

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.32>

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ СБОРА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ С БОРТОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ: РЕТРОСПЕКТИВА СОЗДАНИЯ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Обзор

Моисеева Н.О.^{1,*}, Тимошук А.С.², Тимофеев В.И.³, Арзаманов Д.Н.⁴

^{1,4} Санкт-Петербургский Государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

^{2,3} Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (natali.ziadinova[at]yandex.ru)

Аннотация

В статье рассматриваются возможные пути решения проблемы аэродромов и вертодромов, расположенных в отдаленных регионах России, заключающейся в ограниченных информационных и вычислительных возможностях прогнозирования особых явлений погоды, таких как низкая слоистообразная облачность, атмосферные явления, ухудшающие видимость, гололедные явления, сдвиг ветра, турбулентность атмосферы, что прямо или косвенно влияет на безопасность полетов. Представлены результаты исследований в области отечественных и зарубежных технологий сбора и обработки метеорологической информации с бортов воздушных судов. Приводится краткая историческая справка об авиационных метеорологических измерительных системах, устанавливаемых на специализированных воздушных судах, сведения о современном состоянии и перспективах их дальнейшего развития в настоящее и будущее время.

Ключевые слова: зондирование атмосферы, метеорологические данные, воздушное судно, система AMDAR, система TAMDAR, авиационные метеорологические лаборатории.

COMPREHENSIVE ANALYSIS OF AIRCRAFT METEOROLOGICAL DATA COLLECTION SYSTEMS: RETROSPECTIVE OF CREATION, CURRENT STATE AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Review article

Moiseeva N.O.^{1,*}, Timoshchuk A.S.², Timofeev V.I.³, Arzamanov D.N.⁴

^{1,4} Saint-Petersburg State University of civil aviation named after Air Chief Marshal A.A. Novikov, Saint-Petersburg, Russian Federation

^{2,3} St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (natali.ziadinova[at]yandex.ru)

Abstract

The article examines possible ways of solving the problem of aerodromes and helicopter landing sites located in remote regions of Russia, consisting in limited information and computational capabilities of forecasting special weather phenomena, such as low layered cloud cover, atmospheric phenomena that impair visibility, ice phenomena, wind shear, atmospheric turbulence, which directly or indirectly affects flight safety. The results of research in the field of domestic and foreign technologies of collection and processing of meteorological information from aircraft are presented. A concise historical background on aviation meteorological measurement systems installed on specialized aircraft, information on the current state and prospects for their further development in the present and future is given.

Keywords: atmospheric sounding, meteorological data, aircraft, AMDAR system, TAMDAR system, aviation meteorological laboratories.

Введение

На сегодняшний день на территории Российской Федерации (РФ) функционируют 5 вертодромов и 225 гражданских аэродромов [1], из которых 25 аэродромов относятся к классам Д, Е, т.е. являются аэродромами местных воздушных линий (МВЛ), на которых метеорологическое оборудование в составе аэродромной инфраструктуры не соответствует степени сложности метеорологических условий (МУ). Аэродромы и вертодромы с минимальным набором необходимой метеорологической техники, как правило, находятся в отдаленных регионах России: на Дальнем Востоке и в Арктической зоне РФ. Главная проблема таких объектов авиационной инфраструктуры заключается в низких информационных возможностях прогнозирования особых (опасных) явлений погоды (ОЯП), таких как низкая слоистообразная облачность, кучевая облачность, туманы, сильные дымки, осадки, ухудшающие видимость, гололедные явления, турбулентность, порывы ветра, вызывающие болтанку, электризацию воздушных судов (ВС), которые прямо или косвенно влияют на безопасность полетов (БП). По данным ФГБУ «Авиаметтелеком» Росгидромета [2], только в первой половине 2024 г. было зарегистрировано 23 авиационных события, 8 из которых произошли при наблюдавшихся сложных метеорологических условиях (СМУ), а именно: поражение ВС атмосферным электричеством – 2; попадание в зону града – 2; превышение боковой составляющей скорости ветра – 2; попадание в зону атмосферной турбулентности – 1; выкатывание ВС за пределы взлетно-посадочной полосы (ВПП) – 1. Одно авиационное событие закончилось катастрофой (13.03.2024 вертолет Ми-

8Т ООО «Дальнеречинск Авиа»). Одно авиационное событие 15.01.2024 с самолетом Ту-204 классифицировано как серьезный авиационный инцидент, при котором прогноз погоды не соответствовал фактической погоде (не оправдался по горизонтальной дальности видимости (ГДВ) и высоте нижней границы облачности (ВНГО)). Для прокладки оптимальных маршрутов коммерческих ВС с учетом погодных условий, обеспечения безопасности полетов и комфорта пассажиров, необходимо высокое качество авиационных фактических метеорологических данных (МД) и прогнозов.

Одним из действенных способов снижения влияния негативных метеорологических факторов на полеты ВС является совершенствование методов и средств метеорологического обеспечения, и, в частности, совершенствование систем метеорологических наблюдений, устанавливаемых как на специализированные авиационные метеорологические лаборатории, так и на коммерческие ВС и беспилотные летательные аппараты (БЛА) или дроны. Такие системы наблюдения за МУ позволяют существенно дополнить получаемую информацию для глобальной системы метеорологических наблюдений оперативными данными с бортов БЛА/ВС и, следовательно, повысить качество оперативных метеорологических прогнозов по аэродромам взлета/посадки и по маршрутам полетов.

На сегодняшний день в мире для исследований характеристик атмосферы разработаны и используются ВС различного класса – от многоцелевых магистральных самолетов до специализированных авиационных метеорологических лабораторий (АМЛ). Всемирной метеорологической организацией (ВМО) созданы и успешно применяются программы передачи и обработки МД с борта ВС (Aircraft Meteorological Data Relay (AMDAR)), передачи тропосферных МД (TAMDAR), предоставляющие широкие возможности для выполнения автоматизированного сбора, обработки и передачи МД с бортов коммерческих ВС [3], [4]. На базе Международной организации гражданской авиации (ИКАО) параллельно развиваются коммерческие и служебные метеорологические бортовые системы специальных и регулярных наблюдений за «бортовой погодой», которые ведут экипажи ВС, аккумулируемые в системе AIREP (специальное ARS или регулярное ARP-сообщение), автоматические системы передачи полетной информации (АФИРС) (Automated Flight Information Reporting System (FLYHT AFIRS)), система автоматического мониторинга данных (Automatic Data Surveillance (ADS-C)), бортовая система обнаружения водяного пара (WVSS). Также развиваются системы сбора МД по температуре и ветру для задач управления воздушным движением (УВД), получаемые с помощью радиолокаторов расширенного наблюдения (EHS), работающих в режиме S (адресные), радиолокаторов EHS, работающих в режиме S с запросом необязательных регистров, содержащих МД (регистр BDS4,4 EHS режима S, в котором формируется «регулярная метеорологическая сводка с борта воздушного судна (MRAR)») [5]. Метеорологическое оборудование и приборы данных систем устанавливаются на ВС в зависимости от завода-изготовителя, финансовых возможностей авиационной компании, наличия соглашений и большого количества других факторов, которые, к сожалению, весьма ограничивают применение данных систем на территории РФ. Однако, несмотря на такие ограничения, метеорологические данные с бортов ВС по-прежнему весьма эффективно применяются в оперативной практике метеорологического обеспечения авиации в РФ.

В этой связи представляется целесообразным провести анализ существующих систем сбора метеорологических данных с бортов ВС/БЛА, историю их создания, современное состояние и перспективы их развития.

Краткая ретроспектива создания и применения отечественных научно-исследовательских воздушных судов метеорологического назначения

Важность для авиации метеорологических наблюдений проводимых с борта ВС была весьма очевидной с самого момента её зарождения. Временным моментом, когда в качестве доставщика метеорологического оборудования для проведения наблюдений за МетП атмосферы начали использовать ВС считается 1912г., когда в г.Франкфурт-на-Майне был осуществлен первый подъём на самолёте метеографа. Метод авиационного зондирования был предложен русским учёным А.А.Фридманом [11] и в 1916 г. в районе г.Киева было выполнено несколько полетов, при проведении которых выполнялись бортовые измерения температуры. Регулярные измерения метеорологических параметров (МетП) при выполнении полетов в России стали осуществляться в 1921 г. Позднее авиационное зондирование атмосферы стали проводить и в других странах: США, Норвегии, Франции, Швеции и пр.

Метод измерения МетП атмосферы с борта ВС по сравнению с предшествовавшими ему методами наблюдения за МетП свободной атмосферы обладает рядом преимуществ:

- МД, полученные при авиационном зондировании обладают высокой достоверностью, так как ВС могут производить измерения в исследуемой области пространства.
- при организации комплексных исследовательских проектов (экспериментов) существует возможность выполнять измерения МетП в разных точках пространства в системе единого времени, что облегчает нахождение взаимных связей между параметрами (величинами).
- возможностью вести наблюдения за эволюцией исследуемого атмосферного процесса (явления) или изменением МетП в исследуемой области атмосферы на расстоянии в тысячи километров.

В Советском Союзе первые исследования подобного рода начала проводить Центральная аэрологическая обсерватория (ЦАО) в 1947 г. Самые первые авиационные метеорологические лаборатории были созданы на базе небольших воздушных судов того времени: По-2, Як-18 и Ли-2. Основной целью создания таких авиационных метеорологических лабораторий являлось выполнение, с их помощью, комплексных исследований в области физики атмосферы, физики облаков и атмосферной турбулентности [6], [7].

В советское время было подготовлено и осуществлено несколько специальных программ по изучению характеристик атмосферы (исследовательские программы «Циклон» и «ИОА СО РАН») и созданы первые специализированные авиационные метеорологические лаборатории (АМЛ).

С середины 1970-х гг. АМЛ по исследованию МетП атмосферы создавались на базе переоборудованных ВС среднего класса, таких как: Ту-16, Ил-18Д и Ан-12БП. Новое поколение АМЛ были многоцелевыми, оборудованными под реализацию программы «Циклон». В это время были разработаны бортовые средства измерения МетП,

отработаны методики зондирования МетП атмосферы и подстилающей поверхности. С 1981 г. использование АМЛ приобрело регулярный характер, а в период 1985-1988 гг. было близко к постоянному мониторинговому режиму. С созданием и вводом в эксплуатацию многоцелевых АМЛ появилась возможность не только исследовать процессы образования облаков, зон атмосферной турбулентности, зон вариаций температуры и давления воздуха, но и активно воздействовать на атмосферные процессы, вызывая из облаков осадки, что приводило к разрушению последних, а также рассеивать туманы.

В середине 70-х годов для выполнения исследовательской программы «Циклон» была разработана АМЛ Ил-18ДЦ (см. рис.1). Внешне от типового Ил-18Д АМЛ отличалась носовой мачтой длиной 4 м, оборудованной датчиками комплекса измерителя структуры воздушных потоков. Также на своём борту АМЛ вмещала 19 стоек с метеорологическим оборудованием и техническими средствами измерений МетП. Осенью 1986 г. при помощи АМЛ Ил-18ДЦ были получены важные научные результаты по исследованию природы возникновения тропических циклонов в ходе совместного советско-кубинского эксперимента.



Рисунок 1 - Внешний вид АМЛ на базе Ил-18ДЦ
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.32.1>

Для развития научно-исследовательской программы «Циклон» в 1977 г. помимо АМЛ Ил-18ДЦ были переоборудованы два дальних бомбардировщика-ракетоносца Ту-16 морской авиации ВМФ СССР (см. рис.2). На обоих ракетоносцах было дополнительно установлено оборудование (контейнеры для реагентов и кассетные джратели), применяемое для активных воздействий с целью рассеяния туманов и вызывания искусственных осадков.



Рисунок 2 - Внешний вид АМЛ на базе бомбардировщика-ракетоносца Ту-16, созданного для экспериментов по программе «Циклон»
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.32.2>

Кроме участия в программе «Циклон» эти АМЛ летом 1980 г. в Подмоскowie обеспечивали благоприятную погоду над Москвой во время Олимпийских игр, а в 1986 г. обе АМЛ активно использовались в задачах ликвидации последствий Чернобыльской аварии с применением авиационных технологий воздействий на атмосферные явления и процессы.

К крайним советским АМЛ относятся самолеты Ан-26 серий Ан-26Б «Циклон» (1987 г.) и Ан-26 «Погода» (1988 г.). Данные ВС были переоборудованы для активных воздействий на грозовые облака, а АМЛ Ан-26 «Сфера» (1990 г.) – для физических исследований атмосферных явлений и процессов (АЯП).

Одновременно, в период 1981-1988 гг. по научно-исследовательской программе «ИОА СО РАН» выполнялись исследования атмосферы с помощью АМЛ, созданной на базе ближнемагистрального самолёта Ил-14 [8]. Полеты АМЛ выполнялись, преимущественно с целью исследования атмосферного аэрозоля. В 1988 г., после окончания срока эксплуатации АМЛ Ил-14, комплекс научного оборудования был перемещен на борт ВС Ан-30 без существенного изменения, где эксплуатировался до конца 1989 г.

Ухудшение экологической обстановки в конце 80-х годов, наблюдавшееся во многих районах мира (включая СССР), привело к необходимости переориентации авиационной программы «ИОА СО РАН» и переоснащению

бортового комплекса аппаратуры в 1989 г. Созданная путем дооборудования самолета Ан-30 авиационная лаборатория получила название «Оптик-Э» (экологическая лаборатория) (рис.3) и в период с 1989 по 1991 г. успешно выполняла экологическое обследование объектов на территории страны.



Рисунок 3 - Внешний вид экологической авиационной лаборатории АН-30
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.32.3>

В период 1993-1995 гг., были проведены исследования атмосферы АМЛ на базе высотного самолета-разведчика М-55 «Геофизика» (см. рис.4).



Рисунок 4 - Внешний вид авиационной геофизической лаборатории «Геофизика» на базе высотного самолета-разведчика М-55
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.32.4>

С помощью АМЛ «Геофизика» были проведены исследования полярных стратосферных облаков, озонового слоя, газового и аэрозольного состава нижней стратосферы в полярных районах, в тропиках и в экваториальной зоне.

Современная научно-исследовательская авиационная метеорологическая лаборатория

С 2013 г. ЦАО успешно эксплуатирует АМЛ, созданную на базе ВС Як-42 (см. рис.5). АМЛ «Росгидромет», оснащение которой позволяет выполнять измерения скорости и направления ветра, интенсивности нисходящего и восходящего потоков излучения в атмосфере, температуры и влажности воздуха, водности облаков, концентрации и размеров облачных и аэрозольных частиц, радиолокационной отражаемости облачности, а также оборудование АМЛ имеет возможность контролировать во время полета гамма-излучение.



Рисунок 5 - АМЛ «Росгидромет» на базе ВС Як-42
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.32.5>

АМЛ «Росгидромет» оборудована широким спектром приборов и наружных датчиков, размещенных на пилонах под крылом и фюзеляже (рис.6).

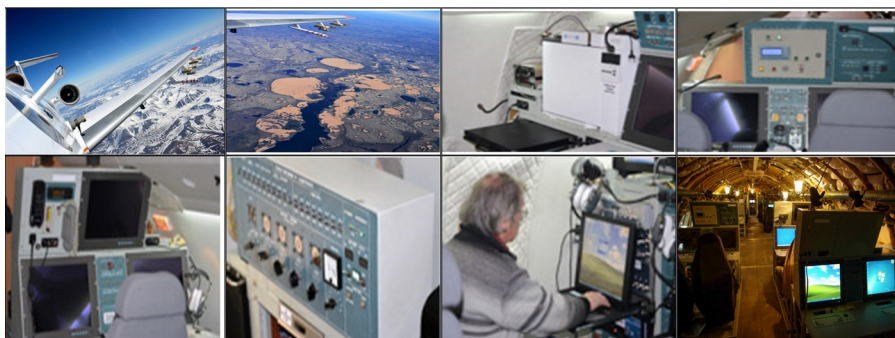


Рисунок 6 - Приборы и аппаратура АМЛ Як-42Д
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.32.6>

На борту также имеются технические средства (ТС) активных воздействий на АЯП, в том числе устройство отстрела пиропатронов со льдообразующим аэрозолем (йодистым серебром), генератор мелких дисперсных частиц льда и оборудование для диспергирования жидкого азота.

Анализ современных метеорологических систем, устанавливаемых на бортах коммерческих воздушных судов

4.1. Международная автоматизированная авиационная система наблюдений AMDAR

Система передачи МД с борта ВС (Aircraft Meteorological Data Relay (AMDAR)) является одной из интегрированных компонент Глобальной системы наблюдений (ГСН) в рамках Программы Всемирной службы погоды ВМО (ВСП ВМО). ВСП ВМО используется странами-членами ВМО в сотрудничестве с национальными авиакомпаниями-партнерами. В настоящее время программа AMDAR активно развивается, особенно в США и в Европе [4].

AMDAR представляет собой полностью автоматизированную систему метеорологических наблюдений ВМО, которая позволяет оперативно производить сбор и передачу метеорологической информации потребителям (рис.7). Наряду с традиционными системами дистанционного зондирования атмосферы AMDAR является важным источником информации для метеорологических подразделений, особенно при решении задач сверхкраткосрочного прогноза МУ (наукастинга). Это объясняется тем, что система AMDAR позволяет оперативно получать данные о состоянии атмосферы при взлете/посадке ВС с высоким вертикальным и временным разрешением.

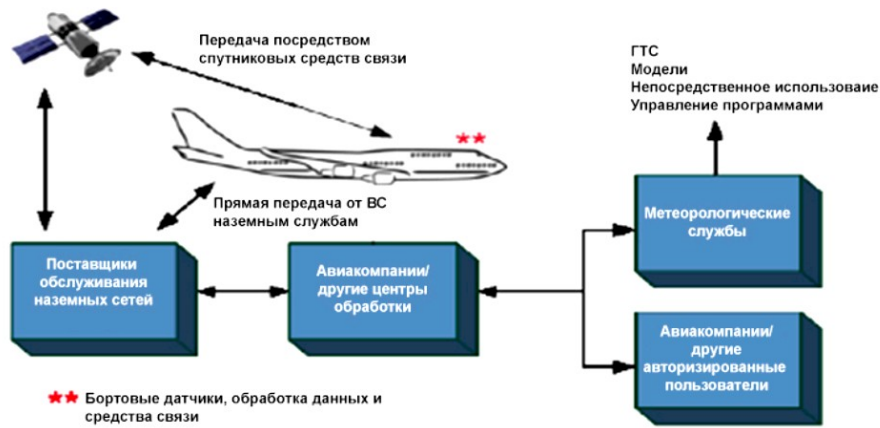


Рисунок 7 - Схема передачи МД с борта ВС с использованием системы AMDAR
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.32.7>

Перечень данных, передаваемых в рамках программы AMDAR, включает: координаты местоположения ВС в трехмерном пространстве во времени, направление и скорость ветра, атмосферное давление и температуру окружающей среды.

Статическое атмосферное давление измеряется (см. отметку «S» на рис.8) либо в отверстиях по обеим сторонам фюзеляжа, либо в боковых отверстиях датчика полного-статического давления. Общее давление измеряется в направленном вперед при помощи датчиков полного давления или датчиков полного-статического давления (см. отметку «P» на рис.8), встроенных в отверстия на фюзеляже в нескольких метрах ниже носовой части.

Большинство ВС, совершающих коммерческие рейсы, оснащено датчиками для измерения температуры воздуха контактного типа, общая схема такого прибора показана на рисунке 9.

В программе AMDAR преимущественно используются уже установленные авиационные датчики и средства связи. В некоторых случаях передаются дополнительные параметры, такие как показатель турбулентности и, если на ВС установлен датчик измерения количества водяного пара, влажности воздуха [3].

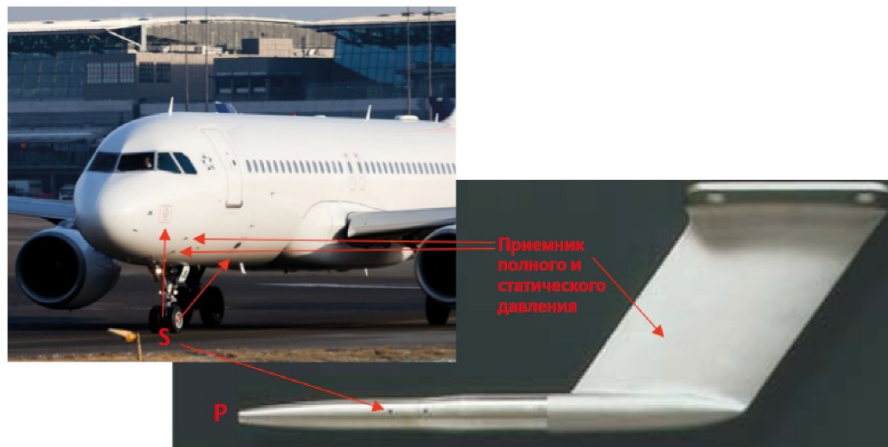


Рисунок 8 - Типовой пример датчика для измерения статического давления и полного давления
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.32.8>



Рисунок 9 - Типовой пример датчика для измерения температуры воздуха
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.32.9>

Программное обеспечение (ПО) системы AMDAR оптимизировано для формирования и передачи следующих сообщений: географическая зона и временные ограничения, вертикальный профиль атмосферы в районе аэродрома. Основными международными центрами сбора данных системы AMDAR являются Эксетер – Великобритания (EGRR), Токио – Япония (RJTD), Мельбурн – Австралия (AMMC), Веллингтон – Новая Зеландия (NZKL), Претория – Южная Африка (FARP.) Оперативность поступления МД с борта ВС до потребителя составляет менее 10 минут.

Сформированные посредством AMDAR МД используются для решения следующих задач:

- 1) краткосрочного и сверхкраткосрочного прогнозирования МУ;
- 2) прогнозирования характеристик температуры и ветра на различных высотах, фазового состояния облаков и осадков, гроз и грозового положения, положения слоев сдвига ветра (WS), низкой облачности, туманов, слоев турбулентности и струйных течений (СТ), в том числе и мезоструй на малых высотах (до 1000 м);
- 3) расчета положения слоев WS на низких высотах;
- 4) уточнения положения основных атмосферных фронтов (АФ);
- 5) уточнения положения высот изотерм 0°C и –20°C, полученных по данным радиолокационных наблюдений;
- 6) оценки прогнозов вертикальных профилей атмосферы.

Для получения качественных МД в системе AMDAR применяются:

- 1) современные бортовые датчики и бортовое программное обеспечение для подготовки и передачи МД;
- 2) специальное бортовое ПО для расчета и визуализации метеорологических и навигационных данных во время полета;
- 3) системы связи «земля–земля» для передачи бортовой информации в центры обработки данных авиакомпаний;
- 4) системы связи «борт–земля» для регулярной автоматической передачи бортовой информации на землю (как правило, посредством ACARS);
- 5) системы обработки бортовых данных в авиакомпаниях.

Анализ обработанных данных системы AMDAR показывает, что по погрешности измеренные параметры не отличаются от данных радиозондирования и обладают высокой точностью (табл.1), так как ВС/БЛА, также, как и радиозонд, способны перемещаться непосредственно в исследуемый объем пространства.

Таблица 1 - Точностные характеристики измерения МетП AMDAR

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.32.10>

Измеряемые параметры	Погрешность измерения
Атмосферное давление	±4 гПа
Температура за бортом ВС	±1,0°C
Скорость ветра	±2-3 м/с

Применение в расчетных гидродинамических моделях численного прогнозирования погоды (ЧПП) дополнительного объема качественных МД системы AMDAR позволило снизить количество ошибок глобальной информационной продукции ориентировочно на 10-20%, что является весьма высоким результатом [4].

Применительно к задачам метеорологического обеспечения полетов авиации МД, полученные с использованием AMDAR, занимают второе место по значимости после данных крупномасштабных спутниковых измерений, а в некоторых труднодоступных, например, в полярных зонах данные AMDAR являются практически единственным источником информации о вертикальной структуре атмосферы. Кроме того, они имеют высокое пространственное разрешение, что позволяет выявлять важные атмосферные явления, которые сложно обнаружить и корректно идентифицировать с помощью спутниковых наблюдений.

Хотя программа AMDAR продолжает развиваться, однако не все территории Земного шара покрывают воздушные линии (рис.10). По географическое покрытие областей земного шара программой AMDAR хорошо охвачены США,

Западная Европа, Австралия, Новая Зеландия, Южная Африка, умеренно охвачены Южная Америка, Центральная Америка, Канада и плохо охвачены Восточная Европа, Центральная Азия, Восточная Азия, Юго-Восточная Азия, Ближний Восток, Северная и Центральная Африка, Юго-запад Океании [4]:

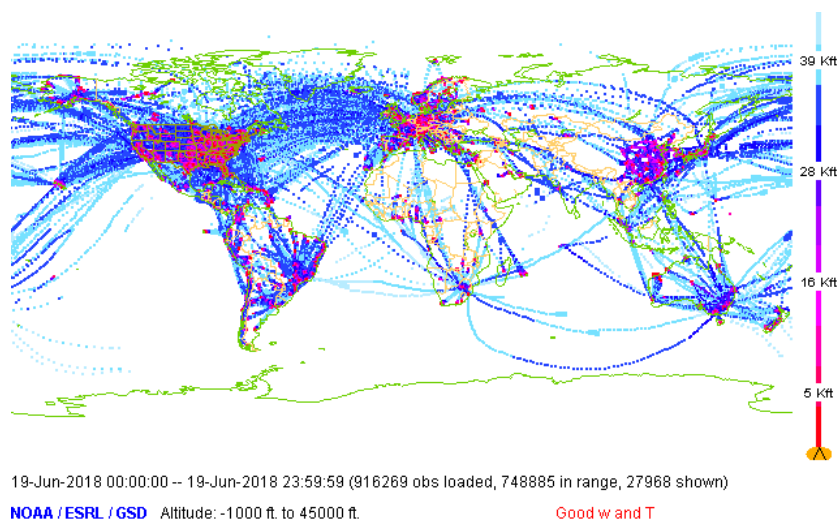


Рисунок 10 - Географическое покрытие воздушными линиями до ограничений полетов по причине COVID-19
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.32.11>

Статистические данные, собранные за все время работы, свидетельствуют о том, что с 2014 г. в программе AMDAR был задействован парк международных ВС в количестве более чем 3000 и общим объёмом переданных от них сообщений, содержащих МД авиационных наблюдений высокого качества, более чем 400 000 штук в сутки (рис.11).

На пике развития программы AMDAR в 2019 г., по данным Канадского метеорологического центра, в авиационном парке насчитывалось 5000 ВС, которые передавали объемы данных авиационных наблюдений, возросших до исторического максимума более 850 000 наблюдений в сутки, причем большую часть из них составляли наблюдения AMDAR (около 750 000 наблюдений в сутки в виде сообщений BUFR).

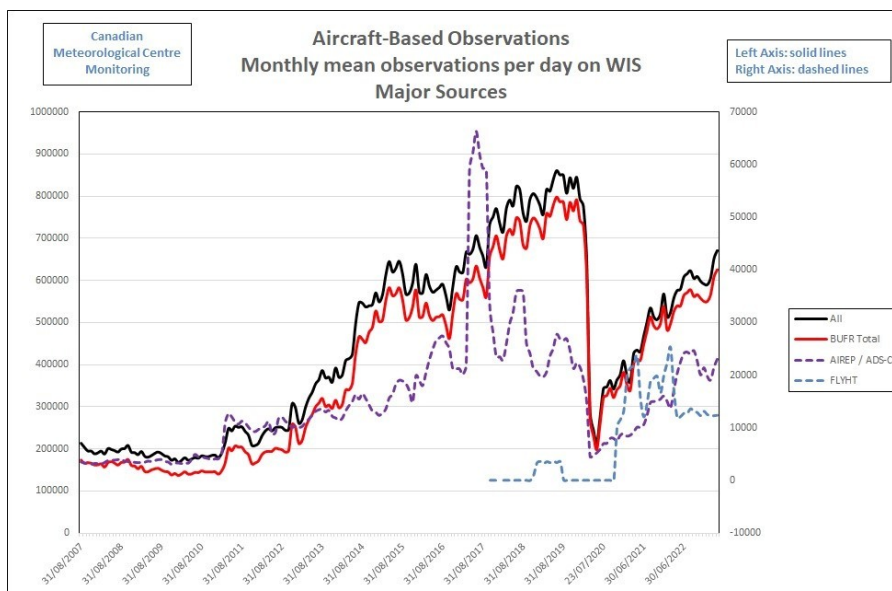


Рисунок 11 - Количество метеорологических сводок по данным Канадского метеорологического центра наблюдений
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.32.12>

По состоянию на 2023 г. МД из системы наблюдений AMDAR ВМО поступали в сотрудничестве примерно с 43 национальными и международными авиакомпаниями-участницами.

Начиная с марта 2020 г. из-за вводимых ограничений на деятельность авиакомпаний и авиационную отрасль в целом связанных с пандемией COVID-19, объем наблюдений с бортов ВС сократился примерно до 245 000 наблюдений в сутки, и до 230 000 наблюдений по программе AMDAR, что составляет около 30% от

декабрьских объемов данных. Самое резкое ежемесячное сокращение наблюдалось в мае 2020 г., когда (до 210 000 наблюдений в сутки).

После этого количество МД в целом постепенно увеличивалось, и по данным на апрель 2023 г. среднесуточный общий объем составил около 670 000 наблюдений.

С начала марта 2022 г., санкционные ограничения в отношении авиационной отрасли России серьезно повлияли на маршруты некоторых авиакомпаний, в первую очередь, на полеты над территорией РФ ВС авиакомпаний Finnair и SAS, оборудованных системами AMDAR, что значительно снизило количество сообщений над территорией РФ [9]. Тем не менее, 5 воздушных судов Turkish Airlines THY продолжали предоставлять неоптимизированные данные AMDAR в Глобальную сеть наблюдений по маршрутам полетов, проходящим по территории РФ (рис.12).

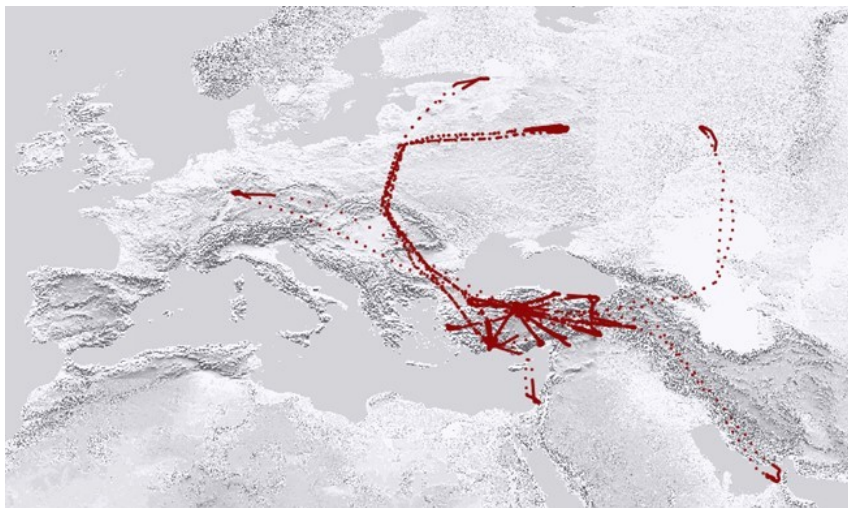


Рисунок 12 - Зона покрытия территории РФ освещаемая программой AMDAR посредством ВС авиакомпании Turkish Airlines

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.32.13>

Примечание: по данным за 2023 г

Общий объем полученных профилей МетП классифицировался по нескольким категориям. Было введено четыре категории, причем считалось, что имеет место отличный результат, если получено более 24 профилей в сутки; хороший результат – 8-24 профиля в сутки; удовлетворительный результат – 1-7 профилей в сутки; плохой результат – меньше 1 профиля в сутки. Для примера, среднее число данных авиационного зондирования AMDAR в России за сутки в аэропортах г. Москвы на пике наблюдений не превышало: Домодедово UUDD – 0-1 профилей; Внуково UUWW – 1-4 профилей; Шереметьево UUEE – 1-6 профилей.

4.2. Система передачи метеорологических данных в пределах тропосферы с самолетов (система TAMDAR)

Система передачи МД в пределах тропосферы с ВС (TAMDAR) используется в основном в коммерческих целях. При разработке данной системы метеорологическим датчиком (измерительный и коммуникационный датчик) оснащаются главным образом ВС, осуществляющие полеты по региональным маршрутам, что позволяет осветить метеорологической информацией удаленные и труднодоступные территории, в том числе о суточном вертикальном распределении метеорологических величин. Наибольшую ценность для численных прогностических моделей атмосферы представляют МД от ВС, находящихся в крейсерском режиме полета на высотах приблизительно 7000 м. Система TAMDAR осуществляет сбор данных измерений относительной влажности, атмосферного давления, температуры воздуха, скорости ветра, обледенения и турбулентности. Параллельно встроенной системой GCOM передаются данные о соответствующем местоположении, времени и геометрической высоте. Эти данные в режиме реального времени посредством спутниковой связи передаются в наземный сетевой оперативный центр обработки и распространения данных. Перед распространением в обязательном порядке данные проходят контроль качества. Следует отметить, что качество данных о влажности и температуре воздуха сопоставимо с качеством данных, получаемых с помощью радиозондирования атмосферы [3]. Данные наблюдений за ветром рассчитываются аналогично типовому методу получения данных о воздушных потоках AMDAR. При этом используется курс, истинная воздушная скорость ВС и вектор наземной трассы, который сообщается внутренним блоком GCOM. Датчик TAMDAR проводит дискретные измерения в основанном через заданные интервалы изменения давления (10гПа) на режимах набора и снижения высоты ВС, и в определяемом временном интервале в режиме крейсерского полета, который также меняется с высотой с 3 мин на более низких эшелонах полёта и до 7 мин на высоких эшелонах.

Если в режиме крейсерского полета ВС обнаруживается обледенение, то датчик направляет отдельное сообщение с соответствующей информацией.

4.3. Самолетная система наблюдений за водяным паром (Water Vapor Measurement with WVSS-II)

Сети NOAA/NWS и EUMETNET-ABO (E-ABO) предоставляют измерения водяного пара (WVM) преимущественно из своих географических регионов (RA-IV – США и RA-VI – Западная Европа) [3]. Количество функционирующих блоков WVSS-II на коммерческих ВС в RA-VI (Европа) по данным за 2023 г. составляет 9 единиц [4].

Количество ВС с эксплуатационным оборудованием в RA-IV (Северная Америка) составляет 131 блок. Однако участвующие авиакомпании обычно совершают рейсы за пределы своей родной территории, предоставляя данные авиационного зондирования атмосферы (ABO) по WVM над регионами, в которых в остальном отсутствуют данные WVSS-II, например, Регион I (Африка) и Регион III (Южная Америка). В рамках программы ABO США в RA IV имеется 131 воздушное судно Southwest Airlines и United Parcel Service, оснащенный датчиками WVSS-II. Типичные суточные показатели профиля водяного пара остаются примерно на уровне 1000. Все девять ВС, оснащенных WVSS-II (все планеры A321) в RA-VI (Западная Европа), находятся в эксплуатации.

4.4. Автоматические системы передачи полетной информации

Автоматические системы передачи полетной информации (AFIRS), как и система TAMDAR, представляют собой систему, которая устанавливается на ВС для получения и передачи данных потребителю с использованием спутниковой коммуникации на базе группировки спутников Iridium (САТКОМ) [3]. Возможности AFIRS включают использование бортового интерфейса, что позволяет связывать многочисленные системы ВС. Это включает регистрацию полетных данных, активизируемую явлением, а также мониторинг состояния ВС в режиме реального времени. С использованием этих систем AFIRS может собирать данные о погоде и форматировать их в «отчет после полета», используя встроенное логическое приложение. Поскольку данные системы AFIRS собираются с имеющихся бортовых датчиков, то они будут соответствовать данным, которые собираются при помощи методов системы AMDAR. В отличие от системы AMDAR, где сообщения о погоде передаются посредством ACARS, сообщения AFIRS передаются в виде файлов формата разделяемых запятой величин и направляются партнерской национальной метеорологической и гидрологической службе (НМГС) при помощи протокола передачи файлов (FTP).

4.5. Метеорологические данные радиолокатора расширенного наблюдения (EHS)

Характеристики ветра и данные о температуре воздуха могут также быть получены по данным наблюдений, собранных для целей управления воздушным движением (УВД) с использованием радиолокатора расширенного наблюдения (EHS) в режиме S (адресные) [3]. Этот радиолокатор запрашивает у каждого ВС конкретную информацию с частотным циклом 4-20 с в зависимости от задач УВД конкретного радиолокатора. В назначенном воздушном пространстве все ВС обязаны отвечать на запрос радиолокатора EHS, работающего в режиме S. Обязательные регистры (BDS4,0, BDS5,0 и BDS6,0) содержат информацию об идентичности воздушного судна, эшелоне полета, угле крена, магнитном курсе, воздушной скорости, числе Маха и траектории полета. Данные о местоположении ВС можно получить либо при помощи радиолокатора УВД или из данных автоматического зависимого наблюдения в режиме радиовещания (ADS-B), которые непрерывно передаются этим ВС.

Получение данных о сдвиге ветра при помощи EHS в режиме S аналогичны данным системы AMDAR за исключением того, что истинный курс должен определяться по магнитному курсу. Помимо применения таблицы магнитных отклонений необходимо применять дополнительные корректировки, зависящие от типа ВС. Корректировки курса могут со временем меняться в результате технического состояния ВС. В настоящее время эти корректировки определяются для каждого ВС путем сравнения с данными численного прогноза погоды (ЧПП). Помимо корректировки курса ВС также применяется корректировка воздушной скорости, основанная на долгосрочном сравнении с данными ЧПП [3]. После корректировок и контроля качества производная информация о сдвиге ветра аналогична по своему качеству данным системы AMDAR [3]. Получение данные о температуре по данным EHS в режиме S осуществляется путем комбинации числа Маха и воздушной скорости. Качество данных о производной температуре понижается сообщаемым разрешением числа Маха и воздушной скорости, и оно, безусловно, ниже качества данных о температуре по данным системы AMDAR [3].

Другие метеорологические параметры активно изучаются, включая информацию о геопотенциальной высоте по данным барометрической высоты, и информацию о высоте спутников Глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), которые могут интерпретироваться как температуре среднего слоя [3].

Режим регулярной метеорологической сводки с борта воздушного судна. Радиолокатор EHS в режиме S также может запрашивать необязательные регистры, которые могут содержать метеорологическую информацию. Примером этого является регистр BDS4,4 EHS режима S, который называется «регулярная метеорологическая сводка с борта воздушного судна (MRAR)». Этот регистр содержит непосредственную информацию о сдвиге ветра и температуре воздуха, которая весьма близка к информации о сдвиге ветра и температуре по данным системы AMDAR [3]. Поскольку регистр BDS4,4 не является обязательным, то лишь часть (примерно 5%) ВС отвечают на запрос и сообщают ценную метеорологическую информацию.

Заключение

Таким образом, резюмируя вышеизложенное, можно сделать вывод о том, что до настоящего времени системы(программы) сбора и передачи метеорологических наблюдений с борта ВС типа AMDAR, TAMDAR, AFIRS, ADS, WVSS-II не получили широкого распространения в России. Компании «Аэрофлот» и «Уральские авиалинии» имеют на своих ВС системы передачи МД в Росгидромет. Систему связи ACARS (адресно-отчётная система авиационной связи (англ. Airborne Communications Addressing and Reporting System)), которая необходима для передачи МД с ВС, использует только авиакомпания «Аэрофлот – Российские авиалинии». Данные системы AMDAR по территории России продолжают поступать в сжатом объеме, в основном с бортов иностранных коммерческих ВС, осуществляющих перевозки по маршрутам, проходящим по территории РФ (Turkish Airlines THY), и, следовательно, освещают небольшую часть территории страны.

Количество профилей измеряемых метеорологических величин возможно значительно увеличить в том случае, если российские авиакомпании примут более активное участие в программе AMDAR, либо, если в стране будет реализована собственная национальная программа авиационных наблюдений, аналогичная программам AMDAR и TAMDAR. Так, например, если бы компания S7 Airlines – одна из крупнейших частных авиакомпаний России с самым современным парком ВС – была бы оснащена оборудованием программы AMDAR, то широкая маршрутная сеть, а это порядка 50 городов в России и города в 26 странах мира, позволила бы получать МД не только с пунктов взлета-посадки ВС, но и с заданного эшелона полета, что позволило бы соответствующим метеорологическим службам составлять сводки и уточнять прогнозы погоды в течение нескольких минут, получая данные, равноценные данным радиозондирования атмосферы.

В заключении отметим, что наибольшим достоинством метода авиационного зондирования является комплексность летных экспериментов, т.е. возможность выполнения измерений большинства параметров атмосферы в системе единого времени, что облегчает диагностику и прогнозирование взаимосвязей между ними. Благодаря авиационному зондированию, было выполнено много уникальных крупномасштабных мероприятий экспериментального характера, проводимых как в СССР (затем в России), так и за рубежом.

Обширные территории страны, а также сложность и многообразие погодно-климатических условий для полетов авиации, обуславливают необходимость оперативного и качественного исследования параметров атмосферы, в том числе, в труднодоступных районах, включая полярные. На этих основаниях весьма актуальным становится вопрос о более широком использовании авиационных метеорологических лабораторий типа М-55 «Геофизика», Як-42Д «Росгидромет», а также о развитии метеорологических бортовых систем ВС типа AMDAR и TAMDAR на отечественной компонентной базе. Производство и внедрение в эксплуатацию отечественных бортовых приборов, аналогичных зарубежным, и программного обеспечения в структуру авиационной отрасли страны может сделать возможным применение коммерческих ВС и БЛА в качестве метеорологических систем, передающих оперативную метеорологическую информацию по стандартам ВМО в онлайн режиме. По опыту внедрения таких систем зарубежными авиакомпаниями, это может повысить качество глобальных численных прогнозов погоды в среднем на 15-20%, снизить расходы топлива за счет оптимизации маршрутов полета и повысить качество обеспечения безопасности полетов в метеорологическом отношении [4].

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Заболотников Г.В., ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова, Санкт-Петербург, Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.32.14>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Zabolotnikov G.V., Saint-Petersburg State University of Civil Aviation named in honor of Air Chief Marshal of Aviation A.A. Novikov, Saint-Petersburg, Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.32.14>

Список литературы / References

1. Государственный реестр аэродромов и вертодромов на 15.09.2024 г // Официальный сайт Федерального агентства воздушного транспорта. — 2024 — URL: <https://favt.gov.ru/dejatelnost-ajeroporty-i-ajerodromy-reestr-grajdanskikh-ajerodromov-rf/> (дата обращения: 19.12.2024)
2. Авиационные происшествия и инциденты // Официальный сайт ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета». — 2024 — URL: <https://www.aviamettelecom.ru/activity/airweather/> (дата обращения: 27.12.2024)
3. Guide to Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 8). — 2020 — URL: https://community.wmo.int/en/activity-areas/imop/wmo-no_8 (accessed: 27.12.2024)
4. Primer Taller Regional AMDAR IATA-OMM – Servicio Meteorologico Nacional Argentina. — 2018 — URL: <https://wmo.int/media/news-from-members/primer-taller-regional-amdar-iata-omm-servicio-meteorologico-nacional-argentina> (accessed: 27.12.2024)
5. Manual of Aeronautical Meteorological Practice. Doc 8896. — 2021 — URL: <https://www.icao.int/airnavigation/METP/14th%20Meeting%20WAFS/METPWGMOG14%20IP09%20Att1-%20Doc.8896.update%20Amd%2081.pdf> (accessed: 27.12.2024)
6. Институт радарной метеорологии. — 2024 — URL: <https://iram.ru/> (дата обращения: 27.12.2024)
7. Центральная аэрологическая обсерватория (ЦАО). — 2024 — URL: <http://www.cao-rhms.ru/> (дата обращения: 27.12.2024)
8. Белан Б.Д. Основные результаты самолетного зондирования аэрозоля в ИОА СО РАН (1981-1991 гг.) / Б.Д. Белан, В.Е. Зуев // Оптика атмосферы и океана. — 1995. — № 1-2. — С. 131–149.
9. ФГБУ «ГАМЦ Росгидромета». — 2024 — URL: <http://gamc.ru/> (дата обращения: 27.12.2024)
10. Демчук В.А. Исследование особенностей метеорологического обеспечения полётов авиации в арктических районах / В.А. Демчук, Н.О. Моисеева // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. — 2019. — № 1 (22). — С. 32–41.
11. Толмачева Н.И. Аэрология (методы зондирования атмосферы): учебник / Н.И. Толмачева, Н.А. Калинин. — Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т., 2011. — 336 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gosudarstvennyj reestr aerodromov i vertodromov na 15.09.2024 g [State register of airfields and heliports as of September 15, 2024] // Official website of the Federal Air Transport Agency. — 2024 — URL: <https://favt.gov.ru/dejatelnost-ajeroporty-i-ajerodromy-reestr-grajdanskix-ajerodromov-rf/> (accessed: 19.12.2024) [in Russian]
2. Aviatsionnye proisshestviya i intsidenty [Aircraft accidents and incidents] // Official website of the Federal State Budgetary Institution "Aviamettelecom Roshydromet". — 2024 — URL: <https://www.aviamettelecom.ru/activity/airweather/> (accessed: 27.12.2024) [in Russian]
3. Guide to Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 8). — 2020 — URL: https://community.wmo.int/en/activity-areas/imop/wmo-no_8 (accessed: 27.12.2024)
4. Primer Taller Regional AMDAR IATA-OMM – Servicio Meteorologico Nacional Argentina. — 2018 — URL: <https://wmo.int/media/news-from-members/primer-taller-regional-amdar-iata-omm-servicio-meteorologico-nacional-argentina> (accessed: 27.12.2024)
5. Manual of Aeronautical Meteorological Practice. Doc 8896. — 2021 — URL: <https://www.icao.int/airnavigation/METP/14th%20Meeting%20WAFS/METPWGMOG14%20IP09%20Att1-%20Doc.8896.update%20Amd%2081.pdf> (accessed: 27.12.2024)
6. Institut radarnoj meteorologii [Institute of Radar Meteorology]. — 2024 — URL: <https://iram.ru/> (accessed: 27.12.2024) [in Russian]
7. Central'naja aerologicheskaja observatorija (CAO) [Central Aerological Observatory (CAO)]. — 2024 — URL: <http://www.cao-rhms.ru/> (accessed: 27.12.2024) [in Russian]
8. Belan B.D. Osnovnye rezul'taty samoletnogo zondirovanija aerazolja v IOA SO RAN (1981-1991 gg.) [Main results of aircraft sounding of aerosol at the IAO SB RAS (1981-1991)] / B.D. Belan, V.E. Zuev // Atmospheric and Ocean Optics. — 1995. — № 1-2. — P. 131–149. [in Russian]
9. FGBU «GAMC Rosgidrometa» [FSBI "GAMC Roshydromet"]. — 2024 — URL: <http://gamc.ru/> (accessed: 27.12.2024) [in Russian]
10. Demchuk V.A. Issledovanie osobennostej meteorologicheskogo obespechenija poletov aviatsii v arkticheskix rajonax [Study of the features of meteorological support for aviation flights in the Arctic regions] / V.A. Demchuk, N.O. Moiseeva // Bulletin of the St. Petersburg State University of Civil Aviation. — 2019. — № 1 (22). — P. 32–41. [in Russian]
11. Tolmacheva N.I. Aerologija (metody zondirovanija atmosfery): uchebnik [Aerology (methods of atmospheric sounding): manual] / N.I. Tolmacheva, N.A. Kalinin. — Perm: Perm State National Research University, 2011. — 336 p. [in Russian]