 © Авторы статьи / Authors of the article

НАУКИ ОБ АТМОСФЕРЕ И КЛИМАТЕ/ATMOSPHERIC AND CLIMATE SCIENCES

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.135 EDN: ZLBXSU

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО ОБРАЗЦА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ЗОНДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЯРНЫХ МЕЗОЦИКЛОНОВ

Научная статья

Гамбургер Ю.В.[1, *], Дмитрук В.В.[2], Моисеева Н.О.[3]

[1, 2, 3] Санкт-Петербургский Государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (yuriidixon[at]mail.ru)

Предложена: 14.09.2024; Принята: 29.10.2024; Опубликована: 17.12.2024

Аннотация

На фоне увеличения государственного и частного интереса к добыче углеводородов в Арктической зоне России в статье проанализирована возможность внедрения перспективного метеорологического зонда для исследования опасного явления погоды. Дана краткая характеристика полярным мезоциклонам и их влиянию на безопасность на транспорте. Рассматриваются вопросы разработки и применения перспективного образца метеорологического зонда для измерения параметров ветра и температуры, давления, влажности по профилю полярного мезоциклона. Проанализирован необходимый набор комплектующих для выполнения измерений. Рассмотрена возможность доставки радиозонда для вертикального зондирования атмосферы воздушными судами из авиационного парка Российской Федерации. Определены основные направления дальнейшего совершенствования устройства, проанализированы существующие возможности по доставки зонда в границы исследуемого явления. Проанализирована пригодность внедрения формата данных сбрасываемого радиозонда в численные модели прогнозирования погоды.

Ключевые слова: полярный мезоциклон, опасное явление погоды, сбрасываемый радиозонд, арктическая зона России, аэродромы арктической зоны.

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A PROMISING MODEL OF METEOROLOGICAL PROBE FOR MEASURING AND RECORDING METEOROLOGICAL PARAMETERS OF POLAR MESOCYCLONES

Research article

Gamburger Y.V.[1, *], Dmitruk V.V.[2], Moiseeva N.O.[3]

[1, 2, 3] Saint-Petersburg State University of civil aviation named after Air Chief Marshal A.A. Novikov, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (yuriidixon[at]mail.ru)

Suggested: 14.09.2024; Accepted: 29.10.2024; Published: 17.12.2024

Abstract

Given the increasing public and private interest in hydrocarbon production in the Arctic zone of Russia, the article analyses the possibility of introducing a promising meteorological probe to study hazardous weather phenomenon. A brief characteristic of polar mesocyclones and their influence on transport safety is given. The questions of development and application of a perspective sample of meteorological probe for measuring wind parameters and temperature, pressure, humidity along the profile of polar mesocyclone are examined. The necessary set of components for measurements is analysed. The possibility of delivery of the radiosonde for vertical atmospheric sounding by aircraft from the aircraft fleet of the Russian Federation is discussed. The main directions of further improvement of the device are determined, the existing possibilities of probe delivery to the boundaries of the studied phenomenon are analysed. The suitability of introducing the data format of the dropped radiosonde into numerical weather forecasting models is analysed.

Keywords: polar mesocyclone, hazardous weather phenomenon, dropsonde, Arctic zone of Russia, airfields of the Arctic zone.

Введение

Арктическая зона РФ (АЗРФ) является стратегически важной территорией, имеющей глобальное значение для нашей страны. Данный постулат отражен в различных нормативно-правовых документах и планах развития от локального масштаба до самого высокого уровня. 7 июня 2024 Президент России, выступая в рамках Петербургского международного экономического форума («ПМЭФ 2024») страны, подтвердил, что более 15% национального ВВП приносят предприятия, расположенные в Арктике [1].

На фоне продолжающегося экстенсивного экономического роста и параллельного развития наземной инфраструктуры стоит отметить, что хозяйственная деятельность человека в Арктике сопряжена с трудностями, связанными, прежде всего, с тяжелыми климатическими условиями региона. Данное утверждение находит еще больший отклик в связи с тем, что в инфраструктурном отношении авиационное и судоходное сообщение играют ключевую роль ввиду труднодоступности региона, а обеспечение безопасности навигации по морю и воздуху – непростая задача даже для опытных специалистов.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Рассматривая «метеорологический фактор» как наиболее непредсказуемый элемент, влияющий на работу авиационно-транспортной системы, стоит обратить внимание на существование полярных мезоциклонов (ПМЦ), серьезно влияющих в силу ряда причин на безопасность полетов ВС в регионе. В данной работе проведен анализ влияния данного явления погоды на безопасность полетов ВС, предложены концептуальные технические решения по созданию и использованию системы измерения и регистрации метеорологических величин для получения уникального массива научной информации, который может быть использована в целях повышения безопасности полетов и увеличению точности прогнозов.

Согласно термину, принятому Европейской рабочей группой по полярным мезоциклонам [2] ПМЦ – это циклонические вихри альфа и бета мезомасштаба, возникающие в области между полюсом и полярным фронтом. На практике, под ПМЦ понимается интенсивный морской циклон в приполярной области с масштабом до 1000 км и скоростями ветра 15 м/с и более.

Акватории Северо-Европейских бассейнов являются областью наиболее активного мезомасштабного циклогенеза в северном полушарии. По статистике, ПМЦ возникает и на территориях Арктических морей, расположенных к востоку от Новой Земли. (Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море). На обозначенной территории располагается большое количество аэродромов, посадочных площадок, вертодромов, грузовых терминалов и вахтовых поселков, где осуществляется активная хозяйственная деятельность. Наиболее крупные аэродромы и посадочные площадки, находящиеся в обозначенном регионе отображены на рис. 1 [3].

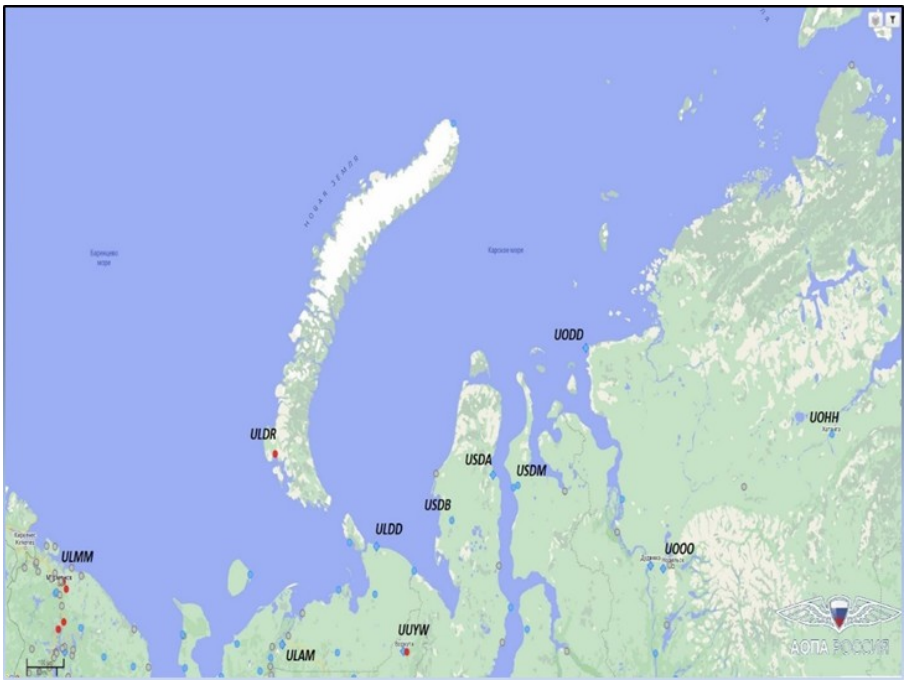
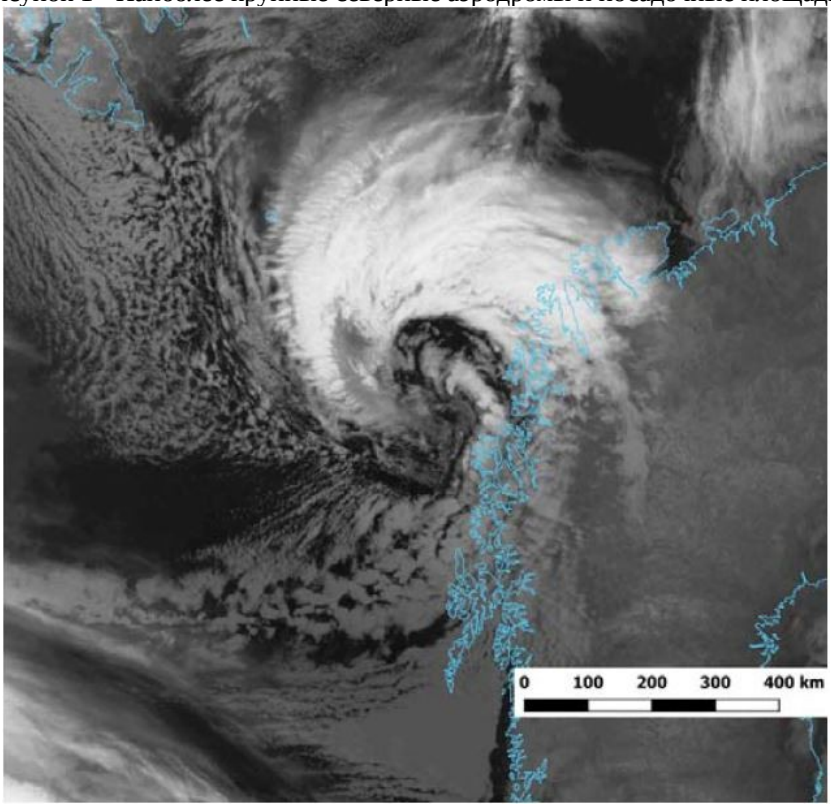


Рисунок 1 - Наиболее крупные северные аэродромы и посадочные площадки РФ



 © Авторы статьи / Authors of the article

1. Значительное, резкое ухудшение видимости.

Известны случаи, когда при ясной и холодной погоде происходило быстрое натекание плотной облачности по ходу движения ПМЦ.

2. Обильные осадки.

В зимнее время наблюдается интенсивные снегопады, что, в частности, и приводит к экстремальному ухудшению видимости. Осадки облачной системы простираются в среднем в диапазоне высот до 3,5 км и на 200-400 км по горизонтали, занимая значительные морские и прибрежные площади.

3. Штормовые скорости ветра.

В результате анализа характеристик погоды по данным 203 случаев образования ПМЦ зарегистрированы значения до 35 м/с.

4. Обледенение.

Методы и методы исследования

По результатам практических визуальных и инструментальных наблюдений с научно-исследовательских судов (НИС) обледенение под воздействием явления незначительное у водной поверхности. Однако это не исключает вероятное умеренное и сильное обледенение в более высоких широтах, где температура воды ниже и в диапазоне высот действия ПМЦ, что критически опасно для аэронавигации в пределах активности явления.

Ключевой и наиболее опасный фактор заключается в сложностях отслеживания ПМЦ на ранних стадиях формирования существующими техническими средствами наблюдения и зондирования [5]. Ограниченность инструментов исследования зачастую обусловлена:

1. Коротким сроком существования/жизни метеорологического явления по сравнению с крупномасштабными циклонами. Средняя продолжительность существования ПМЦ равняется 13-15 часов.

2. Сложностью обнаружения. Облачные мезовихри сравнительно небольшого диаметра (до 100 км) не отображаются в поле давления. В ряде ситуаций это характерно и для интенсивных ПМЦ. Данная ситуация типична для районов с недостаточным покрытием сети станций метеорологического слежения. В АЗРФ плотность станций в 10 раз меньше, чем в центральных районах РФ (рис. 3).

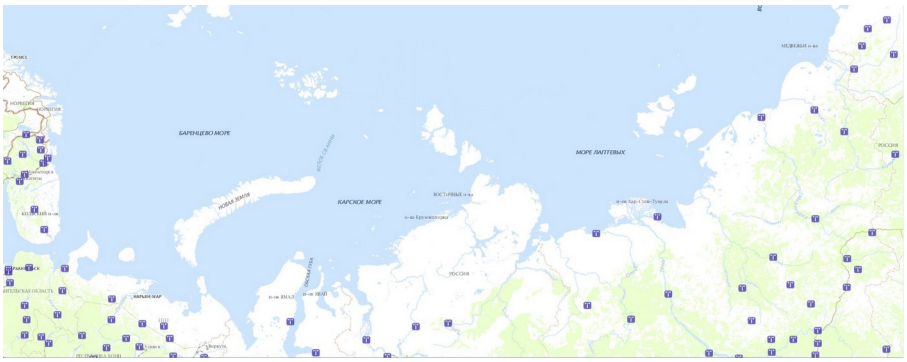


Рисунок 3 - Действующие метеорологические станции по данным ЕСИМО
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.135.3

Примечание: источник [6]

Совершенствование метеорологического обеспечения полетов должно идти по нескольким направлениям, одним из которых является разработка и внедрение современных и перспективных технических средств проведения исследований и регистрации параметров метеорологических величин. В контексте метеорологического обеспечения полетов в АЗРФ данная инициатива приобретает еще более важное значение.

С целью регистрации параметров полярных мезоциклонов авторами данной статьи предлагается внедрение и последующее использование комплексной системы зондирования атмосферы с помощью сбрасываемых невозвратных радиозондов (dropsondes) [9]. В качестве средств доставки СРЗ предлагается использование пилотируемых отечественных ВС на базе таких типов ВС как Ан-24, Ан-26, которые активно использовались в качестве ВРП, в том числе в Арктике [10]. Также в перспективе могут быть рассмотрены для использования беспилотные авиационные системы доставки и легкие ВС (до 5700 кг).

Принцип измерения метеорологических величин является контактным. Измерения метеорологических величин при радиозондировании относится к классу метеорологических. Специфика используемого метода позволяет производить измерения не в одной точке, как, к примеру, при наземных метеорологических измерениях, а во время движения измерительного прибора по вертикали.

Обобщенно, принцип использования заключается в следующем: ВС, с находящейся на борту оборудованием для приема сигналов телеметрии и научным составом вылетает в зону действия полярного мезоциклона. Заняв рабочий для проведения эксперимента эшелон полета, специалист, отвечающий за проведение исследования инициирует выпуск СРЗ с определенной частотой. После отделения с борта ВС радиозонд спускается с постоянной вертикальной скоростью при помощи парашюта, передавая на борт информацию о температуре, давлении, влажности, а так же

 © Авторы статьи / Authors of the article

скорости и направлении ветра внутри опасного явления. Концептуально, данная бортовая система вертикального зондирования выглядит следующим образом (рис. 4).

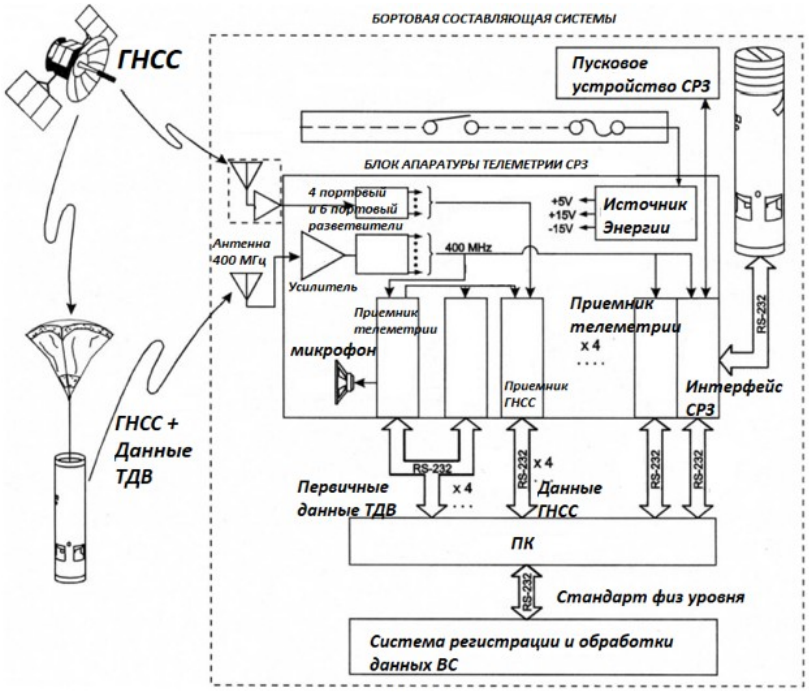


Рисунок 4 - Концептуальная схема функционирования бортовой составляющей системы зондирования атмосферы
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.135.4

Результаты и обсуждения

В результате анализа технических возможностей было принято решение сборки и проведения лабораторных исследований первого прототипа СРЗ. Для метеорологического зонда были отобраны следующие компоненты – платформа «Arduino Mega 2560», датчик температуры и влажности «HD1080», датчик давления, влажности и температуры «SI7021», а также было принято решение о добавлении датчика контроля загрязнения воздуха на 1 и 5 микрон «PPD42NJ». Весь состав отобранных зарубежных комплектующих прибора полностью отвечает целям исследования и позволяет выполнять измерения температуры, давления и влажности (основные параметры) с дискретностью в 1 секунду. Кроме того, метеозонд состоит из считывателя SD карт и аккумулятора на 5V. Общий вид устройства представлен на рис. 5.

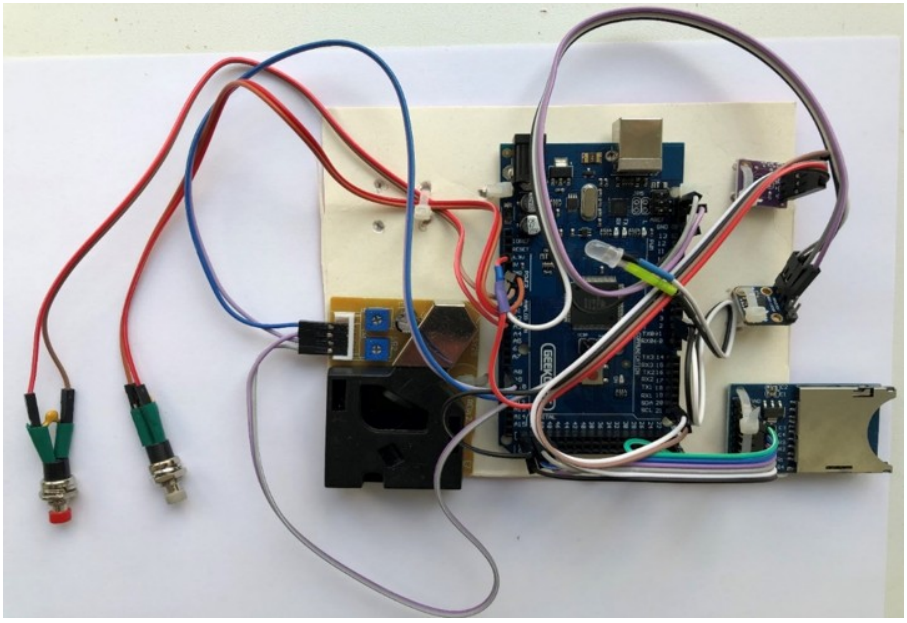


Рисунок 5 - Общий вид СРЗ в разобранном виде
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.135.5

 © Авторы статьи / Authors of the article

Ввиду отсутствия возможностей проведения реальных испытаний было принято временное решение об использовании SD формата (флеш-память) для накопления регистрируемой информации. Включение/выключение записи было также упрощено и технически выполнено в формате нажимных кнопок.

Для программирования устройства была выбрана Arduino IDE – кросс-платформенное приложение для написания и загрузки программ на Arduino-совместимые платы. Выбор платы и среды программирования был обусловлен относительной простотой системы, и удобным интерфейсом для разработки простых устройств.

Запись параметров давления, температуры, влажности и загрязнения воздуха осуществляется непрерывно в CSV формате. По результатам полученных данных указанного формата могут быть оперативно сформированы соответствующие диаграммы в программе Excel.

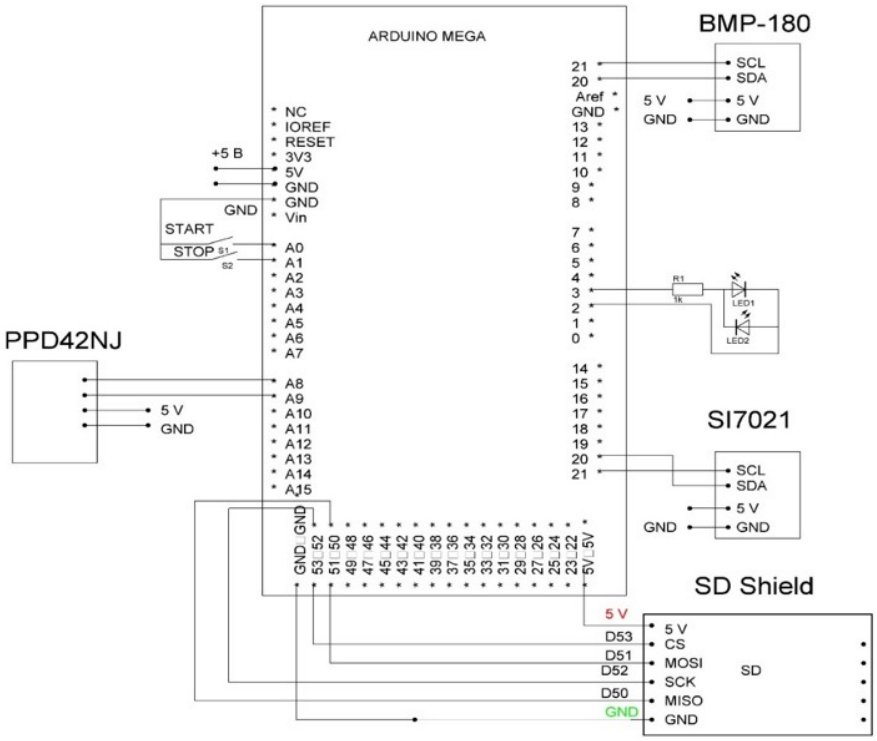


Рисунок 6 - Структурная схема устройства
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.135.6

В результате апробации устройства были получены массивы данных температуры, давления и влажности, которые могут быть адаптированы для использования в различных целях, в том числе и для ЧПП (численного прогнозирования погоды).

Заключение

Использование данной технологии позволит исследовать поля метеорологических параметров ПМЦ по вертикали. Появится реальная возможность изучить и обработать данные для полярных циклонов с коротким сроком жизни. Информация, которая может быть получена данным методом позволит уточнить и повысить качество локальных (местных) прогнозов погоды. Наибольший приоритет целесообразно отводить тем районам, где расположены прибрежные посадочные площадки и крупные северные аэродромы. Информация, полученная в результате проведения исследований, сможет быть адаптирована в моделях ЧПП. В процессе разработки собственной системы бортового зондирования с помощью СРЗ может быть использован значительный накопленный опыт эксплуатации подобных систем зарубежных коллег.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.135.7

Conflict of Interest

None declared.

Review

Community of Reviewers of the International Research Journal
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.135.7

 © Авторы статьи / Authors of the article

Список литературы / References

1. Интернет-представительство Президента России: официальный сайт. — URL: http://www.kremlin.ru/ (дата обращения: 20.06.2024).

2. Rasmussen E.A. A case study of a polar low development over the Barents Sea / E.A. Rasmussen // Tellus A. — 1985. — Vol. 37. — № 5. P. — 407–418.

3. Межрегиональная общественная организация пилотов и граждан-владельцев воздушных судов: официальный сайт. — URL: https://aopa.ru (дата обращения: 20.06.2024).

4. Репина И.А. Опасные погодные явления в Арктике / И.А. Репина, А.А. Шестакова, М.И. Варенцов [и др.] // Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий : материалы V Международной научно-практической конференции. — Майкоп : Индивидуальный предприниматель Кучеренко Вячеслав Олегович, 2019. — С. 118–127. – EDN UINQJI.

5. Вазаева Н.В. О критериях идентификации полярных мезоциклонов / Н.В. Вазаева, О.Г. Чхетиани, Е.А. Дурнева // Метеорология и гидрология. — 2022. — № 4. — С. 20–33. — DOI: 10.52002/0130-2906-2022-4-20-33.

6. Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане ЕСИМО : официальный сайт. — URL: http://esimo.ru/portal (дата обращения: 20.06.2024).

7. Моисеева Н.О. Разработка перспективного образца метеорологического зонда для повышения безопасности полетов ВС / Н.О. Моисеева, Ю.В. Гамбургер // Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ : сборник тезисов Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Российского государственного гидрометеорологического университета. — Санкт-Петербург : Российский государственный гидрометеорологический университет, 2020. — С. 198–199. — EDN ZEFFAS.

8. Синькевич А.А. Создание комплекса самолетной метеорологической аппаратуры, разработка методики ее применения и результаты экспериментальных исследований облаков : автореферат дис. ... д-ра техн. наук : 11.00.09 / А.А. Синькевич. — Санкт-Петербург : ГГО, 1992. — 27 с.

9. National Center for Atmospheric Research: the official website. — URL: https://www.eol.ucar.edu/observing_facilities/avaps-dropsonde-system (accessed: 15.06.2024).

10. Глушков В.В. Полярная авиация: состояние и перспективы развития / В.В. Глушков, Н.М. Куприков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2020. — № 6. — С. 110–120. — EDN GQMWNC.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Internet-predstavitel'stvo Prezidenta Rossii: oficial'nyj sajt [The Internet representation of the President of Russia: the official website]. — URL: http://www.kremlin.ru/ (accessed: 20.06.2024). [in Russian]

2. Rasmussen E.A. A case study of a polar low development over the Barents Sea / E.A. Rasmussen // Tellus A. — 1985. — Vol. 37. — № 5. P. — 407–418.

3. Mezhregional'naja obshhestvennaja organizacija pilotov i grazhdan-vladel'cev vozdushnyh sudov: oficial'nyj sajt [Interregional public organization of pilots and citizen owners of aircraft: the official website]. — URL: https://aopa.ru (accessed: 20.06.2024). [in Russian]

4. Repina I.A. Opasnye pogodnye javlenija v Arktike [Dangerous weather phenomena in the Arctic] / I.A. Repina, A.A. Shestakova, M.I. Varentsov [et al.] // Fundamental'nye i prikladnye aspekty geologii, geofiziki i geojekologii s ispol'zovaniem sovremennyh informacionnyh tehnologij : materialy V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii [Fundamental and applied aspects of geology, geophysics and geoecology using modern information technologies : proceedings of the V International Scientific and Practical Conference]. — Maykop : Individual entrepreneur Kucherenko Vyacheslav Olegovich, 2019. — P. 118–127. — EDN UINQJI. [in Russian]

5. Vazaeva N.V. O kriterijah identifikacii poljarnyh mezociklonov [Criteria to identify polar lows] / N.V. Vazaeva, O.G. Chhetiani, E.A. Durneva // Meteorologija i gidrologija [Meteorology and Hydrology]. — 2022. — № 4. — P. 20–33. — DOI: 10.52002/0130-2906-2022-4-20-33. [in Russian]

6. Edinaja gosudarstvennaja sistema informacii ob obstanovke v mirovom okeane ESIMO [The Unified State Information System on the situation in the world ocean of the ESIMO] : official website. — URL: http://esimo.ru/portal (accessed: 20.06.2024). [in Russian]

7. Moiseeva N.O. Razrabotka perspektivnogo obrazca meteorologicheskogo zonda dlja povyshenija bezopasnosti poletov VS [The development of promising meteorological drone for the improvement of flight operations safety] / N.O. Moiseeva, Y.V. Gamburger // Sovremennye problemy gidrometeorologii i monitoringa okruzhajushhej sredy na prostranstve SNG : cbornik tezisov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj 90-letiju Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta [Modern Problems ofHydrometeorology and Environmental Monitoring in the CIS : collection of theses of the International Scientific and Practical Conference dedicatedto the 90th anniversary of the Russian State Hydrometeorological University]. — Saint Petersburg : Russian State Hydrometeorological University, 2020. — P. 198–199. — EDN ZEFFAS. [in Russian]

8. Sinkevich A.A. Sozdanie kompleksa samoletnoj meteorologicheskoj apparatury, razrabotka metodiki ee primenenija i rezul'taty jeksperimental'nyh issledovanij oblakov [Creation of a complex of aircraft meteorological equipment, development of a methodology for its application and the results of experimental studies of clouds] : abstract of the dis. ... of PhD in Engineering : 11.00.09 / A.A. Sinkevich. — Saint Petersburg : Voeikov Main Geophysical Observatory, 1992. — 27 p. [in Russian]

9. National Center for Atmospheric Research: the official website. — URL: https://www.eol.ucar.edu/observing_facilities/avaps-dropsonde-system (accessed: 15.06.2024).

 © Авторы статьи / Authors of the article

10. Glushkov V.V. Poljarnaja aviacija: sostojanie i perspektivy razvitija [Polar aviation: state and development prospects] / V.V. Glushkov, N.M. Kuprikov // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki [Proceedings of Tula State University. Technical sciences]. — 2020. — № 6. — P. 110–120. — EDN GQMWNC. [in Russian]