метеорологический центр (ХЗАМЦ) – обособленное подразделение Дальневосточного филиала Федерального государственного бюджетного учреждения (ФГБУ) «Авиаметтелеком Росгидромета». ХЗАМЦ обеспечивает метеорологической информацией Хабаровскую службу движения Хабаровского центра обслуживания воздушного движения (ОВД) филиала «Аэронавигация Дальнего Востока» ФГУП «Госкорпорация по ОрВД». Прогностическое обеспечение полетов на аэродроме Хабаровск (Новый) осуществляет ХЗАМЦ в круглосуточном режиме [3].

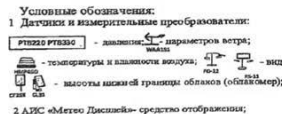
Метеорологические системы, приборы и наблюдения. Одной из задач метеорологического обеспечения является наблюдение за погодными явлениями и составление на их основе метеорологических сводок, по всемирному скоординированному времени UTC. Эти задачи выполняются на основном пункте наблюдений (ОПН) на аэродроме Хабаровск (Новый), расположенном на первом этаже в здании стартового диспетчерского пункта.

Для измерения и сбора метеоинформации на аэродроме, обработки этой информации, формирования метеорологических сообщений, отображения, регистрации и распространения

Станция КРАМС-4 производит автоматическое измерение следующих параметров:

1. Атмосферного давления. Измеряется два вида давлений: приведенное к уровню порогов ВПП аэродрома (QFE) и приведенное к среднему уровню моря по стандартной атмосфере (QNH), на уровне станции автоматическими датчиками давления РТВ220, РТВ330, а в случае выхода их из строя барометром СР-А.

2. Температуры воздуха и температуры точки росы. Температура воздуха автоматически измеряется датчиком температуры НМР45D, входящим в состав станции. Температура точки росы, включаемая в сводки, автоматически рассчитывается станцией.



4. Облачности и высоты нижней границы облачности (ВНГО). Данные наблюдений включают в себя сведения о количестве и форме облачности, получаемые визуально с ОПН, ВНГО или вертикальную видимость, получаемую с помощью измерителей высоты облаков CL31 установленных вблизи БМРМ, ОПРМ и СТ25К на ОПН.

165

менее.

6. Интенсивности и количества осадков. Сведения о наличии очагов снежных образований, сильных ливней и града получают от метеорологического радиолокатора (МРЛ).

7. Явлений погоды и грозových разрядов. Наблюдения за явлениями текущей погоды на аэродроме и/или в его окрестностях проводятся с ОПН, местоположение и близость к аэродрому грозы определяется по данным грозопеленгатора или МРЛ [3].

Перечень регулярных и специальных наблюдений, составление сводок и критерии для их выпуска. Регулярные наблюдения на аэродроме Хабаровск (Новый) ведутся круглосуточно. Специальные наблюдения проводятся дополнительно к регулярным наблюдениям в соответствии с перечнем критериев об ухудшении или улучшении условий погоды на аэродроме.

По результатам регулярных и специальных наблюдений выпускаются:

- местные регулярные и специальные сводки, распространяемые только на аэродроме выпуска, предназначенные для прибывающих и вылетающих ВС, а также для службы автоматической передачи информации в районе аэродрома (АТИС);
- регулярные и специальные метeosводки METAR (в сроки 00 и 30 минут каждого часа) и SPECI, распространяемые за пределы аэродрома составления сводки, предназначенные в основном для планирования полетов и радиовещательных передач VOLMET.

Местные регулярные и специальные сводки отображаются на автоматизированной информационной системе (АИС) «МетеоДисплей» у диспетчера ОВД, сопровождаются звуковой и цветовой индикации. Регулярные и специальные сводки METAR и SPECI распространяются по каналу автоматизированной системы передачи данных Росгидромета.

Сводки дополняются:

- явлениями предшествующей погоды;
- сведениями о сдвиге ветра;
- сведениями о номере ВПП, её состоянии и коэффициенте сцепления;
- информацией о закрытии препятствий облачностью;
- информацией о наличии в зоне захода на посадку и взлета обледенения, турбулентности;
- информацией о наличии очагов гроз, сильных ливней и града;
- информацией об инструментальных данных ВНГО/вертикальной видимости;
- информацией о давлении QFE;
- информацией о ветре на высоте аэродромного круга.

Местные специальные сводки и сводки SPECI выпускаются и распространяются при переходе пороговых значений метеорологических величин через установленные критерии, как в сторону их ухудшения, так и улучшения, немедленно после наблюдения. Местную специальную сводку об улучшении условий погоды необходимо передавать сразу после наблюдения, специальную сводку SPECI – только при условии сохранения улучшения в течение 10 минут.

Заходы воздушных судов на посадку, и посадка по приборам по категории II Международной организации ГА (ИКАО) обеспечиваются предоставлением местных сводок в режиме ежеминутной выдачи метеоинформации. При обеспечении полетов по категории II ИКАО используется КРАМС-4, обеспечивающая автоматическое измерение, сбор, обработку, распространение и отображение метеорологических параметров [3].

Порядок проведения наблюдений и действий при поступлении сигнала «Тревога»

После получения сигнала «Тревога» по системе аварийного оповещения (АРМТЕЛ) с соответствующей сигнализацией (резерв по системе коммуникации речевых сообщений

(СКРС) «Мегафон» от диспетчера ОВД и/или руководителя полетов аэродрома (РПА) техник-метеоролог прослушивает информацию о времени, характере, месте происшествии и типе ВС, после чего подтверждает принятие сигнала «Тревога». Фиксирует время получения оповещения в Журнале оперативной информации, уточнив у РПА причину авиационного события (АС), затем проводит визуальные наблюдения за количеством и формой облаков, явлениями текущей погоды, по результатам инструментальных и визуальных наблюдений в объеме, предусмотренном п.20 Федеральных авиационных правил (ФАП 60), формирует сводку погоды по сигналу «Тревога». Сводка погоды по сигналу «Тревога» немедленно передается на все средства отображения метеоинформации, фиксируется в Дневнике погоды АВ-6. Техник-метеоролог докладывает синоптику, осуществляющему прогностическое обеспечение по аэродрому, об объявлении сигнала «Тревога» с уточнением причины АС по СКРС «Мегафон», распечатывает Дневник погоды АВ-6 с результатами наблюдений на момент сигнала «Тревога» и составляет Акт об изъятии документации. Остальные действия специалистов определяются действующей Инструкцией о порядке донесений об АС ХЗАМЦ. ХЗАМЦ обеспечивает хранение всей имеющей отношение к делу метеорологической информации в течение 30 дней [3].

Проведение наблюдений при сбоех или отказах в работе метеорологического оборудования. В случае отказа или сомнения в правильности показаний основного измерителя наблюдения производятся по резервным измерителям. При отказе основной станции КРАМС-4 техник-метеоролог осуществляет переход на резервную станцию КРАМС-4, сообщает о неисправности инженеру по эксплуатации гидрометеорологических приборов (ГМП), оборудования и систем, делает запись в «Журнал учета работы метеорологического оборудования» с указанием времени и причины перехода. В случае отказа основного и резервного оборудования техник-метеоролог докладывает РПА, инженеру по эксплуатации ГМП, оборудования и систем для немедленного устранения неисправности, синоптику, осуществляющему прогностическое обеспечение по аэродрому по СКРС «Мегафон», начальнику ХЗАМЦ. Формирует телеграмму об отказе метеорологического оборудования с указанием времени устранения.

Местные регулярные и специальные сводки техник-метеоролог записывает в «Журнал оперативной информации» и передает по телефону РПА, пункту диспетчера посадки, диспетчерскому пункту круга по СКРС «Мегафон», оператору АТИС по СКРС «Мегафон», синоптику «На прогнозах» по СКРС «Мегафон». Сводки METAR, SPECI техник-метеоролог записывает в Журнал оперативной информации и передает по резервной связи через Web-Interface и/или каналы связи центра коммуникации сообщений ХЗАМЦ [3].

Порядок проведения метеорологических радиолокационных наблюдений и распространения данных наблюдений. На аэродроме Хабаровск (Новый) проводятся метеорологические радиолокационные наблюдения с использованием метеорологического радиолокатора МРЛ-5 и автоматизированного метеорологического радиолокационного комплекса (АМРК) «Метеоячейка». Наблюдения проводятся в теплое время года при наступлении грозоопасного периода при наличии документально подтвержденной годности оборудования к работе. Режим работы МРЛ определяется порядком наблюдений и разрабатывается каждый сезон по типовому регламенту работы на комплексе АМРК «Метеоячейка». Обработанная радиолокационная информация передается на абонентские пункты АМРК «Метеоячейка» установленные в зале РЦ и рабочих местах синоптиков ХЗАМЦ. Контуры опасных явлений и данные доплеровского метеорологического локатора ДМРЛ-С Владивосток передаются на рабочие места диспетчеров ОВД, в автоматизированную систему управления воздушным движением (УВД) «Синтез-А2» и комплекс средств автоматизации (КСА) УВД «Синтез-Р2» через АИС «Метеосервер». Синоптик, осуществляющий прогностическое обеспечение по аэродрому, доводит

информацию о наличии очагов гроз, сильных ливней и града технику-метеорологу для дальнейшей её передачи на АТИС по СКРС «Мегафон» или телефону [3].

Авиационные прогнозы погоды и предупреждения. По аэродрому Хабаровск (Новый) составляются прогнозы погоды тридцатичасового периода действия в формате кода ТАФ. Тридцатичасовые прогнозы погоды выпускаются каждые три часа с заблаговременностью в один час до начала времени действия на период действия: 00-06, 03-09, 06-12, 09-15, 12-18, 15-21, 18-24, 21-03.

Шестичасовые прогнозы погоды выпускаются каждые три часа с заблаговременностью в один час до начала времени действия на период действия: 00-06, 03-09, 06-12 (в связи с некруглосуточной работой аэропорта последний действующий прогноз отменяется) [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Минтранса России от 31.07.2009 N 128 (ред. от 29.05.2023г.). Об утверждении Федеральных авиационных правил "Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации" (Зарегистрировано в Минюсте России 31.08.2009 N 14645). [Электронный ресурс] – URL: <https://demo.consultant.ru/> (дата обращения: 06.09.2023 г.).

2. Метеорологическое обеспечение полетов воздушных судов гражданской авиации на московских аэродромах // Транспортная стратегия XXI век, №19, 2012/13 г.г. [Электронный ресурс] – URL: <http://www.sovstrat.ru/journals/transportnaya-strategiya-21-vek/articles/st-trans19-18.html> (дата обращения: 06.09.2023 г.).

3. Инструкция по метеорологическому обеспечению полетов на аэродроме Хабаровск (Новый). – Введена в действие с 15.04.2021 г. Приказом директора Дальневосточного филиала ФГБУ «Авиаметтеком Росгидромета» от 09.04.2021 г. №90. – 40 с.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ПОЛЯРНОЙ АВИАЦИИ С ПОМОЩЬЮ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ АРКТИКА-М

Бутко М. А., Яковлев В.И., Климов Р.А.

Военный инновационный технополис «ЭРА», Анапа
era_lab13@mil.ru

Аннотация. Климат Арктики – это самый суровый климат в России. Неустойчивость метеорологической обстановки выражается в резком изменении направления и скорости ветра, понижении высоты облачности, быстром натекании тумана с моря на побережье. Сильные ветры вызывают снежную пургу и поземку, летом под влиянием мощного циклона возможно резкое повышение температуры воздуха. Эти явления носят труднопрогнозируемый и значительный по силе воздействия характер. В связи с этим актуальным становится вопрос о разработке новейшей и совершенной спутниковой системы, предназначенной для гидрометеорологического обеспечения как воздушных, так и морских судов, эксплуатируемых в Арктике.

Ключевые слова. Арктика, Росгидромет, гидрометеорологическое обеспечение, спутник, высокоэллиптическая орбита.

METEOROLOGICAL SUPPORT FOR AIRCRAFT POLAR AVIATION USING SATELLITE SYSTEM "ARCTIKA-M"

Butko M.A., Yakovlev V.I. Klimov R.A.

Military innovative technopolis "ERA", Anapa

Annotation. The climate of the Arctic is the most severe climate in Russia. The instability of the meteorological situation is expressed in a sharp change in the direction and speed of the wind,

a decrease in the height of cloudiness, and the rapid flow of fog from the sea to the coast. Strong winds cause snow blizzards and drifting snow; in summer, under the influence of a powerful cyclone, a sharp increase in air temperature is possible. These phenomena are difficult to predict and significant in terms of impact. In this regard, the question becomes on the development of the latest and most advanced satellite system designed for hydrometeorological support of both aircraft and ships operating in the Arctic.

Keywords. Arctic, Roshydromet, hydrometeorological support, satellite, highly elliptical orbit.

Созданный по заказу Росгидромета космический аппарат «Арктика-М» №1 является первым в мире гидрометеорологическим спутником, запущенным на высокоэллиптическую орбиту, и предназначен для обзора арктического региона выше 60° с.ш., недоступного для наблюдения с геостационарной орбиты. Он позволяет с периодичностью 15-30 мин. получать важнейшие данные о состоянии атмосферы, подстилающей поверхности и околоземного космического пространства по всему огромному пространству Арктики. Международное научное сообщество оценило создание и запуск спутника «Арктика- М» №1 как «пионерский успех мирового уровня» [1].

Основным назначением спутников подсистемы «Арктика-М» является обеспечение функционирования бортового комплекса целевой аппаратуры для получения гидрометеорологических данных на рабочем участке орбиты и гелиогеофизических данных на высоте орбиты, передачи полученных данных в наземный комплекс приема, обработки и распространения данных Росгидромета [2].

Установленная на спутнике «Арктика-М» №1 аппаратура ретрансляции метеорологических данных с наблюдательной сети Росгидромета позволит расширить на арктический регион зону покрытия системы сбора данных, которая в настоящее время функционирует через геостационарные космические аппараты «Электро-Л» №3, «Электро-Л» №2, «Луч-5В». Помимо этого, для работы через спутник «Арктика- М» №1 впервые в мире разработана система двухсторонней радиосвязи на частотах 401-403 МГц (линия «вверх»), 1697- 1698 МГц (линия «вниз»).

Системы сбора данных и двухсторонней радиосвязи созданы, прежде всего, для арктической наблюдательной сети Росгидромета, где оперативной связи либо нет, либо она работает неустойчиво. Внедрение этих систем позволит сократить расходы, связанные с арендой каналов связи, в том числе у спутниковых космических систем, таких как Inmarsat. Прием, обработка, архивация и распространение спутниковых данных с КА «Арктика-М» №1 осуществляются Государственной территориально-распределенной системой космического мониторинга Росгидромета в составе Европейского, Сибирского и Дальневосточного центров ФГБУ «НИЦ «Планета» (рисунок 1).

В целом, орбитальная группировка «Арктика-М» должна будет состоять из четырех космических аппаратов, что обеспечит непрерывный круглосуточный обзор северной территории Российской Федерации и арктического региона Земли.

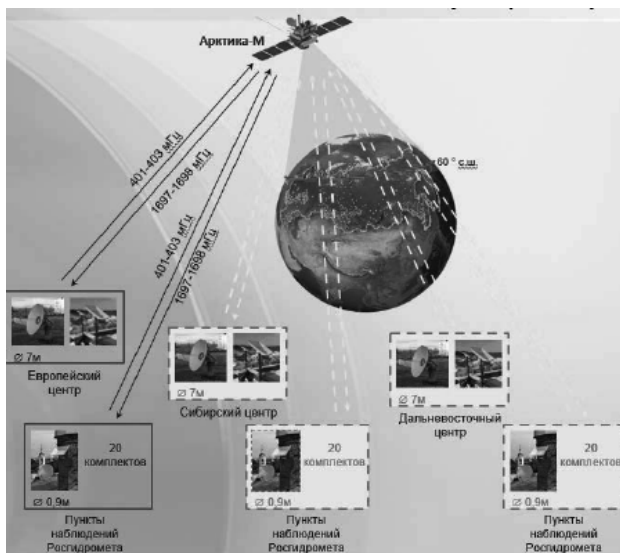


Рисунок 1 – Космическая система двухсторонней радиосвязи

Целевые задачи ВГКС Арктика-М:

1. Получение и обработка многоспектральных снимков облачности и поверхности Земли в пределах наблюдаемого диска Земли в арктическом регионе, недоступном для наблюдения с геостационарной орбиты, для решения задач:

- анализа и прогноза погоды;
- анализа и прогноза состояния морей и океанов;
- анализа и прогноза условий для полетов авиации;
- мониторинга климата и глобальных изменений;
- контроля чрезвычайных ситуаций;
- экологического контроля окружающей среды и др.

2. Получение и обработка гелиогеофизических данных на высоте орбиты о низкоэнергетичных электронах и протонах, о протонах галактического космического излучения, о векторах магнитной индукции.

3. Сбор и ретрансляция информации с платформ сбора данных (ПСД), расположенных в арктическом регионе, недоступном для связи через геостационарные спутники.

4. Обеспечение двухсторонней радиосвязи между станциями приема данных и гидрометеорологическими пунктами сети наземных платформ сбора данных Росгидромета.

5. Ретрансляция сигналов от аварийных радиобуев системы КОСПАС-САРАТ.

6. Передача полученных данных в наземный комплекс приема обработки и распространения данных Росгидромета.

Данные спутника «Арктика-М» №1 дают возможность впервые в мире с высокой периодичностью (15/30 мин.) выпускать для всего арктического региона статические и динамические карты облачности, снега, льда, векторов ветра на различных уровнях атмосферы, проводить мониторинг и анализ эволюции полярных мезомасштабных циклонов, подготавливать карты микрофизических параметров облачности, таких как оптическая толщина облачности и эффективный радиус частиц, определять температуру и высоту верхней границы облачности, общее содержание водяного пара и озона, детектировать зоны

и интенсивность осадков, своевременно определять очаги возгораний, в реальном времени отслеживать распространение дымовых шлейфов.

С вводом системы «Арктика-М» в полном объеме в эксплуатацию ожидается значительное улучшение качества гидрометеорологического обеспечения воздушных и морских судов, функционирующих в Арктической зоне РФ и, в частности, – повышение уровня безопасности полетов самолетов и вертолетов отечественной полярной авиации [3, 4].

Сейчас на контрольно-испытательной станции НПО Лавочкина завершены электрические испытания модуля служебных систем аппарата «Арктика-М» № 2. Следующий этап – сборка комплекса целевой аппаратуры, после чего разобранный спутник продолжит наземную экспериментальную отработку электрическими испытаниями. Запуск аппарата «Арктика-М» № 2 планируется осенью 2023 года [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метеоспутник «Арктика-М» №1 вводится в эксплуатацию. [Электронный ресурс] URL: <https://www.meteorf.gov.ru/press/news/25882/> (дата обращения: 14.08.2023 г.).
2. Глушков В.В. Состояние и перспективы развития спутниковой гидрометеорологической разведки в Арктике // ГЕОПРОФИ. 2017 г. № 2. С. 4-12.
3. Дробжева Я.В., Волобуева О.В. Особенности метеорологического обеспечения авиации в Арктической зоне: Учебное пособие. – СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2022 г. – 76 с.
4. Глушко В.В., Куприков Н.М. Полярная авиация: состояние и перспективы развития // Известия ТулГУ. Технические науки. 2020. Вып. 6. С. 110-120.
5. Гидрометеорологический спутник «Арктика-М» №2 отправлен на вакуумные испытания. [Электронный ресурс] URL: <https://www.roscosmos.ru/39405/> (дата обращения: 15.08.2023 г.).

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ

Асмолов К.Г., Ситниченко Е.В., Хурасев А.М.
Военный инновационный технополис «ЭРА», Анапа
era_lab3@mil.ru

Аннотация. В статье представлен общий обзор системы метеорологических наблюдений, понятие о метеорологическом наблюдении, развитие метеорологической сети России, а также программа наблюдений на станции. Особое внимание уделено развитию автоматических метеостанций.

Ключевые слова. Метеорологические наблюдения, системы метеорологических наблюдений, автоматические метеорологические станции.

METEOROLOGICAL MONITORING SYSTEMS

Asmolov K.G., Sitnichenko E.V., Khurasev A.M.
¹Military innovative technopolis "ERA", Anapa

Annotation. The article presents a general overview of the meteorological observation system, the concept of meteorological observation, the development of the meteorological network of Russia, and the observation program at the station. Special attention is paid to the development in the field of automatic weather stations.

Keywords. Meteorological monitoring, meteorological monitoring systems, automatic monitoring stations.

Введение. Прогноз погоды. — научно обоснованное предположение о будущем состоянии погоды в определенном пункте или регионе на определённый период. Составляется (разрабатывается) метеорологическими службами на основе методов метеорологии. это важная информация, которая может помочь людям принимать правильные решения в зависимости от погодных условий. Таким образом, мониторинг погоды и регулярное использование метеорологических прогнозов может существенно повысить вашу безопасность и комфорт. метеорологическая информация, получаемая с сети метеорологических, аэрологических, радиолокационных и других станций, искусственных спутников земли, самолетов и других источников и содержащая данные наблюдений за метеорологическими величинами и явлениями погоды во все толще атмосферы. В настоящее время точность метеорологического прогноза на ближайшие сутки составляет 90–96% к 5 суткам точность падает до 75–80%, а к 15 суткам — до 55%. Более низкий процент оправдываемости может быть связан с недостаточно развитой сетью метеостанций на конкретной территории, а, следовательно, для увеличения точности прогноза требуется увеличение количества метеорологических станций, которое в свою очередь несет значительные финансовые затраты. Еще одним фактором, снижающим точность прогноза, является человеческий фактор. С этими недостатками можно справиться путем автоматизации процесса сбора метеорологической информации и внедрения автоматических метеорологических станций.

Метеорологическая сеть России . Существует целая сеть различных метеорологических станций, которая состоит из следующих пунктов наблюдений (станций и постов): метеорологических, гидрологических, аэрологических, метеорологических радиолокационных, морских, океанических, ионосферных, геомагнитных и геофизических.

К концу 70-х годов XX в. число станций и постов на территории бывшего СССР превысило 6000, из которых 4665 относились к системе Гидрометеослужбы, остальные – к другим ведомствам. Метеорологическая сеть России своего максимального развития достигла к 1986 году, когда на ее территории насчитывалось 2308 станций и 3274 поста. С переходом на новые экономические условия в период с 1987 по 2005 г.г. число метеорологических станций сократилось почти на 30%, постов – на 35%.

Метеорологические наблюдения. Метеорологические наблюдения представляют собой наблюдения за физическими процессами, происходящими в атмосфере и на поверхности Земли. Наблюдения включают измерения значений метеорологических элементов в установленные сроки и определение основных характеристик (начало, конец, интенсивность, опасность) наиболее значимых атмосферных явлений. Метеорологические наблюдения проводятся с целью получения информации для:

- непосредственного обеспечения обслуживаемых организаций сведениями о погоде в пункте наблюдений;
- предупреждения об опасных и особо опасных явлениях;
- обеспечения прогностических служб необходимыми данными для составления всех видов прогнозов метеорологических условий;
- предупреждения об ожидаемых неблагоприятных условиях, в том числе связанных с неблагоприятной экологической обстановкой, накопления и обобщения объективных данных о метеорологическом режиме на территории района, области и страны в целом.

Программа наблюдений. На метеорологических станциях регистрируют следующие метеорологические величины:

1. Температуру воздуха на высоте 2 м над земной поверхностью;
2. Атмосферное давление;
3. Влажность воздуха – парциальное давление водяного пара;
4. В воздухе и относительную влажность;

5. Ветер – горизонтальное движение воздуха на высоте 10-12 м над земной поверхностью (измеряют его скорость и определяют направление, откуда дует ветер);
6. Количество осадков, выпавших из облаков, их типы (дождь, морось, снег и др.);
7. Облачность – степень покрытия неба облаками, типы облаков по международной классификации, высоту нижней границы облаков;
8. Наличие и интенсивность различных осадков, образующихся на земной поверхности и на предметах (росы, иней, гололеда и пр.), а также тумана;
9. Горизонтальную видимость – расстояние, на котором перестают различаться очертания предметов;
10. Продолжительность солнечного сияния;
11. Температуру на поверхности почвы и на нескольких глубинах в почве;
12. Состояние поверхности почвы;
13. Высоту и плотность снежного покрова;
14. Метеорологические и оптические явления: метели, шквалы, смерчи, мглу, пыльные бури, грозы, тихие электрические разряды, полярные сияния, радугу, круги и венцы вокруг дисков светил, миражи и др.;
15. На некоторых станциях измеряют испарение воды с водных поверхностей или с почвы;
16. На береговых метеорологических станциях проводят также наблюдения над температурой воды и волнением водной поверхности.

Сроки проведения метеорологических наблюдений. На всех станциях наблюдения производятся синхронно в сроки 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 и 21 ч по московскому декретному времени (м.д.в.). Под сроком наблюдений понимается десятиминутный интервал времени, оканчивающий точно в указанный срочный час. В сроки 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 и 21 ч м.д.в. производятся наблюдения над температурой воздуха, атмосферным давлением, ветром, температурой почвы, видимостью и облачностью. Для получения сумм осадков наблюдения проводятся за синхронные 12-часовые промежутки времени, т.е. 3-15 и 15-3 ч м.д.в. В зимнее время при наличии снежного покрова периодически производят снегомерные съемки в 8 ч м.д.в. Наблюдения над атмосферными явлениями состоянием погоды ведутся на станциях непрерывно в течение суток. На некоторых станциях производится регистрация температуры, влажности воздуха, атмосферного давления, осадков, ветра и продолжительности солнечного сияния [1].

Метеорологические станции и оборудование. На метеорологических станциях используются множество различных приборов, например, психрометрическая будка. Будка служит для защиты приборов от осадков, сильного ветра и солнечной радиации. Она выкрашена в белый цвет и имеет специальные жалюзи. Стоит отметить, что на метеостанции всегда имеются две будки. В одной находятся термометры, психрометр, гигрометр, а в другой — гигрограф и термограф, это приборы-самописцы (на лентах которых в течение суток в автоматическом режиме происходит запись изменения температуры и относительной влажности воздуха). Также на любой метеостанции обязательно есть высокая мачта. На ней находится ветроизмерительный прибор — флюгер Вильда. На метеостанциях флюгеры бывают двух видов: один с тяжелой доской, другой – с легкой. Два флюгера с разными досками позволяют измерять различные скорости ветра. С легкой доской флюгер может измерять скорость до 20 м/с, с тяжелой — до 40 м/с.

Это не все приборы, которые присутствуют на метеостанции, на самом деле их очень много, разных видов и разного предназначения, но прогресс не стоит на месте, и на место обычных метеорологических станций и сбора данных наблюдателем приходят автоматические метеостанции. Они существенно упрощают получение метеорологической информации, не требуют жестких условий размещения, занимают меньше места в условиях городской застройки, а главное - делают все автоматически и в режиме реального времени.

Автоматическая метеостанция (АМС) – это автоматизированная версия традиционной метеостанции, предназначенная либо для экономии человеческого труда, либо для проведения измерений в отдаленных районах. АМС обычно состоит из защищенного от атмосферных воздействий корпуса, содержащего регистратор данных, перезаряжаемую батарею, телеметрию и метеорологические датчики с прикрепленной к ним солнечной панелью или ветряной турбиной, установленной на мачте. Конкретная конфигурация может отличаться в зависимости от назначения системы. Система может сообщать данные практически в режиме реального времени, или сохранять данные для последующего восстановления.

Метеостанция «АМС-2000М». Автоматическая метеорологическая станция АМС-2000М с двойным комплектом датчиков и постгарантийным техническим и метеорологическим обслуживанием в течение 10 лет предназначена для дистанционного измерения скорости и направления воздушного потока, атмосферного давления, температуры и влажности воздуха. Имеются возможности расширения числа измеряемых параметров (например, радиационный фон, температура поверхности почвы, градиент температуры (воздуха/почвы) и т.д.). Область применения: метеорологические наблюдения, обслуживание авиации, мониторинг транспортных магистралей, мониторинг загрязнения воздушной среды, научные исследования в различных отраслях промышленности, сельского хозяйства и т.д. Может использоваться в стационарном и мобильном, наземном и морском вариантах (возимый, носимый, установленный на средство доставки). Станция АМС-2000М полностью соответствует Приказу Минприроды России № 436 от 19.10.2015 г. и может быть использована в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений [2,3].

Метеостанция «Сокол-М». Метеостанция «Сокол-М» – модель, сочетающая в себе экономичность и универсальность, разработанная с целью автоматизации метеорологических наблюдений. С ее помощью становится возможным автоматический сбор и обработка данных об окружающей среде. «Сокол-М» позволяет сохранять все данные, собранные устройством, в полном объеме, а также анализировать их в режиме реального времени и производить вывод данных по условиям, заданным заказчиком. Кроме того, «Сокол-М» позволяет осуществлять фотофиксацию целого ряда явлений (погодные условия, рост и развитие растений и пр.) в точке наблюдения с помощью встроенной web-камеры.

Среди основных параметров, наблюдение за которыми возможно вести с использованием данной метеостанции:

- температура воздуха, почвы, воды;
- относительная влажность воздуха;
- скорость и направление воздушных потоков;
- атмосферное давление;
- количество и интенсивность осадков;
- индикация гидрометеорологических параметров, а именно: влажность почвы, влажность листа, концентрация углекислого газа в почве, ультрафиолетовая солнечная радиация и т.д.

«Сокол-М» анализирует полученную информацию и позволяет составлять точный прогноз погоды на три дня с вероятностью до 95%. Встроенная солнечная батарея поддерживает функциональность и автономность работы метеостанции на протяжении всего сезона [4,5].

Заключение. В современном мире с высоким уровнем развития цифровых технологий автоматические метеостанции выходят на основной план по получению метеорологической информации. АМС работают круглосуточно, без ошибок, обусловленных человеческим фактором, автоматически формируют сводки по фактическим данным и отправляют

их синоптикам для прогнозирования. Для обслуживания АМС достаточно лишь пары человек, которые будут выезжать в случае поломки оборудования.

Однако, несмотря на все плюсы автоматических станций, все измерить они не могут. Определение метеорологической дальности видимости, явлений погоды, вида облачности и типа облаков может осуществить лишь наблюдатель на обычной метеорологической станции.

Поэтому, несмотря на все плюсы АМС, необходимость в метеорологических станциях и наблюдателях все еще присутствует. Однако первые шаги в направлении автоматизации и этих наблюдений уже сделаны, и скоро автоматические метеостанции станут еще совершеннее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метеорологические наблюдения. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.ects.ru> (дата обращения: 01.09.2023).
2. Автоматическая метеорологическая станция АМС-2000М. [Электронный ресурс] – URL: <https://spmeteo.ru/> (дата обращения: 31.08.2023 г.).
3. Станции метеорологические АМС-2000М. [Электронный ресурс] – URL: <https://all-pribors.ru/> (дата обращения: 31.08.2023 г.).
4. Применение автоматических метеорологических станций в сельском хозяйстве. [Электронный ресурс] – URL: <https://niishk.site/> (дата обращения: 31.08.2023 г.).
5. АМС "Сокол-М". [Электронный ресурс] – URL: <https://auroraevernet.ru/> (дата обращения: 01.09.2023 г.).

СЕВЕРНЫЙ МОРСКОЙ ПУТЬ. РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

Глушенко Д.Е., Веселов В.С., Чжан-Энь-Хын Д.С., Жалнин А.Ю.

Военный инновационный технополис «ЭРА», Анапа

era_lab13@mil.ru

Аннотация. Проводится анализ текущего состояния Северного морского пути, а также его дальнейших перспектив развития; дается оценка объемам перевозок по СМП; определяются основные направления грузопотоков по СМП; рассматривается система мер для обеспечения безопасности мореплавания

в акватории Северного морского пути посредством модернизации системы гидрометеорологического обеспечения.

Ключевые слова. Северный морской путь, Арктика, гидрометеорологическое обеспечение, грузопоток.

THE NORTHERN SEA ROUTE. DEVELOPMENT OF THE HYDROMETEOROLOGICAL SUPPORT SYSTEM IN THE WATERS OF THE NORTHERN SEA ROUTE

Gluschenko D.E., Veselov V.S., Chzhan-En-Khyn D.S., Zhalnin A.Y.

Military innovative technopolis "ERA", Anapa

Annotation. The analysis of the current state of the Northern Sea Route. The analysis of further development prospects is carried out. An assessment is made of the volume of transportation along the NSR; the main directions of cargo flows along the NSR are determined; a system of measures is being considered to ensure the safety of navigation in the waters of the Northern Sea Route through the modernization of the hydrometeorological support system.

Keywords. Northern Sea Route, Arctic, hydrometeorological support, cargo flow.

Введение. С каждым годом стратегическая роль Арктического региона для Российской Федерации продолжает увеличиваться. Арктика – уникальная экосистема с присущими ей уникальным животным и растительным миром, резервный источник питьевой воды и огромные запасы полезных ископаемых. Здесь добывается десятая часть мировых объемов нефти и четвертая часть – природного газа. На российском Крайнем Севере сосредоточено 80% всей арктической нефти и практически весь газ. В Арктике находится значительная часть ещё не разведанных мировых запасов нефти [1]. Таким образом, от освоения арктических территорий во многом зависит будущее России.

Развитие арктического региона России тесно связано с программой развития Северного морского пути (рисунок 1).



Рисунок 1 – Карта Северного морского пути

Северный морской путь (СМП) объединяет в общую транспортную сеть речные артерии, пролегающие на 70% территории Российской Федерации. Маршрут интересен бизнесу и государству, так как представляет собой кратчайший морской путь между Европой и Дальним Востоком. При движении через Суэцкий канал расстояние от Санкт-Петербурга до Владивостока превышает 23 тыс. км, в то время как при движении по СМП протяженность падает почти в два раза - до 14 тыс. км. Использование СМП позволяет быстро и дешево доставлять грузы, которые прежде возили через Индийский океан: за счет этого компании со всего мира способны экономить миллионы долларов на топливе и оплате труда моряков. Для государства СМП представляет стратегический интерес, так как перенаправляет сотни судов в территориальные воды России.

Грузопотоки по Северному морскому пути. В навигационном плане СМП представляет собой сложную морскую артерию, отличающуюся большой протяженностью (от Карских Ворот до бухты Провидения – 5 600 км, преодолеваемых судами ледового класса за 7-15 дней при скорости движения 5-13 морских узлов), обширными мелководными участками, удаленными от берега на значительные расстояния, малонаселенными прибрежными территориями и тяжелыми ледовыми условиями. При этом СМП полностью расположен в территориальных водах страны.

В указе Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период 2024 года» говорится о том, что грузопоток по СМП к 2024 году должен вырасти до 80 млн. т [2]. Однако пандемия коронавируса и сложная геополитическая обстановка наложили свой отпечаток

на реальный объем перевозок грузов по СМП.

В 2016 году объем грузоперевозок по СМП достиг 7,5 млн. т, впервые превысив показатели, достигнутые в СССР, когда в 1987 году по СМП было перевезено 6,7 млн. т. В 2018 году рост перевозок обусловлен результатом досрочного ввода в эксплуатацию второй и третьей технологических линий «Ямал-СПГ». В 2019 году рост грузопотока произошел за счет реализаций новых проектов по добыче углеводородов и угля в Арктике. Также выросли объемы отгружаемой нефти с Арктического отгрузочного нефтяного терминала Новопортовского месторождения Вороты Арктики. К 2022 году объем перевозок по СМП составил 34 млн. т, увеличившись относительно 2015 года на 28,6 млн. т. В 2023 году планируется нарастить грузопоток по СМП до 36 млн. т (рисунок 2).

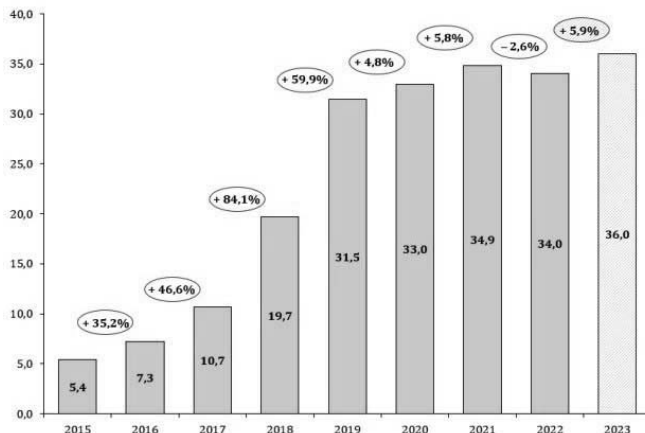


Рисунок 2 – Объем перевозок по СМП, 2015-2023., млн. т.
(Источники: Минтранс России, ГК «Росатом»)

Стоит отметить, что основными направлениями грузопотоков по СМП являются:

- азиатско-европейское направление: доставка товаров из Азии в Европу. Грузопотоки включают в себя как контейнеры, так и сжиженный природный газ (СПГ);
- арктическое направление: доставка грузов из Северной Европы в Азию и наоборот. В основном, это грузы на экспорт, такие как нефть, газ и другие ресурсы;
- внутреннее направление: доставка грузов между портами в северных регионах России, без охвата международных маршрутов;
- транзитное направление: транзитный транспорт грузов через СМП из Европы в Азию или наоборот.

Таким образом, анализируя рисунок 2, можно сделать вывод, что объёмы грузоперевозок на СМП в 2022 г. выросли более чем в 6 раз по сравнению с 2015 г. Объёмы продолжают наращаться и в 2023 году. СМП может стать альтернативой не только Суэцкого канала, но и «Суэцко-Сингапурского» морского пути.

Модернизация системы гидрометеорологического обеспечения безопасности мореплавания в акватории Северного морского пути. Развитие Северного морского пути невозможно без своевременного и качественного учета надежных данных о фактическом и ожидаемом состоянии метеорологической и гидрологической обстановки. Мореплавание в акватории СМП, в первую очередь, связано с экстремальными климатическими условиями Арктической зоны Российской Федерации, а также с наличием тяжелых льдов большую часть

года. Безопасность и эффективность функционирования Северного морского пути как транспортной системы российской Арктики зависит от полноты и качества гидрометеорологической информации, предоставляемой организациями Росгидромета и используемой при планировании и осуществлении морских операций.

Поэтому развитие системы гидрометеорологического обеспечения является необходимым условием снижения рисков, в том числе экологических, связанных с планируемым значительным увеличением объемов перевозок по акватории Северного морского пути.

Система мер, направленных на повышение эффективности комплексной системы прогнозирования, определена в Стратегии развития гидрометеорологической деятельности. В соответствии с её основными положениями реализуются следующие инструменты: на стадии наблюдения – модернизация и развитие наземных пунктов наблюдений, а также восстановление космической подсистемы наблюдений; на стадиях сбора, анализа и прогноза – применение новых методов, моделей и технологий с использованием суперкомпьютеров и современных средств связи. При предоставлении прогнозов и предупреждений таким инструментом является внедрение новых технологий обеспечения пользователей информацией.

В соответствии с Положением о Федеральной службе по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 23.07.2004 № 372, Росгидромет осуществляет обеспечение органов государственной власти, Вооруженных Сил Российской Федерации, а также населения информацией о фактическом и прогнозируемом состоянии окружающей среды, ее загрязнении, в том числе в акватории Северного морского пути.

В целях выполнения приоритетных национальных задач, направленных на развитие арктического региона Российской Федерации, Росгидрометом в рамках новой редакции государственной программы «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации» планируется улучшить систему гидрометеорообеспечения в Арктике посредством:

- модернизации и расширения в прибрежной зоне и островах арктических морей сети гидрометеорологических наблюдений;
- модернизации системы сбора информации и связи в условиях обслуживаемых и автоматических измерений на объектах арктической сети;
- развития технологий гидрометеорообеспечения морского транспорта с учетом современных достижений в области информационных и телекоммуникационных технологий.

Обновление и развитие российской системы гидрометеорологического обеспечения в Арктике позволит выйти на конкурентный уровень в области информационного обеспечения различных групп потребителей и повысить уровень гидрометеорологической безопасности морской деятельности в замерзающих акваториях России

Заключение. В ближайшие несколько лет требования к объему, надежности и оперативности гидрометеорологического обеспечения мореплавания в акватории Северного морского пути значительно возрастут. Это связано с ожидаемым многократным увеличением грузопотока и существенным изменением состава транспортного флота. Активное освоение месторождений на побережье арктических морей приведет к стремительному росту объемов морской транспортировки углеводородного сырья. Речь идет о круглогодичном вывозе углеводородов как в западном, так и в восточном направлениях из трех портов в Карском море: Сабетта (сжиженный природный газ), Диксон (каменный уголь) и Новый Порт (нефть). Роль гидрометеорологического обеспечения в системе обеспечения мореплавания по СМП еще более возрастет в результате использования современных крупнотоннажных судов большой мощности и высокой ледовой проходимости.

1. Афонин А.Б. Концепция развития судоходных трасс акватории Северного морского пути / А.Б. Афонин, А.Л. Тезиков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2017 г. – Т. 9. – № 1. – С. 81–87.
2. Каплин П.А., Леонтьев О.К., Лукьянова С. Берега. – М., 1991 г. – С. 58 – 71.
3. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204. О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 г. [Электронный ресурс] – URL: <http://static.kremlin.ru/> (дата обращения: 07.09.2023 г.).
4. Постановление Правительства РФ от 23 июля 2004 г. N 372 "О Федеральной службе по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды" (с изменениями и дополнениями). [Электронный ресурс] – URL: <https://www.meteorf.gov.ru/> (дата обращения: 07.09.2023 г.).
5. Смирнов А.А. Перспективы развития Северного морского пути (к 55-летию атомного ледокольного флота России) / А.А. Смирнов, С.А. Головинский // Арктика: экология и экономика. – 2014 г. – № 4 (16). – С. 108–114.

АНАЛИЗ КОНВЕКТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ВОСТОЧНЫХ ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ СУБЭКВАТОРИАЛЬНОГО ПОЯСА ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЯ АФРИКАНСКОГО КОНТИНЕНТА

Закусиллов В.П., Буи Т.Д., Базаррагчаа Ц.Э.

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
zakusilov04@yandex.ru

Аннотация. В статье приведен анализ развития мощно-кучевой, кучево-дождевой облачности и возникновения гроз в восточных прибрежных районах субэкваториального пояса южного полушария Африканского континента. Результаты могут быть использованы как уточненные климатические данные при метеорологическом обеспечении авиации.

Ключевые слова. Субэкваториальный пояс, южное полушарие, Африканский континент, конвективная облачность, повторяемость гроз, прибрежный район.

ANALYSIS OF CONVECTIVE ACTIVITY IN THE EASTERN COASTAL AREAS OF THE SUBEQUATORIAL ZONE OF THE SOUTHERN HEMISPHERE THE AFRICAN CONTINENT

Zakusilov V.P., Buoyts T.D., Bazarragchaa Ts.E.

Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy»

Annotation. The article analyzes the development of powerful cumulus, cumulonimbus clouds and the occurrence of thunderstorms in the eastern coastal regions of the subequatorial zone of the southern hemisphere of the African continent. The results can be used as updated climatic data for meteorological support of aviation.

Keywords. Subequatorial belt, southern hemisphere, African continent, convective cloud cover, thunderstorm recurrence, coastal region.

Гроза – это комплексное явление образования и развития кучево-дождевого облака, которое сопровождается многократными электрическими разрядами в виде молнии и звуковым эффектом, называемым громом [1,2].

При поражении самолета молнией нередко выходят из строя радиосредства, средства связи и навигации, электросиловое оборудование, могут разрушаться диэлектрические и даже металлические конструкции самолета. Иногда поражение самолета молнией приводит и к гибели людей [3].

Возникновение гроз тесным образом связано с развитием конвективной облачности, в которой наблюдаются интенсивные вертикальные движения, обуславливающие наличие интенсивных зон турбулентности и образование крупных ледяных кристаллов. Присутствуют и другие опасные для авиации факторы. По этим причинам летательным аппаратам запрещается подходить к грозовым облакам ближе 10 км. Учет условий развития конвекции в конкретном районе необходим для качественного прогнозирования гроз [1].

В качестве исходных данных использованы ежесуточные срочные наблюдения за погодой аэропорта Дар-Эс-Салам (республика Танзания), который располагается в южном полушарии, на восточном побережье Африки, в субэкваториальном климатическом поясе. Данные, привлекаемые к исследованию, включали в себя суточные наблюдения за развитием конвективной (мощно-кучевой, кучево-дождевой) облачности и возникновением внутримассовых гроз с фиксацией их продолжительности в течение суток по шестичасовым отрезкам времени. Выборка охватывала все календарные месяцы, длина ее составила 5 лет (с 2017 по 2021 год).

В результате статистической обработки исходных данных и анализа полученных результатов, выявлено среднее распределение числа дней с конвективной (мощно-кучевой, кучево-дождевой) облачностью и грозами по месяцам, выявлено количество дней и средняя продолжительность мощно-кучевой, кучево-дождевой облачности и гроз по месяцам, получено распределение их по шестичасовым временным отрезкам в течение суток по периодам: 0-6, 6-12, 12-18, 18-24 часов.

Анализ развития конвективной (мощно-кучевой, кучево-дождевой) облачности

Продолжительность (часы) конвективной облачности по месяцам приведена на рисунке 1.

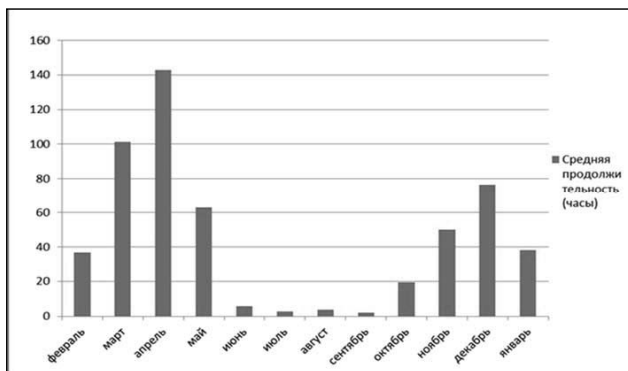


Рисунок 1 – Средняя продолжительность конвективной облачности по месяцам

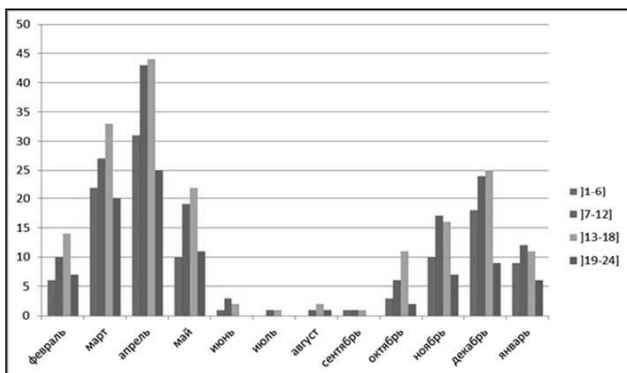
Выявлено, что конвективная облачность по району аэропорта Дар-Эс-Салам наблюдается в течение всего года. Главной особенностью является наличие двух максимумов и ярко выраженного одного минимума. По числу случаев и средней ее продолжительности конвективной облачности больше приходится на период с февраля по май и несколько меньше на период с октября по январь месяцы с максимумом в первом периоде в апреле – 28 дней (продолжительность около 143 часов), во втором периоде в декабре – 22 дня (продолжительность около 77 часов), меньше всего дней с конвективной облачностью наблюдается в периоде с июня по сентябрь, с минимумом в июле и сентябре

месяце, когда наблюдается в среднем около 2 дней с конвективной облачностью, общей продолжительности 2-3 часа.

Выявленная особенность годового хода распределения конвективной облачности присуща территориям, расположенным в широтах субэкваториального климатического пояса восточного побережья Африки. С данной особенностью связано выделение в этих широтах двух сезонов дождей.

Продолжительность существования конвективной облачности по шестичасовым временным отрезкам в течение суток за весь период по месяцам года представлено на рисунке 2. Из него следует, что во всех рассматриваемых месяцах продолжительность существования конвективной облачности больше в период 12-18 часов и чуть меньше в период 6-12 часов. Особенно хорошо это прослеживается по первому периоду с февраля по май. Средняя продолжительность в часах конвективной облачности в течение суток по периодам распределена следующим образом: 0-6 часов – 69; 6-12 часов – 99; 12-18 часов – 113; 18-24 часов – 63.

Промежуток времени с 6 до 18 часов соответствует периоду светового дня в экваториальных и субэкваториальных широтах, а соответственно, и периоду начала прогрева – периоду максимального прогрева воздуха. Это наиболее благоприятные условия для развития термической конвекции. Значительно меньше продолжительность существования конвективной облачности отмечается в период с 18-24 часов. В этот временной отрезок практически термическая конвекция отсутствует.



Диапазоны времени:

1 – [0-6]; 2 – [6-12]; 3 – [12-18]; 4 – [18-24]

Рисунок 2 – Продолжительность существования конвективной облачности по шестичасовым временным отрезкам в течение суток по месяцам

Средняя продолжительность существования конвективной облачности в часах по исследуемым временным отрезкам за весь год в целом приведена на диаграмме на рисунке 3.

Из анализа рисунка также следует существенное превышение продолжительности существования конвективной облачности в период 12-18 часов, несколько меньше в период 6-12 часа, еще чуть меньше в период 0-6 часов и существенно меньше в оставшееся время 18-24 часов.

Анализ грозовой деятельности

Анализ грозовой деятельности в районе аэропорта Дар-Эс-Салам проведен по аналогии с выше изложенным. Продолжительность гроз по месяцам года приведена на рисунке 4. Выявлено, что грозная деятельность на исследуемой территории не наблюдается в течение

всего года, а отмечается только в течение восьми месяцев. Годовое распределение среднего числа дней с грозами и их продолжительность в целом схожа с годовым ходом распределения конвективной облачности: в повторяемости количества дней и их продолжительности выделяется два периода: с февраля по май (период с большим количеством и продолжительностью гроз) и с октября по январь (период с относительно меньшим количеством и продолжительностью гроз).

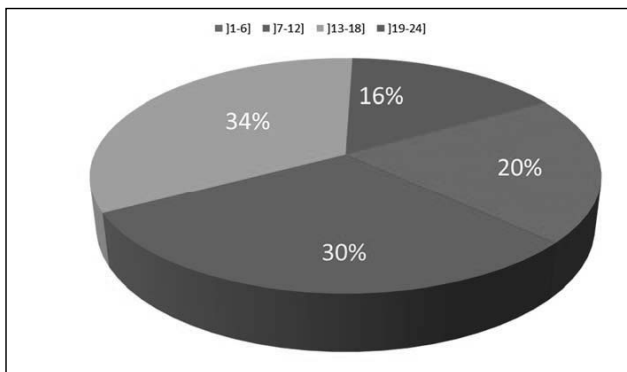


Рисунок 3– Повторяемость конвективной облачности по исследуемым временным отрезкам за год

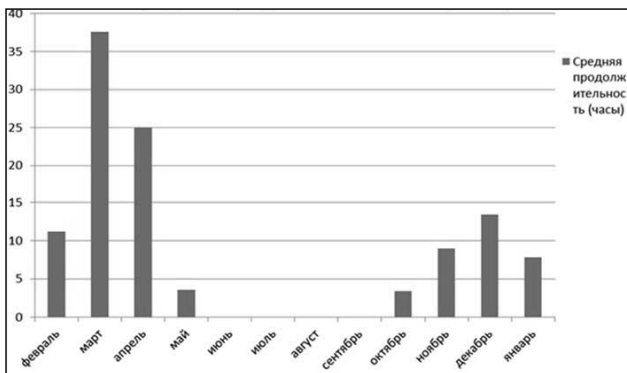


Рисунок 4 – Средняя продолжительность гроз по месяцам

Данные периоды синхронно связаны с периодами, выявленными ранее, когда отмечается максимальная продолжительность конвективной облачности. По среднему числу дней и средней продолжительности гроз в месяц значительно больше приходится в первом периоде на март – примерно 17 дней (продолжительность около 38 часов), во втором периоде на декабрь – чуть больше 7 дней (продолжительность чуть больше 13 часов). Несколько меньше отмечается в апреле (13 дней, 25 часов), еще меньше в январе, феврале, ноябре (4-5

дней, 8-11 часов), значительно меньше в октябре, мае (около 2 дней, 3,5 часа). В период с июня по сентябрь гроз в районе аэропорта Дар-Эс-Салам не наблюдается.

Продолжительность существования конвективной облачности по шестичасовым временным отрезкам в течение суток за весь период по месяцам года, а также суммарное значение за год по данным периодам представлено на рисунках 5, 6.

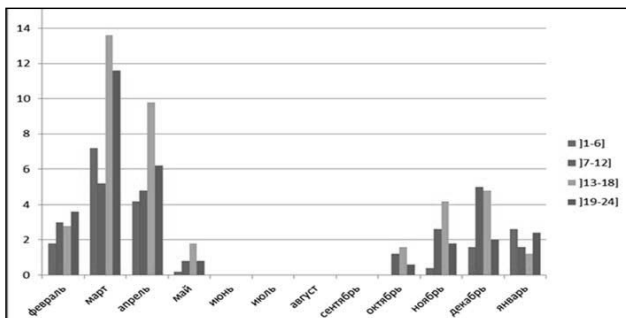


Рисунок 5 – Продолжительность гроз по шестичасовым временным отрезкам в течение суток по месяцам

Из рисунков 5, 6 следует, что почти во всех рассматриваемых месяцах продолжительность гроз больше в период 12-18 часов, то есть в период максимального прогрева воздуха и наиболее благоприятных условий для развития термической конвекции, несколько меньше в период 18-24 (период разрушения кучево-дождевой облачности и затухания грозовой деятельности), еще меньше в период 6-12 часов (период начала развития конвекции) и существенно меньше в оставшееся время 0-6 часов.

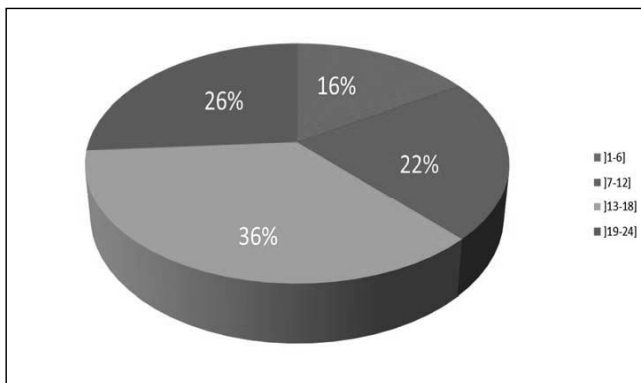


Рисунок 6 – Продолжительность гроз в часах по исследуемым временным отрезкам за период грозовой деятельности

Проведенный в работе анализ развития конвективной облачности и возникновения гроз в восточных прибрежных районах субэкваториального пояса южного полушария Африканского континента (аэропорт Дар-Эс-Салам) могут быть использованы как

уточненные климатические данные при метеорологическом обеспечении авиации в данном районе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богаткин О.Г. Основы авиационной метеорологии. Учебник. - СПб.: Изд. РГГМУ, 2009. 339 с.
2. Богаткин О.Г., Еникеева В.Д. Анализ и прогноз погоды: для авиации. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 231 с.
3. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1997. 711 с.

ПОВТОРЯЕМОСТЬ ГРОЗ В КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ И ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ СУБЭКВАТОРИАЛЬНЫХ ШИРОТ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АФРИКАНСКОГО КОНТИНЕНТА

Закусиллов В.П., Янсане И.С.

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
zakusilov04@yandex.ru

Аннотация. В статье уточнен период активной грозовой деятельности и проведен сравнительный анализ повторяемости гроз в континентальных и прибрежных районах субэкваториальных широт западной части Африканского континента.

Ключевые слова. Субэкваториальный климат, Африканский континент, повторяемость гроз, континентальный район, прибрежный район, сравнительный анализ.

THE FREQUENCY OF THUNDERSTORMS IN THE CONTINENTAL AND COASTAL AREAS OF THE SUBEQUATORIAL LATITUDES OF THE WESTERN PART OF THE AFRICAN THE CONTINENT

Zakusilov V.P., Yansane I.S.

Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N.E. Zhukovsky and Y.A.
Gagarin Air Force Academy»

Annotation. The article clarifies the period of active thunderstorm activity and provides a comparative analysis of the frequency of thunderstorms in the continental and coastal areas of subequatorial latitudes of the western part of the African continent.

Keywords. Subequatorial climate, African continent, frequency of thunderstorms, continental region, coastal region, comparative analysis.

Гроза – это совокупность атмосферных явлений, связанные с образованием конвективной облачности, которое сопровождается электрическими разрядами (молнией) и характерным звуком в виде грома, что обычно сопровождается выпадением ливневых осадков. Это результат неустойчивости атмосферы, которой способствуют восходящие потоки воздуха и интенсивное развитие кучево-дождевой облачности.

Полеты авиации в зоне грозовой деятельности запрещены, так как они связаны с большими трудностями и опасны для самолета и экипажа, особенно при входе в кучево-дождевые (грозовые) облака и при полете вблизи них из-за сильной турбулентности, разрядов молний и града [1].

Грозы нередко сопровождаются шквалистыми ветрами, иногда достигающими ураганной силы, которые могут разрушить аэродромные сооружения, опрокинуть и поломать самолеты. При грозах выпадают обильные ливневые дожди, которые в течение короткого времени могут сделать грунтовой аэродром непригодным для взлета и посадки [2,3].

В процессе функциональной деятельности военного инженера-метеоролога особенно

важен точный прогноз опасных для авиации явлений погоды, в том числе кучево-дождевых облаков и грозовой деятельности. Как известно, точность прогнозов во многом зависит от учета местных физико-географических условий [4].

Целью работы является исследование повторяемости возникновения гроз на территории республики Гвинея, выявление климатических особенностей их пространственно-временного распределения в континентальных и прибрежных районах, которые могут быть использованы при прогнозировании гроз с учетом местных физико-географических особенностей территории.

Для Гвинеи характерен субэкваториальный климат, с чередованием резко выраженных влажного и сухого сезонов. Продолжительность влажного сезона от 7–10 мес. (с марта–мая по октябрь–ноябрь) на юге страны, до 3–5 мес. (с июня по октябрь) на северо-востоке. Осадков в год выпадает от 1200–1500 мм во внутренних районах Гвинеи, до 4000 мм на побережье (в районе Конакри – до 4300 мм). Средние температуры самого тёплого месяца (март–апрель) – на побережье 27–30°C, во внутренних районах – 23–27°C; самого холодного (август) – соответственно 24–26°C и 18–24°C. В сухой сезон во внутренних районах, подверженных иссушающему воздействию ветра харматан, дневные температуры нередко поднимаются до 38°C.

По природным условиям Гвинея характеризуется наличием четырех географических зон с запада на восток: Приморская Гвинея или Нижняя Гвинея; Средняя Гвинея, состоящая из высокогорных и гористых земель, исток многочисленных рек; Верхняя Гвинея – зона саванн и Лесная Гвинея, на дальнем востоке республики.

В работе проведено уточнение повторяемости возникновения гроз на территории республики Гвинея в континентальных и прибрежных районах. Анализ грозовой деятельности проведен по месяцам в течение всего года, с детализацией особенностей возникновения гроз в течение суток по современным данным. Данные, привлекаемые к исследованию включали в себя суточные наблюдения с фиксацией продолжительности гроз. Наблюдения анализировались за 5-летний период: с 2017 по 2021 годы по данным аэропортов Конакри (прибрежный район) и Канкан (континентальный район).

Распределение числа дней с грозами по месяцам характерное для континентальных районов республики Гвинея приведено на рисунке 1. Из анализа рисунка следует, что в континентальном районе грозы наблюдаются в период с апреля по ноябрь с максимумом (23–26 дней) с июля по сентябрь, умеренное количество наблюдается в мае–июне и октябре (11–17 дней). В период с декабря по март грозы практически не наблюдаются. Это подтверждается и общей продолжительностью гроз. В период максимальной активности грозовой деятельности средняя продолжительность гроз составляет 125–156 часов в месяц, в период умеренной активности – 63–84 часов в месяц.

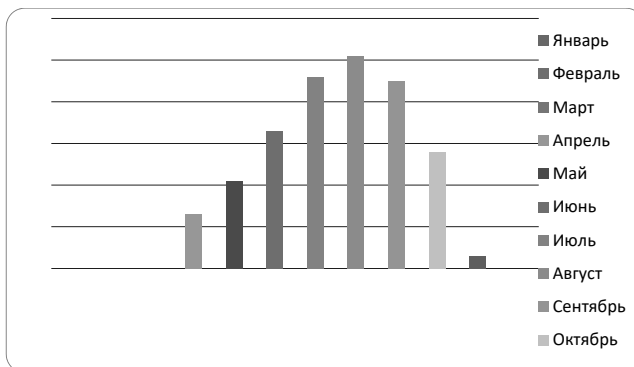


Рисунок 1 – Распределение среднего числа дней с грозой по месяцам (континентальный район)

Распределение числа дней с грозами по месяцам характерное для прибрежных районов Гвинеи приведено на рисунке 2. Из анализа рисунка следует, что в прибрежном районе Гвинеи грозы наблюдаются в период с апреля по ноябрь и имеют два максимума: июнь-июль (16-17 дней) и сентябрь-октябрь (17-19 дней), умеренное количество наблюдается в мае (12 дней), августе (13 дней) и ноябре (8 дней). То есть абсолютный максимум смещается с августа на октябрь. В период с декабря по март грозы практически не наблюдаются. Это подтверждается данными и по общей продолжительности гроз. В период максимальной активности грозовой деятельности в данном районе средняя продолжительность гроз составляет в первый максимум 76-89 и во второй – 91-94 часа часов в месяц, в период умеренной активности – 47, 67 и 24 часа в месяц соответственно.

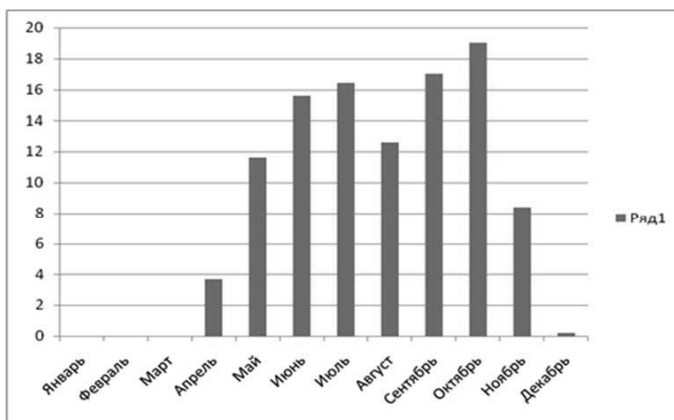


Рисунок 2 – Распределение среднего числа дней с грозой по месяцам (прибрежный район)

Следует отметить в целом меньшую активность грозовой деятельности в прибрежных районах по отношению к континентальным.

Продолжительность гроз в континентальных районах по шестичасовым временным отрезкам в течение суток: [0-6], [6-12], [12-18], [18-24] часов по месяцам, а также в среднем за весь период, представлено на рисунках 3, 4.

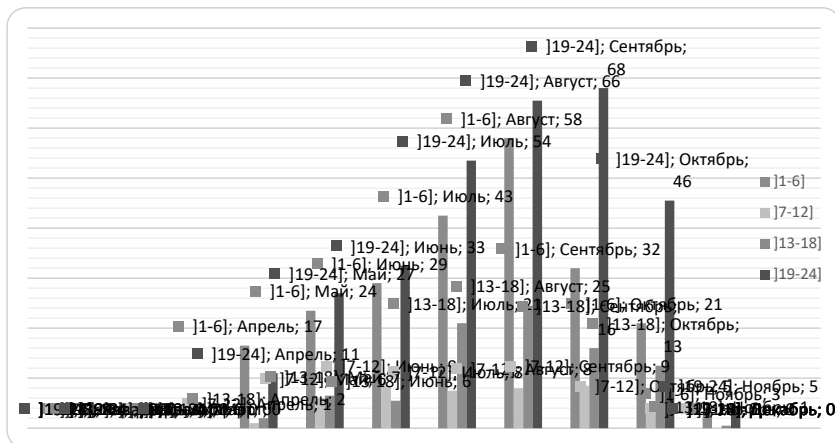


Рисунок 3. – Продолжительность гроз по шестичасовым временным отрезкам в течение суток по месяцам в континентальном районе

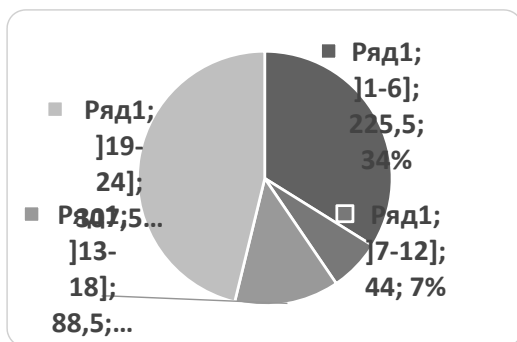


Рисунок 4 – Средняя продолжительность гроз (%) по исследуемым временным отрезкам за год в континентальном районе

Из рисунка 3 следует, что во всех рассматриваемых месяцах продолжительность гроз значительно больше в период с 18 до 24 часов, а также в период с 00 до 06 часов (ночные грозы) то есть в период максимального прогрева воздуха и наибольших контрастов температуры между воздушной средой и подстилающей поверхностью, что свойственно для экваториальных широт. Это благоприятные условия для развития термической конвекции.

Это подтверждается и распределением средней продолжительности гроз по исследуемым временным отрезкам за год в континентальном районе, приведенной на рисунке 4: 46% гроз приходится на временной период с 18 до 24, 34% на период с 00 до 06 и только 20% на оставшуюся половину суток с 06 до 18 часов.

Продолжительность гроз в прибрежных районах по шестичасовым временным отрезкам в течение суток: [0-6], [6-12], [12-18], [18-24] часов по месяцам, а также в среднем за весь период, представлено на рисунках 5, 6.

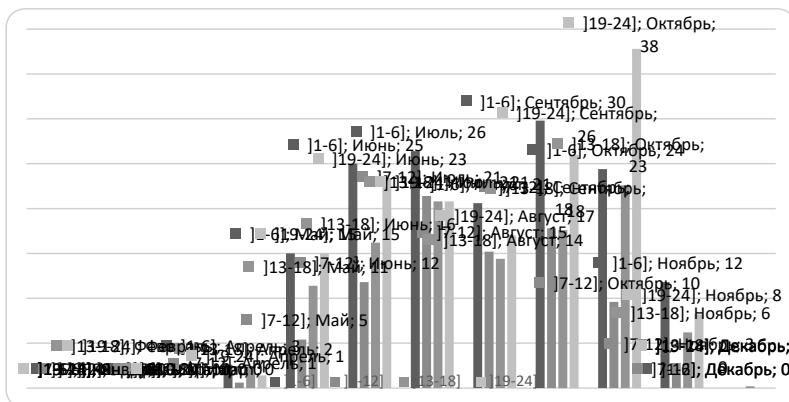


Рисунок 5 – Продолжительность гроз по шестичасовым временным отрезкам в течение суток по месяцам в прибрежном районе

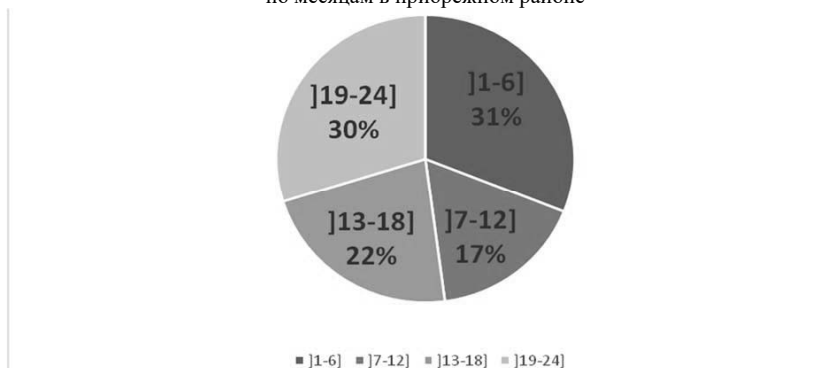


Рисунок 6 – Средняя продолжительность гроз (%) по исследуемым временным отрезкам за год в прибрежном районе

Из анализа рисунка 5 следует, что во всех рассматриваемых месяцах продолжительность гроз в прибрежном районе, в отличие от континентального района, значительно больше в период с 00 до 06 часов (за исключением октября), а также в период с 18 до 24 часов, то есть в период наибольших контрастов температуры между воздушной средой и подстилающей поверхностью, что свойственно для экваториальных широт. Это благоприятные условия для развития термической конвекции.

Это подтверждается и распределением средней продолжительности гроз по исследуемым временным отрезкам за год в прибрежном районе, приведенной на рисунке 6: 30% гроз приходится на временной период с 18 до 24, 31% на период с 00 до 06 и 39% на оставшуюся половину суток с 06 до 18 часов, что значительно больше чем в континентальном районе.

Из проведенного исследования можно сделать обобщенный вывод:

1. Период грозовой деятельности на территории республики Гвинея длится 8 месяцев (с апреля по ноябрь),

2. Наиболее активная грозовая деятельность отмечается в континентальных районах республики.

3. Период активной грозовой деятельности в континентальных районах отмечается с июля по сентябрь (23-26 дней в месяц), в прибрежных в период июнь-июль (16-17 дней) и в сентябре-октябре (17-19 дней).

4. Большая продолжительность грозовой деятельности в течение суток отмечается в ночное время в период с 18 до 06 часов (для континентальных районов это 80% случаев с грозами, для прибрежных районов – 61%).

Выявленные особенности грозовой деятельности на территории республики Гвинея могут быть использованы при фоновом прогнозе гроз по территории республики, а также как исходные данные для расчетно-графических способов прогноза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богаткин О.Г. Основы авиационной метеорологии. Учебник. - СПб.: Изд. РГГМУ, 2009. 339 с.
2. Богаткин О.Г., Еникеева В.Д. Анализ и прогноз погоды: для авиации. Л.: Гидрометеониздат, 1985. 231с.
3. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеониздат, 1997. 711 с.
4. Скирда И.А., Ульшин И.И., Мартышкин А.Б. Авиационные прогнозы погоды. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2014. 475 с.

НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Кузнецов И.Е., Шuvaкин Е.В., Смирнов М.В.

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж
argentina_85@mail.ru

Аннотация. Рассматривается пути совершенствования системы гидрометеорологического обеспечения путем внесения предложения по внедрению подсистемы поддержки принятия метеозависимых решений, позволяющей специальным образом обобщать метеорологическую информацию и представлять потребителю выводы из оценки обстановки в необходимом виде.

Ключевые слова. Арктика, система гидрометеорологического обеспечения, гидрометеорологическая безопасность.

DIRECTIONS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF THE HYDROMETEOROLOGICAL SUPPORT SYSTEM UNDER A CHANGING CLIMATE

Kuznetsov I.E., Shuvakin E.V., Smirnov M.V.

MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)

Annotation. We are considering ways to improve the hydrometeorological support system by making a proposal for the introduction of a subsystem for supporting weather-dependent decision making, which allows us to specially summarize meteorological information and present the conclusions from the assessment of the situation to the consumer in a categorized form.

Keywords. Arctic, hydrometeorological support system, hydrometeorological safety.

Сложившаяся к настоящему моменту времени военно-политическая обстановка характеризуется крайним обострением комплекса военных опасностей и угроз безопасности Российской Федерации, связанных с наличием глобальных противоречий и интересов ряда государств объединившегося Запада [1].

Существующие внешние опасности, выражающиеся территориальными претензиями некоторых государств, имеют тенденцию к обострению, в том числе, ввиду климатических изменений и связанных с ними политическими, экономическими, социальными и экологическими последствиями и требуют от Вооруженных Сил обеспечения защиты суверенитета международных прав и национальных интересов государства в ряде регионов.

Происходящие в настоящее время глобальные изменения климата [2] предопределяют необходимость их учета в качестве одного из ключевых долговременных факторов безопасности Российской Федерации [3, 4] и выдвигают проблему адаптации к климатическим изменениям в число приоритетов государственной политики.

Кроме того, большей частью мирового научного сообщества прогнозируется дальнейшее усиление негативных для человека глобальных климатических процессов. В связи с этим особое значение приобретает разработка на национальном и международном уровнях климатических политик, включающих меры по адаптации к произошедшим изменениям, а также по смягчению их последствий [5].

В виду существующих тенденций климатических изменений Арктика приобрела статус особых экономических и стратегических интересов множества государств. По некоторым оценкам здесь находятся более четверти мировых неразведанных запасов углеводородов. Через Акваторию Арктики проходит СМП – кратчайший водный маршрут между Европой и Азией. Неразделенность границ и наличие спорных участков акваторий Северного ледовитого океана в борьбе за доступ к перспективным природным ресурсам приводит к столкновению интересов ведущих зарубежных стран, связанных с освоением богатейших недр и развитием транспортных коммуникаций в регионе потенциально несет в себе угрозы военной безопасности России.

Для нейтрализации возможных военных угроз [6], Министерством обороны РФ проводятся мероприятия, направленные на увеличение боевого потенциала в Арктическом регионе. Опыт современных войн и вооруженных конфликтов, а также военные учения с использованием авиации, как основы в обеспечении, перевозке и огневой поддержке войск показали, что на ведение боевых действий и боеспособность авиационных воинских формирований (АВФ) как в мирное, так и в военное время, существенные ограничения накладывают специфические климатические условия. Эта специфика заключается в комплексном воздействии климатических факторов на личный состав, вооружение, военную и специальную технику (ВВСТ) и объекты военной авиационной инфраструктуры, объединенных между собой в организационно-техническую систему. Кроме того, безангарная эксплуатация авиационной техники в таких климатических условиях приводит к возрастанию параметра потока отказов, с уменьшением среднего времени между критичными отказами и потерю показателя надежности техники в целом [7]. При этом значительно возрастает трудоемкость технического обслуживания, время подготовки к вылету, что приводит к снижению коэффициента боевой готовности авиации.

Анализ физико-географических особенностей России, существующих тенденций климатических изменений [2, 8, 9], требований нормативно-правовых документов и результатов современных научных исследований по оценке влияния неблагоприятных погодных условий на функционирование авиационных метеозависимых систем показали, что снижение боевых возможностей и эффективности выполнения задач АВФ происходят в районах с экстремальным климатом. Влияние экстремальных погодных условий при современных тенденциях климатических изменений обуславливают дальнейшее снижение гидрометеорологической безопасности АВФ в Арктической зоне путем увеличения аномалий холода, роста количества опасных явлений погоды, деградации вечной мерзлоты и т.д.

В трудах ведущих научных исследователей в области климатологии [10–16] сформулированы основные подходы адаптации к климатическим изменениям и обеспечению потребителя специализированной климатической информацией, позволяющие снижать влияние неблагоприятных погодно-климатических условий, вырабатывать рекомендации по

адаптации к ним и принимать на их основе управленческие решения. Однако, данные подходы не в полной мере позволяют оценить влияние погодно-климатических условий, не учитывают специфику функционирования АВФ, не в полной мере позволяют оценить долгосрочное воздействие климатических изменений на личный состав, ВВСТ и объекты авиационной инфраструктуры, и, тем самым, для органов военного управления являются малоинформативными. Кроме того, существующие методики гидрометеорологического обеспечения не всегда возможно адекватно применять ввиду отсутствия необходимой метеорологической и климатической информации. Это обусловлено рядом организационно-управленческих и научно-технических проблем, требующих современного научно-методического обоснования.

Данные проблемы выражаются в функционировании системы гидрометеорологического обеспечения [17], а именно:

подсистема централизованного сбора и распространения гидрометеорологической информации не позволяет в полной мере организовать и поддерживать на территории Российской Федерации сеть гидрометеорологические наблюдений, наблюдений за климатом, включая факторы состояния атмосферы, формирующие климат, и атмосферные индикаторы его изменения;

подсистема обработки и анализа гидрометеорологической информации не позволяет в достаточной степени детализировать прогноз для нужд конкретного потребителя;

система управления гидрометеорологическим обеспечением не позволяет своевременно и в полном объеме распределять потоки гидрометеорологической информации между потребителями и прогностическими органами;

сеть гидрометеорологических и аэрологических наблюдений редкая, особенно в районах Арктического региона, что, в свою очередь, обуславливает отсутствие оперативной информации по изменению погодных условий и снижает реакцию прогностических органов по доведению уточненной гидрометеорологической информации.

Наряду с этим требуется:

разработка системы критериев, параметров (пороговых значений), оценивающих условия гидрометеорологической безопасности и боеспособности АВФ в отношении изменения климата;

прикладные исследования в области оценки возможных в будущем изменений глобального и регионального климата, их последствий и мер адаптации к этим изменениям и внедрение научных результатов в практику функционирования объекты инфраструктуры, ВВСТ и личного состава АВФ.

Все это не позволяет с достаточной точностью применять известные глобальные модели общей циркуляции атмосферы для уточнения климатической информации. В связи с этим, возникает противоречие между необходимостью обеспечения специализированной погодно-климатической информацией потребителя с одной стороны, и отсутствием научно-методического комплекса ее получения и применения – с другой.

Выход из сложившейся ситуации требует разработки научно-методического аппарата, позволяющего получать надежную и достоверную метеорологическую и климатическую информацию, оценивать на ее основе влияние погодно-климатических условий и разрабатывать рекомендации и предложения по адаптационным мероприятиям лицу принимающему решение для эффективного и безопасного функционировании АВФ, особенно в условиях изменяющегося климата. Реализация данного аппарата повлечет за собой модификацию существующей системы гидрометеорологического обеспечения, которая будет ориентирована на решение вышеуказанного противоречия.

Так, в рамках организации подсистемы метеорологических наблюдений необходима сеть станций (постов), позволяющих производить наблюдения и передавать результаты в прогностический орган с максимально возможной территории в пределах зоны

ответственности. Возможным решением могло бы стать развертывание сети автоматических станций и постов.

Решение проблемы организации подсистемы централизованного сбора и распространения гидрометеорологической информации могло бы лежать в плоскости встраивания в систему полевой (стационарной) связи группировки. Но ограничения на использование ресурсов этой системы в полном объеме не удовлетворяет потребностям метеослужбы.

От подсистемы управления гидрометеорологическим обеспечением требуется не только возможность управлять силами и средствами, но и распределением потоков гидрометеорологической информации в звеньях: потребитель – прогностический орган – взаимодействующий орган. Для чего нужна соответствующая техническая основа.

В связи с этим встает вопрос о разработке простого и эффективного способа доведения гидрометеорологической информации до конечного потребителя в подготовленном для использования виде. Ввиду того, что время на анализ метеоусловий у лиц принимающих управленческие решения всех степеней весьма и весьма мало, степень подготовленности гидрометеорологической информации должна быть достаточной, чтобы потребитель смог быстро разобраться и принять решение.

Исходя из представленного анализа, возникает необходимость модификации существующей системы гидрометеорологического обеспечения, путем интегрирования в общую систему подсистему поддержки принятия метеозависимых решений. Структурная схема данной системы представлена на рисунке 1.

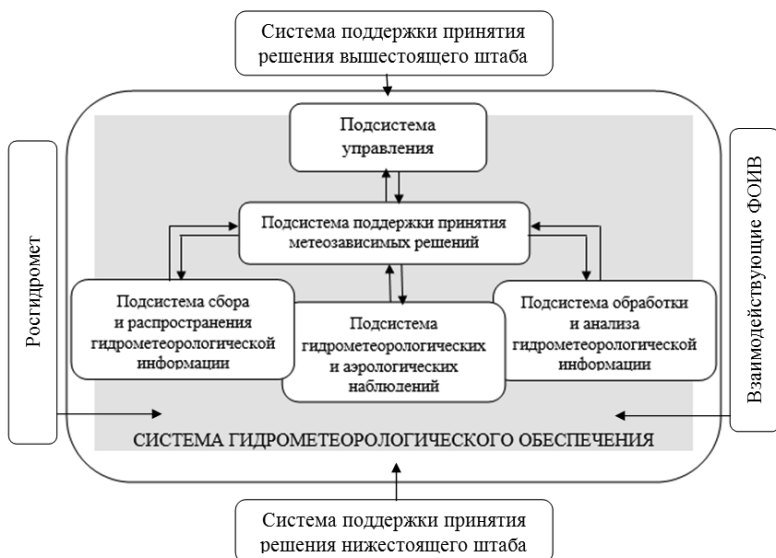


Рисунок 1 – Структурная схема модифицированной системы гидрометеорологического обеспечения

Таким образом, современные реалии диктуют потребность перехода к системам управления, способным обрабатывать большие объемы данных и в короткие сроки формировать простые и понятные выводы, уже на основе которых лицо принимающее

решение эффективно будет выполнять свои функции. Поэтому повсеместное внедрение систем «поддержки принятия решения», использования для задач анализа и управления нейросетей и искусственного интеллекта неизбежно, в том числе и в области управления гидрометеорологическим обеспечением. Решающим значением наряду с искусством лица принимающего решение будет играть совершенство указанных систем.

Дальнейшее развитие гидрометеорологического обеспечения должно быть ориентировано на обеспечение не отдельных видов деятельности, а на обеспечение выполнения конкретных комплексных задач с представлением конечному потребителю подготовленной для использования гидрометеорологической информацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилов А.Д., Грудинин И.В., Новиков В.А. Трансформация системы угроз национальной безопасности России и Специальная военная операция. Вестник Академии военных наук. 2023. № 1 (82). С. 6–17.
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: Общее резюме. М.: Росгидромет. 2014. 60 с.
3. Бедрицкий А.И., Куропат С.А., Вильфанд Р.М., Дмитриева В.А. Стратегические направления обеспечения экологической и гидрометеорологической безопасности России в условиях современных климатических изменений Вестник ВГУ, Серия: География. Геоэкология, 2019, № 4. С. 5–14.
4. Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2011. № 563 С. 7–59.
5. Лыжсин Д.Н. Климатическая политика США: проблемы и перспективы глобального лидерства. Проблемы национальной стратегии. 2021. № 3. С. 221–245.
6. Военная доктрина Российской Федерации. – Москва: ИНФРА-М, 2021. – 22 с.
7. Горбунов В.П. Надежность и эксплуатационная технологичность авиационной техники в условиях экстремально низких температур Арктики и Крайнего Севера / Перспективы развития видов обеспечения Военно-воздушных сил. Сб. тезисов пленарных докладов II Всероссийского форума с международным участием (15–17 марта 2023 г.) – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2023. С. 77–78.
8. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: Т. I. Изменения климата / под. Рук. В.П. Мелешко. – Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. 2008. – 228 с.
9. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: Т. II. Последствия изменения климата / под. рук. С.М. Семенова. – Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. 2008. – 289 с.
10. Модели и методы гидрометеорологического обеспечения организационно-технических систем в Арктической зоне Российской Федерации / Под ред. д.т.н. И.Е. Кузнецова. Монография. – Воронеж: Воронежский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, 2019. – 244 с.
11. Порфирьев Б.Н., Хлебникова Е.И. Строительство в условиях изменений климата в Арктике: риски и возможности их снижения // Экономика строительства. 2015. № 6 (36). С. 4–15.
12. Кобышева Н.В. Методика экономического обоснования адаптационных мероприятий, связанных с изменением и изменчивостью климата Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2014. № 574. С. 5–38.
13. Лексин В.Н., Порфирьев Б. Н. Специфика трансформации пространственной системы и стратегии переосвоения российской Арктики в условиях изменений климата // Экономика региона. – 2017. – Т. 13, Вып. 3. — С. 641-657.

14. Романовская А.А. Оценка приоритетности территориальных единиц России с целью адаптации к климатическим угрозам. Метеорология и гидрология. 2022. № 2. С. 53–61
15. Эдельгериев Р.С.Х., Романовская А.А. Новые подходы к адаптации к изменению климата на примере АЗ РФ Метеорология и гидрология. 2020. № 5. С. 12–18
16. Катцов В.М., Хлебникова Е.И., Школьник Н.М., Рудакова Ю.Л. Вероятностное сценарное прогнозирование регионального климата на основе разработки адаптационных программ в экономике РФ. Метеорология и гидрология. 2020. № 5. С. 46–58.
17. Уриши В.В., Воронешцев В.В., Попов Д.А., Тимофеев П.А. Информационно-расчетная задача оценки климатических характеристик и ожидаемых гидрометеорологических условий для планирования действий войск (сил) // Сборник научных статей по мат. I Всероссийской НПК «Методические аспекты развития метеорологии специального назначения, экологии и систем аэрокосмического мониторинга» 27–28 мая 2014 г. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА» 2014. С. 185–190.

МЕТОДИКА СВЕРХКРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ОСАДКОВ В ЗОНЕ АТМОСФЕРНЫХ ФРОНТОВ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА ПО РАДИОЛОКАЦИОННЫМ ДАННЫМ

Расторгув И.П., Матюшенцев Д.С., Ширяев Д.В.
Военно-воздушная академия, Воронеж
iprastor@yandex.ru

Аннотация. Представлена методика краткосрочного прогноза фронтальных осадков на основе данных радиолокационных наблюдений, адаптированная к использованию в оперативной работе ведомственных метеорологических подразделений в холодное время года на европейской территории Российской Федерации. Предложен алгоритм реализации результатов исследования для пунктов (территорий), имеющих специфические физико-географические условия и обеспеченность исходными данными.

Ключевые слова. Осадки, краткосрочный прогноз, атмосферный фронт, физико-географические особенности местности, радиолокационные метеорологические данные, доплеровские метеорологические радиолокаторы.

METHODOLOGY OF ULTRA SHORT-TERM PRECIPITATION FORECAST IN THE ZONE OF ATMOSPHERIC FRONTS IN THE COLD PERIOD OF THE YEAR ACCORDING TO DOPPLER WEATHER RADARS

Rastorguev I.P. , Matyushentsev D.S. , Shiryayev D.V.
Air Force Academy, Voronezh

Annotation. The method of short-term forecast of frontal precipitation based on radar observations adapted for use in the operational work of departmental meteorological units in the cold season in the European territory of the Russian Federation is presented. An algorithm for implementing the results of the study for points (territories) with specific physical and geographical conditions and availability of initial data is proposed.

Keywords. Precipitation, short-term forecast, atmospheric front, physical and geographical features of the terrain, radar meteorological data, Doppler meteorological radars.

Одним из основных факторов, оказывающих существенное влияние на безопасность и регулярность полетов в холодный период года, являются сильные и (или) продолжительные осадки [1]. Так в декабре 2021 года в условиях сильных снегопадов по данным отчетов Official Aviation Guide of the Airways было задержано более трети рейсов крупных российских авиакомпаний. По данным [2] 9% авиационных происшествий в гражданской авиации РФ, связанных с неблагоприятными внешними условиями, вызваны снегопадом и метелью и 8% – влиянием снежного покрова на ВПП.

Сильные (продолжительные) осадки оказывают сложное комплексное воздействие на авиационную организационно-техническую систему. В осадках ухудшается дальность видимости, возникают условия для сильного обледенения на различных этапах полета и гололедно-изморозевые образования на поверхностях элементов наземной инфраструктуры аэропортов. Помимо этого, сильные осадки, как правило, связаны с атмосферными фронтами, что обуславливает сильные сдвиги ветра, болтанку, метель.

Перечисленные факторы обуславливают актуальность дальнейшего совершенствования методов прогнозирования осадков. Основными направлениями дальнейшего развития подходов прогнозирования осадков являются расширение перечня исходной информации, построение прогностических правил дифференцированно по сезонам года, синоптическим ситуациям и отдельным территориям (пунктам).

В плане реализации указанных подходов в развитии исследований, изложенных в работах [3-5], было проведено исследование по разработке метода краткосрочного прогноза количества осадков в зоне атмосферных фронтов в холодный период года на основе комплексного использования данных наземных метеорологических, аэрологических и радиолокационных данных.

Использовались исходные данные, полученные с помощью модели ICON (с разрешением 13 километров) в приложении Ventusky.

Для отработки методики использовались данные по пункту Воронеж с ноября по март за 2018-2020 годы. Для проверки методики использовались данные наблюдений 2021 года. Всего выборка включала 152 случая для обучения и 47 случаев для проверки прогностических правил.

Алгоритм создания архивной выборки заключался в следующем.

1. По кольцевым и микрокольцевым картам погоды, начиная с января 2018 года, определялись случаи с осадками в зоне атмосферных фронтов.
2. По получасовым наблюдениям АМСГ аэропорта Воронеж определялись метеорологические условия на период влияния и прохождения атмосферного фронта.
3. В отдельном текстовом файле формулировалась «легенда» следующего вида: «С 21.30 2.01.19 по 19.30 3.01.19 снежные зёрна, снег, метель. Видимость 1200-4000 метров».
4. Открывались соответствующая дата и время на вкладке «Скорость ветра 700 гПа 3000м» и определялось, откуда идет погода (откуда вынос) на момент расчета по данным о скорости (f) и направлению (d) ведущего потока с коэффициентом 0,8 от V_{700} (рисунок 1):

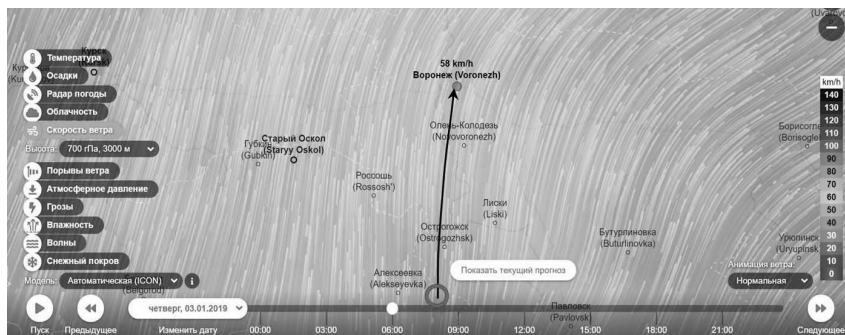


Рисунок 1 – Определение исходного района

5. На вкладке «Радар погоды» определялись характеристики радиолокационной отражаемости над пунктом базирования (I) и в районах, где ранее (за 3 и 6 часов) находился участок засветки (I₁ и I₂), вышедший к моменту прогноза к заданному пункту (рисунок 2):

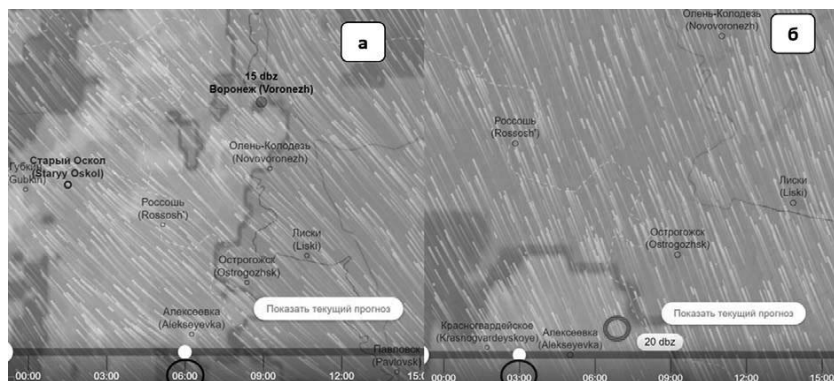


Рисунок 2 – Определение радиолокационной отражаемости в пункте прогноза (а) и в исходном районе (б)

6. На вкладке «Осадки за 3 часа» снимались данные за фактический срок в пункте прогноза R и за 3 и 6 часов до срока (R₁ и R₂) в соответствующих точках на траектории переноса по электронным картам за соответствующие сроки (рисунок 3).

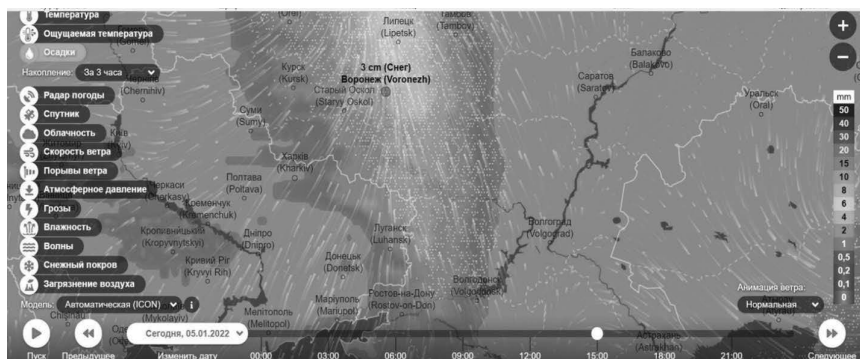


Рисунок 3 – Определение количества осадков (высоты снежного покрова) в пункте прогноза

7. В соответствующих закладках по пункту прогноза на момент разработки прогноза определялись давление (Р) и температура (Т) воздуха у поверхности земли.

8. Дополнительно определялись отклонение ведущего потока от зонального направления (ΔD_{12}) – для учета синоптической ситуации, изменения радиолокационной отражаемости (ΔI_{12}) и количества осадков (ΔR_{12}) на участке засветки за 6 и 3 часов до срока расчета.

9. Для учета суточного хода метеовеличин рассчитывалось отклонения от полуденного времени момента прогнозирования (Δt).

На следующем этапе были рассчитаны одномерные статистические характеристики элементов архивной выборки.

Из полученных данных, приведенных в таблице, можно сделать вывод о том, что представленные в выборке случаи охватывают практически весь диапазон значений метеовеличин в данный период года и, в целом, являются репрезентативными для рассматриваемых синоптических условий.

В архивную выборку были включены случаи с направлением переноса от 180 до 360°, что составляет более 95% от общего числа случаев выхода фронтальных систем облачности и осадков (выноса с восточной составляющей, соответствующих критериям отбора, в данный период не наблюдалось).

Отклонения распределены не равномерно с преобладанием юго-западного выноса и случаев с незначительными отклонениями ($\pm 20^\circ$). Поскольку от направления выноса воздушных масс зависит парных коэффициентов корреляции у количества осадков наблюдались со значениями радиолокационного эха и количеством осадков за предшествующие сроки (3-6 часов) – 0,39-0,62.

На следующем этапе исследования определялись количественные характеристики взаимосвязи исследуемых метеовеличин и характеристик радиолокационной отражаемости.

Наибольшие значения парных коэффициентов корреляции у количества осадков наблюдались со значениями радиолокационного эха и количеством осадков за предшествующие сроки (3-6 часов) – 0,39-0,62.

С учетом установленных взаимосвязей методом пошаговой линейной регрессии были построены уравнения для прогноза количества осадков на 3 часа. Параметры разработанных уравнений и их критерии успешности, полученные на независимой выборке, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры и критерии успешности прогностических уравнений

| Общая | β | параметр | t | p-уров. |
|-------|---------|----------|---|---------|
|-------|---------|----------|---|---------|

| Все явления (Ошибка: 0,91мм, R ² : 0,406) | | | | |
|--|-----------|--------|--------|----------|
| Св. член | | 0,674 | 2,567 | 0,013509 |
| R ₂ | 0,624503 | 0,729 | 5,553 | 0,000001 |
| T | 0,154711 | 0,037 | 1,375 | 0,001750 |
| Снег (Ошибка: 0,81мм, R ² : 0,503) | | | | |
| Св. член | | 0,646 | 2,321 | 0,027059 |
| R ₂ | 0,617559 | 0,652 | 4,629 | 0,000062 |
| ΔI ₁₂ | 0,220342 | 0,043 | 1,662 | 0,045110 |
| T | 0,249275 | 0,060 | 1,710 | 0,047190 |
| Δt | -0,235594 | -0,042 | -1,54 | 0,050344 |
| Дождь (Ошибка: 0,81мм, R ² : 0,785) | | | | |
| Св. член | | 0,865 | 0,634 | 0,054975 |
| R ₁ | 2,221845 | 2,482 | 3,417 | 0,014192 |
| T | -0,289834 | -0,164 | -1,465 | 0,019333 |
| I ₁ | -0,756432 | -0,107 | -2,183 | 0,041727 |
| ΔI ₁₂ | 0,978487 | 0,206 | 1,827 | 0,047546 |

При анализе полученных прогностических правил необходимо учитывать, что в выборку вошли случаи с выпадением снега, дождя и осадков в смешанной фазе. При построении уравнения для всех случаев средняя ошибка составила 0,91 мм и более половины влияющих факторов оказались не учтенными моделью (1-R²). В целях повышения качества прогностического правила были построены уравнения дифференцированно для случаев с жидкими и твердыми осадками (для смешанной фазы – недостаточный объем выборки). При этом средняя абсолютная ошибка в обоих случаях уменьшилась более чем на 10%. Однако в случае с прогнозом твердых осадков по-прежнему осталась высокая доля неучтенной моделью доли рассеяния прогнозируемой величины. Это может быть связано с особенностью определения количества осадков (в сантиметрах высоты выпавшего снега вместо миллиметров при жидких осадках). В целом, несмотря на погрешность прогноза менее, чем в 1 мм (толщина снежного покрова в сантиметрах – для твердых осадков), в некоторых случаях она достигала 40%, относительно абсолютного количества выпавших осадков. Причиной этого может быть использование модельных значений (поскольку регулярные наблюдения с требуемой для задач исследования дискретностью не проводятся), а также высокая погрешность данных о радиолокационной отражаемости и относительно узкий диапазон её значений в холодный период (5 и 30 децибел, соответственно).

При проверке разработанных прогностических правил для пунктов, находящихся в других физико-географических условиях, показатели их качества существенно снизились (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнительные значения критериев успешности прогностических уравнений

| Пункт | Все явления | Снег | Дождь |
|-----------------|-------------|------|-------|
| Воронеж | 0,91 | 0,81 | 0,81 |
| Санкт-Петербург | 1,97 | 1,10 | 1,6 |
| Ростов-на-Дону | 2,04 | 1,44 | 1,11 |

Критерии точности прогностических правил, разработанных для пункта Воронеж, для пунктов, удалённых на 500-1000 км, снизились до значений неприемлемых для практического использования.

На следующем шаге исследования, на местном аэросиноптическом материале были уточнены параметры уравнений (таблица 3).

Таблица 3 – Параметры прогностических уравнений

| Фаза осадков | Предикторы | Санкт-Петербург | Ростов-на-Дону |
|------------------------|------------------|-----------------|----------------|
| Без учета фазы осадков | Св. член | 0,821 | 0,714 |
| | R ₂ | 0,522 | 0,661 |
| | T | 0,112 | 0,093 |
| Снег | Св. член | 0,720 | 0,557 |
| | R ₂ | 0,443 | 0,490 |
| | ΔI ₁₂ | 0,043 | 0,077 |
| | T | 0,133 | 0,099 |
| Дождь | Св. член | 0,911 | 0,894 |
| | R ₁ | 1,722 | 1,401 |
| | T | -0,284 | -0,170 |
| | I ₁ | -0,096 | -0,100 |
| | ΔI ₁₂ | 0,186 | 0,164 |

За счёт уточнения параметров уравнения среднее значение абсолютной ошибки по Ростову-на-Дону снизилось до значений 1,34, 0,92, 0,98, соответственно для всех случаев (без учёта фазового состояния осадков), для снега и дождя.

По Санкт-Петербургу существенных изменений величины абсолютной ошибки не произошло. Поэтому, для данного пункта было проведено построение уравнений, начиная с подбора наиболее информативных предикторов. Для примера приводится уравнение для прогноза твёрдых осадков (снега):

$$I = 0,262\Delta I_{12} + 0,342\Delta T_{12} + 0,342\Delta R_{12} + 0,484 \quad (1)$$

Применение данного уравнения позволяет снизить среднюю абсолютную ошибку прогноза до 0,85 мм. Аналогичное уравнение для прогноза осадков жидкой фазы снижает ошибку с 1,6 до 1,02 мм.

Следующий аспект на который следует обратить внимание – это автоматизация процесса расчётов.

На завершающем этапе работы на языке программирования Visual Basic for Applications (VBA) был разработан программный продукт в целях оптимизации краткосрочного прогноза фронтальных осадков холодного периода года и представления результатов в удобной для пользователя форме.

Рабочее окно программы, разработанной в VBA, показано на рисунке 5.

| Наименование | Значения |
|---|----------------------|
| Количество осадков за 6 часов до прогноза $R_6(mm)$ | <input type="text"/> |
| Температура у поверхности земли в момент разработки прогноза $T(C^{\circ})$ | <input type="text"/> |
| Изменение радиолокационной отражаемости $\Delta I_{12}(dbz)$ | <input type="text"/> |
| Отклонения от полуденного времени момента прогнозирования $\Delta t(ч)$ | <input type="text"/> |
| Радиолокационная отражаемость за 3 часа до прогнозирования $I_3(dbz)$ | <input type="text"/> |

Рисунок 5 – Рабочая область программного продукта

Для реализации автоматизированных расчётов количества осадков необходимо выполнить следующие действия.

1. Определить исходные данные.

а) Построить траекторию выноса воздушной массы в пункт базирования и определить точки, где находился участок «засветки» за 3 и 6 часов до момента производства расчётов (до времени прогнозирования).

б) В указанных точках определить количество осадков за трёхчасовые интервалы времени в до прогноза R_1 и $R_2(mm)$, значения радиолокационной отражаемости I_1 и $I_2(dzb)$;

в) Определить температуру воздуха у поверхности земли в пункте прогноза на момент производства расчётов $T(C^{\circ})$;

г) Рассчитать изменения количества осадков $\Delta R_{12}(mm)$ и радиолокационной отражаемости $\Delta I_{12}(dzb)$;

д) Определить отклонение от полуденного времени момента прогнозирования $\Delta t(ч)$;

2. Проверить (с использованием справки программы) удовлетворяют ли подобранные данные критериям ввода параметров.

3. Ввести исходные данные в соответствующие поля рабочего поля программы.

4. Произвести расчет искомых данных путем нажатия на кнопку «Расчет».

5. Снять показания в окне вывода для соответствующей фазы осадков.

6. После проведенных расчетов нажать на кнопку «Сброс», для очистки полей ввода и вывода и подготовки программы для дальнейшего использования.

Реализация представленных рекомендаций позволит получить искомый результат с экономией времени и минимизацией субъективного фактора.

Список литературы

1. Головченко Г. В., Костин А. А. Статистический анализ показателей регулярности отправок воздушных судов. / Вестник СПб ГУ ГА, 2016. № 4 (13). С. 137-146.

2. Рыбалкина А.Л., Спирин А.С., Трусова Е.И. Уменьшение влияния неблагоприятных внешних условий в аэропортах местного значения. / Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2018. Т. 21. № 3. С. 101-114.

3. Расторгуев И.П., Белинский А.С., Кузнецов И.Е., Шулякевич Л.В. Методика пространственного комплексирования радиометеорологической и спутниковой информации для обеспечения безопасности полетов. Совершенствование метеорологического обеспечения. Сборник статей IV-й Всероссийской научно-практической конференции «Молодежные чтения, посвященные памяти Ю.А. Гагарина». Воронеж: ВУНЦ ВВС ВВА. 2017. С. 7-11.

4. Расторгуев И.П., Сурков Д.А. Моделирование атмосферной конвекции с использованием данных дистанционного зондирования. Информационные технологии и

нанотехнологии. Сборник трудов ИТНТ-2018. Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева. 2018. С. 1922-1927.

5. Расторгуев И.П., Воронцов И.Д. Методика дешифрирования метеоцелей по данным радиолокационного зондирования. Материалы VII межвузовской НПК ВНО «Молодежные чтения памяти Ю.А. Гагарина». Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА». 2020. С. 67-71.

ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАДЕРЖИВАЮЩИХ СЛОЁВ

Расторгуев И.П., Сыпченко Н.А., Бойко Н.Д.
Военно-воздушная академия, Воронеж
iprastor@yandex.ru

Аннотация. Предложен модернизированный показатель «запирания» воздуха в приземном слое тропосферы, что позволило повысить информативность аэрологических данных применительно к диагнозу и прогнозу метеорологических условий. Разработаны прогностические правила для прогноза дальности видимости и высоты нижней границы облаков на основе параметров задерживающих слоев и программный продукт для автоматизированного расчета характеристик инверсии.

Ключевые слова. Температурные инверсии, задерживающие слои атмосферы, прогноз метеорологических условий, дальность видимости, высота нижней границы облачности.

PHYSICAL AND STATISTICAL ANALYSIS AND FORECAST OF METEOROLOGICAL CONDITIONS BASED ON THE USE OF CHARACTERISTICS OF THE RETAINING LAYERS

Rastorguev I.P., Sypchenko N.A., Boyko N.D.
Air Force Academy, Voronezh

Annotation. A modernized indicator of air "locking" in the surface layer of the troposphere is proposed, which made it possible to increase the informative value of aerological data in relation to the diagnosis and forecast of meteorological conditions. Predictive rules have been developed for predicting the visibility range and height of the lower cloud boundary based on the parameters of the delaying layers and a software product for automated calculation of inversion characteristics.

Keywords. Temperature inversions, delaying atmospheric layers, forecast of meteorological conditions, visibility range, height of the lower cloud boundary.

Одним из основных погодообразующих факторов является стратификация атмосферы. В тропосфере с увеличением высоты обычно температура воздуха понижается на определённую величину. Однако при определённых синоптических и физико-географических условиях в тропосфере формируются слои замедленного падения температуры, её постоянство (изотермия) или повышение (инверсия) - так называемые «задерживающие» слои. Они оказывают непосредственное влияние на формирование, эволюцию, рассеяние (размывание) тумана, густой дымки, низкой слоистообразной облачности.

Задерживающие слои препятствуют развитию вертикальных движений и турбулентности, с которыми связан перенос тепла, водяного пара, различных атмосферных примесей.

Научный и практический интерес представляет детальное изучение влияния параметров задерживающих слоёв на формирование метеорологических условий, с учетом локальных физико-географических условий.

Таким образом, целью данной работы было определено исследование процессов взаимосвязи параметров задерживающих слоёв с низкой облачностью и ограниченной видимостью, представляющими опасность для полетов летательных аппаратов.

Для проведения исследования была составлена выборка, в которую были включены значения метеорологических величин и данные радиозондирования атмосферы.

Для составления архивной выборки был использован следующий архивный материал:

- данные радиозондирования атмосферы;
- приземные и высотные карты погоды;
- дневники погоды.

Составленная архивная выборка включает в себя случаи наличия задерживающих слоев, таких как, инверсия или изотермия за каждый средний месяц сезона года.

В архивную выборку (таблица 2) были включены следующие предикторы:

Ннгр03 – высота нижней границы инверсии;

Нвгр03 – высота верхней границы инверсии;

ΔD_{03} – дефицит в слое инверсии (изотермии);

Тнги – температура нижней границы инверсии;

Твги – температура верхней границы инверсии;

T – температура воздуха у земли, в градусах Кельвина;

Δt – изменение температуры в задерживающем слое;

Dcp – среднее значение дефицита в слое инверсии;

Rcp – среднее значение влажности в задерживающем слое

Asp – парциальное давление водяного пара в воздухе;

ff cp – среднее значение скорости ветра в задерживающем слое;

γ – градиент изменения температуры в слое инверсии;

Э – комплексный показатель эффективности задерживающих слоев (рисунок 1) [1];

q – абсолютная влажность;

Z – модернизированный показатель «запирания» воздуха в приземном слое тропосферы;

S – значения видимости в сроки проведения зондирования (03,15);

S15-03 – изменение параметров видимости между сроками зондирования;

Нвнго – значения высоты нижней границы облаков в сроки проведения зондирования (03,15);

Нвнго15-03 – изменение высоты нижней границы облаков между сроками зондирования;

Smin – минимальное значение видимости в течение суток;

Нвнгомip – минимальное значение высоты нижней границы облаков в течение суток.

После представления архивной выборки в электронном виде и устранения (исправления) ошибочных (сомнительных) данных, было произведено построение прогностических правил.

В ходе работы было проведено исследование по влиянию задерживающих слоев нижней тропосферы на формирование метеорологических условий полетов – дальности видимости (ДВ) и высоты нижней границы слоистой (слоисто-кучевой) облачности (ВНГО).

Определение синоптической ситуации проводилось с использованием объективных критериев [2].

На следующем этапе исследовались синхронные связи ВНГО и ДВ с характеристиками задерживающих слоев и значениями метеорологических величин.



Рисунок 1 – К расчету коэффициента эффективности инверсии (изотермии)

Если инверсии и изотермии не наблюдалось, то расчеты производились для нижнего километрового слоя (учитывалось, что уровень поверхности в Воронеже соответствует 104 метра). При этом средний дефицит определялся для нижней и верхней половины слоя.

Задерживающие слои рассматривались только с нижней границей менее 1000 м над уровнем поверхности (до 1104 м).

Наибольшие количественные значения тесноты взаимосвязи с ДВ и ВНГО, аналогично приведенным данным за январь, и в переходные сезоны года за оба срока наблюдались со значениями коэффициента эффективности инверсии. В июле, за счет влияния конвекции, данная взаимосвязь выражена только в утренние часы.

Поскольку коэффициент эффективности инверсии характеризует только условия накопления примеси (водяного пара), но не несет информации о количественном уровне самой замутняющей субстанции, то дополнительно исследовалось влияние характеристик влажности на метеорологические условия. Помимо приведенных выше характеристик влагосодержания, были рассчитаны значения абсолютной влажности (г/м^3).

На основе проведенного анализа накопления атмосферных примесей в приземном слое атмосферы, для анализа и прогноза характеристик сложности метеорологических условий был предложен модернизированный показатель «запирания» воздуха в приземном слое тропосферы:

$$Z = (0,6 - (\Delta t / \Delta h)) \rho_{cp} \quad (1)$$

где ρ_{cp} – среднее значение абсолютной влажности воздуха в подынверсионном слое и в слое инверсии (изотермии).

На следующем шаге, с учётом выявленных связей были разработаны прогностические правила с использованием процедуры дискриминантного анализа и пошаговой линейной регрессии.

Ниже представлены прогностические правила для разработки альтернативного прогноза ВНГО менее 300 м и дальности видимости менее 4000 м.

Дискриминантная функция для прогноза облачности менее 300 м.

$$F = -0,002H_{нзо03} + 0,087F_{сру03} - 0,282S_{03} - 5,5 \quad (2)$$

Таблица 1 – Матрица классификации (контрольная выборка) альтернативного прогноза облачности менее 300 м

| | Случаев | Наличие | Отсутствие |
|-----------------|---------|------------|------------|
| Наличие | 42 | 36 | 6 |
| Отсутствие | 55 | 4 | 51 |
| Оправдываемость | Наличие | Отсутствие | Общая |
| | 85,71 | 92,73 | 89,69 |

Дискриминантная функция для прогноза видимости менее 4000 м.

$$F = 0,470S_{03} - 0,001H_{нзо03} + 0,056R_{сри03} + 0,053Э_{03} - 1,4 \quad (3)$$

Таблица 2 – Матрица классификации (контрольная выборка) альтернативного прогноза видимости менее 4000 м

| | Случаев | Наличие | Отсутствие |
|-----------------|---------|------------|------------|
| Наличие | 37 | 28 | 9 |
| Отсутствие | 60 | 7 | 53 |
| Оправдываемость | Наличие | Отсутствие | Общая |
| | 75,68 | 88,33 | 83,51 |

Уравнение регрессии для прогноза низкой облачности имеет вид:

$$H_{\min} = 0,86H_{нзо03} - 5,41Z_{03} - 1,73F_{сри03} + 62 \quad (4)$$

Уравнение регрессии для прогноза минимальной видимости имеет вид:

$$S_{\min} = 0,812S_{03} - 0,09Z_{03} - 0,263 \quad (5)$$

Характеристики оправдываемости и средние абсолютные ошибки прогнозов дальности видимости и ВНГО, рассчитанные по разработанным уравнениям, имеет значения, позволяющие рекомендовать их для практического использования (таблица 3).

Таблица 3 - Итоги регрессии

| Прогнозируемая величина | R ² | Средняя абсолютная ошибка |
|-------------------------|----------------|---------------------------|
| Hmin | 0,645 | 30,5 м |
| Smin | 0,684 | 476 м |

На завершающем этапе исследования с помощью языка программирования Visual Basic for Applications (VBA) в среде PowerPoint был разработан программный продукт для расчета характеристик инверсии.

Для получения расчетов необходима следующая информация: толщина слоя инверсии (с сотнях метров), интенсивность температуры, температура у земли, температура смоченного термометра, скорость ветра в приземном слое, давление (в миллиметрах ртутного столба).

Результаты данного исследования могут быть использованы в практической деятельности метеорологических подразделений при обеспечении безопасности полетов в мирное время, а также при выполнении боевых задач в условиях локальных конфликтов.

Использование разработанного метода, при наличии информации о радиозондировании атмосферы, упрощает и сокращает время составления прогноза высоты нижней границы облаков и дальности видимости. Однако, стоит учитывать, что данный метод разработан для случаев с внутримассовой обстановкой: антициклоническая циркуляция, малоградиентное барическое поле, теплый сектор циклона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назаренко А. В. Инверсии в атмосфере. Воронеж: ВВВАИУ. 1993. 98с.
2. Расторгуев И.П., Фадеев М.А. Методика объективного диагноза синоптического положения. В сборнике: Информатика: проблемы, методы, технологии. Материалы XX Международной научно-методической конференции. Воронеж: ВГТУ. 2020. С. 782-789.

Научное издание

МАТЕРИАЛЫ
II ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ
«АВИАЦИОННАЯ И СПУТНИКОВАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ»,
ПОСВЯЩЁННОЙ 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ
СЕРГЕЯ ВАСИЛЬЕВИЧА СОЛОНИНА
9 октября 2023

Подписано в печать 27.12.2023. Формат 60×84/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 11,97. Тираж 50. Заказ 228.

Выпущено Издательско-полиграфической ассоциацией высших
учебных заведений
с готового оригинал-макета, предоставленного заказчиком
194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 28, лит. А,
пом. 3-Н ком. 191. Тел.: (812) 987-75-26
mediapapir@gmail.com www.mediapapir.com www.mediapapir.ru