

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Т Р У Д Ы
ВСЕРОССИЙСКОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ –
МИРОВОГО ЦЕНТРА ДАННЫХ



*Под редакцией
доктора физико-математических наук В. М. Шаймарданова
и доктора физико-математических наук А. М. Стерина*

ОБНИНСК
2024

Адрес: 249031, Обнинск, ул. Королёва, 6
Телефон: (484) 396-40-85
Факс: (484) 396-86-11
E-mail: wdcb@meteo.ru
Web site: <http://www.meteo.ru>

УДК 551.583

Редакционная коллегия

Главный редактор д.ф.-м.н. В. М. Шаймарданов

Зам. главного редактора д.ф.-м.н. А. М. Стерин

Ответственный секретарь к.ф.-м.н. И. В. Черных

Члены редколлегии: к.т.н. С. В. Белов, д.т.н. Е. Д. Вязилов,

к.г.н. Е. Д. Гниломедов, к.г.н. Н. Н. Коршунова, к.ф.-м.н. С. Г. Сивачок,

д.г.н. М. З. Шаймарданов, д.г.н. Б. Г. Шерстюков, к.ф.-м.н. А. В. Хохлова

Аннотация сборника № 192

(под ред. д.ф.-м.н. В.М. Шаймарданова, д.ф.-м.н. А.М. Стерина)

В сборнике содержится ряд статей, подготовленных сотрудниками ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», по широкому спектру тематик, охватывающих формирование баз данных о состоянии объектов окружающей среды, и информационных массивов, связанных с климатической системой и её изменениями, анализ изменений в климатической системе. Значительная часть работ посвящается развитию и модернизации средств обработки различных видов данных и обслуживанию потребителей гидрометеорологической информацией.

Обсуждаются вопросы улучшения качества климатических массивов, обеспечения однородности климатических рядов.

Сборник будет полезен широкому кругу специалистов, заинтересованных в развитии систем сбора, обработки и архивации информации об окружающей природной среде, её использовании для уточнения представлений о структуре и изменениях климата.

Abstract Collection No. 192

(edited by Vladislav M. Shaimardanov, PhD in Physics and Maths,
and Alexander M. Sterin, PhD in Physics and Maths)

The Collection contains a number of papers prepared by the RIHMI-WDC staff. The papers cover a wide range of topics concerning the formation of databases on natural environments, information arrays connected with climate system and its change, and the analysis of changes in the climate system. A substantial part of papers is devoted to the development and upgrading of data processing facilities and services provided for hydrometeorological information users.

The issues of improvement in quality of climate data arrays and providing homogeneity of climate data series are discussed.

The Collection is to be helpful for a wide range of professionals who are interested in the development of environmental data collection, processing and archiving systems and the use of these data in better understanding of climate structure and climate change.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Мельников Д.А., Михайлов Н.Н., Вязилов Е.Д., Воронцов А.А., Белова К.В., Пузова Н.В., Вязилова Н.А.</i> Модернизация информационно-технологического узла Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане	7
<i>Белова К.В., Михайлов Н.Н., Воронцов А.А., Вязилов Е.Д., Белов С.В., Пузова Н.В., Мельников Д.А., Баталкина С.А., Мухалёва Н.В., Нефёдова Г.И., Антонов А.А., Бахмутов В.Ю., Федоров А.А.</i> Модернизация военной подсистемы ЕСИМО для полномасштабного обеспечения ВМФ России	28
<i>Руденкова Т.В., Тимофеев А.А.</i> О содержании и полноте нового архива аэрологических данных АЭРОБАФР	42
<i>Коршунова Н.Н., Давлетшин С.Г.</i> Мониторинг облачности на территории России	53
<i>Руклинская Е.Ф., Воробьева Л.Н., Санина А.Т.</i> Воздействие опасных гидрометеорологических явлений и неблагоприятных условий погоды на топливно-энергетический комплекс России	65
<i>Вязилова Н.А.</i> Муссонная циркуляция в Индийском океане и Эль-Ниньо — Южное колебание	77
<i>Гниломедов Е.В.</i> Прогнозные оценки вероятности возникновения наводнений в период половодья на реках Ямало-Ненецкого автономного округа	99
<i>Финаев А.Ф., Разуваев В.Н.</i> Гомогенизация данных экстремальных температур воздуха по метеорологическим станциям России	113
<i>Черных И.В.</i> Пространственно-временные изменения числа восстановленных по данным радиозондирования облачных слоёв в атмосферном слое 0–10 км	125
<i>Булыгин А.М., Вишнев О.Г.</i> Изменчивость термического режима поверхностного слоя Чёрного моря по данным спутниковых наблюдений	143
<i>Воронцов А.А., Булыгин А.М., Баталкина С.А., Нефёдова Г.И.</i> Характеристики термохалинного режима Азовского моря в последние десятилетия	152
<i>Воронцов А.А., Баталкина С.А., Нефёдова Г.И.</i> Ветро-волновой режим российского побережья Чёрного моря в современный период	167
<i>Михеев Н.Ю.</i> Формирование и использование базы данных детальных метаописаний ЯОД-объектов хранения ЕГФД	178
<i>Кузнецова В.Н., Швець Н.В.</i> Изменения относительной влажности воздуха на Европейской территории России за период 1966–2023 гг.	188
<i>Перетягько Л.О., Швець Н.В.</i> Программа обработки данных плевниографа «REGEN-PLUV»	202

<i>Вязилова Н.А.</i> Циклоны Баренцева моря по данным реанализа ERA5.....	220
<i>Кашина И.И., Кузнецов А.А., Рябова Е.А.</i> Формирование полнотекстовой базы правовых актов Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды	232
<i>Хохлова А.В., Тимофеев А.А.</i> Средняя скорость ветра в тропосфере над территорией Российской Федерации по данным многолетних радиозондовых наблюдений	240
<i>Духов Е.В., Хохлова А.В., Руденкова Т.В.</i> Каталог радиозондовых данных массивов АЭРОБАФР и АЭРОСТАС в архивах Единого государственного фонда данных.....	252
<i>Шерстюков Б.Г., Гниломедов Е.В., Шерстюков А.Б.</i> Физико-статистические основы для прогноза изменений количества осадков и стока рек России на ближайшие десятилетия.....	262

CONTENTS

<i>Melnikov D.A., [Mikhailov N.N.], Vjazilov E.D., Vorontsov A.A., Belova K.V., Puzova N.V., Vjazilova N.A.</i> Modernization of the Information Technology Node of the Unified State System of Information on the World Ocean.....	7
<i>Belova K.V., [Mikhailov N.N.], Vorontsov A.A., Vjazilov E.D., Belov S.V., Puzova N.V., Melnikov D.A., Batakina S.A., Mukhaleva N.V., Nefedova G.I., Antonov A.A., Bakmutov V.Y., Fedorov A.A.</i> Modernization of the ESIMO Military Subsystem for Full-Scale Support of the Russian Navy	28
<i>Rudenkova T.V., Timofeev A.A.</i> On the content and completeness of AEROBUFR, a new upper-air data archive	42
<i>Korshunova N.N., Davletshin S.G.</i> Cloudiness monitoring over the territory of Russia	53
<i>Ruklinskaya E.F., Vorobyeva L.N., Sanina A.T.</i> Impact of Hydrometeorological Hazards and Adverse Weather Conditions on the Fuel and Energy Complex of Russia	65
<i>Viazilova N.A.</i> Indian Ocean Monsoon Circulation and El Niño — Southern Oscillation.....	77
<i>Gnilomedov E.V.</i> Forecast Estimates of the Probability of Floods During High Water on the Rivers of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug.....	99
<i>Finaev A.F., Razuvayev V.N.</i> Homogenization of Extreme Air Temperature Data for Meteorological Stations in Russia.....	113
<i>Chernykh I.V.</i> Space-time Variations in the Number of Cloud Layers Recovered from Radiosounding Data in the 0–10-km Atmospheric Layer.....	125
<i>Bulygin A.M., Vishnev O.G.</i> Variability of the Thermal Regime of the Black Sea Surface Layer According to Satellite Observations.....	143
<i>Vorontsov A.A., Bulygin A.M., Batakina S.A., Nefedova G.I.</i> Characteristics of the thermohaline regime in the Sea of Azov in the recent decades.....	152
<i>Vorontsov A.A., Batakina S.A., Nefedova G.I.</i> Wind-wave Regime of the Russian Black Sea Coast in the Modern Period.....	167
<i>Mikheev N.Yu.</i> The Technology of Forming a Database of Detailed Meta-descriptions of Storage Objects of Unified State Data Fund.....	178
<i>Kuznetsova V.N., Shvets N.V.</i> Change in relative air humidity over European Russia in the period 1966–2023	188
<i>Perelyatko L.O., Shvets N.V.</i> REGEN-PLUV rain gauge data processing programme	202
<i>Viazilova N.A.</i> Cyclones in the Barents Sea based on ERA5 reanalysis.....	220

<i>Kashina I.I., Kuznetsov A.A., Ryabova E.A.</i> Formation of a Full-Text Database of Legal Acts of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring	232
<i>Khokhlova A.V., Timofeev A.A.</i> The Average Wind Speed in the Troposphere Over the Territory of the Russian Federation According to Long-Term Radiosonde Observations	240
<i>Dukhov E.V., Khokhlova A.V., Rudenkova T.V.</i> Catalog of Radiosonde Data of AEROBUFR and AEROSTAS Data Sets in the Archives of the Unified State Data Fund	252
<i>Sherstyukov B.G., Gnilomedov E.V., Sherstyukov A.B.</i> Physical and Statistical Fundamentals for Forecasting the Changes in Precipitation and River Flow in Russia for the Coming Decades.....	262

УДК 551.46.09

МОДЕРНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УЗЛА ЕДИНОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИИ ОБ ОБСТАНОВКЕ В МИРОВОМ ОКЕАНЕ

**Д.А. Мельников¹, Н.Н. Михайлов², Е.Д. Вязилов²,
А.А. Воронцов³, К.В. Белова⁴, Н.В. Пузова⁵,
Н.А. Вязилова⁶**

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
¹ melnikov@meteo.ru, ² vjaz@meteo.ru, ³ av10921@meteo.ru,
⁴ christy@meteo.ru, ⁵ cbmd@meteo.ru, ⁶ nav@meteo.ru*

Введение

Объектами исследований являются методы, средства и технологии функционирования Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО).

ЕСИМО была введена в постоянную эксплуатацию с 1 января 2014 года. В первые семь лет проводилась постоянная эксплуатация и оптимизация некоторых процессов обработки интегрированных данных. В 2020–2022 годах были выполнены следующие работы [1–5].

В существующих в мире и в России интегрированных системах, как правило, рассматривается консолидация в одном хранилище данных, полученных из различных разнородных и распределённых систем, и иногда полная переработка схемы базы данных для включения новых данных. А вот настройка на любую предметную область практически не применяется или используется для интеграции в очень узкой предметной области, например такой подход применяется в панъевропейском проекте SeaDataNet (SeaDataCloud) [6] для интеграции данных океанографических станций, представленных различными странами Европы.

Трудностями и барьерами для ЕСИМО в настоящее время являются устаревание программных и аппаратных средств

(2011–2013 год закупки) и организация информационного обслуживания (170 единиц оборудования, недостаток обслуживающего персонала). Эти трудности порождает необходимость в исследовании подходов по модернизации аппаратно-программного комплекса (АПК) системы с целью минимизации трудозатрат по его поддержке. Поэтому ЕСИМО должна соответствовать постоянно повышающимся критериям качества обслуживания, для чего необходима модернизация программных средств, отвечающих за информационное обеспечение.

Основная цель исследований состоит в развитии средств и технологий ЕСИМО по гидрометеорологическому обеспечению морской деятельности (ГМОМД) согласно РД 52.27.881–2019 [7].

Задачами исследования являются развитие современной архитектуры программного обеспечения, прикладных сервисов для гидрометеорологического обеспечения морской деятельности, информационного обеспечения с помощью автономной доставки данных и информации до руководителей предприятий не только в цифровой форме, но и в виде сведений о возможных воздействиях и рекомендаций.

В качестве основных методов исследований использованы системный анализ возможностей и тенденций в области цифровых информационных технологий, методы создания цифровой платформы для ГМОМД, а также современные методы организации программного обеспечения с использованием контейнерной организации программного обеспечения с микросервисами.

1. Развитие архитектуры программного обеспечения

В 2021–2022 годах разработчики освоили контейнерную архитектуру организации программного обеспечения и в 2023 году применили её при создании модернизированного АПК, обеспечивающего управление, производство и обслуживание информацией об обстановке в Мировом океане, включая реализацию прикладных задач ГМОМД. АПК развёрнут на стенде ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД».

Эти исследования укладываются в развитие цифровой трансформации (ЦТ) Росгидромета и ЕСИМО — в частности. ЦТ — это

сквозное комплексное преобразование существующих и внедрение перспективных информационных технологий в организациях для комплексной автоматизации обработки данных от сбора до принятия решений в виде конвейера непрерывной обработки данных. Развитие ЦТ требует повышения уровня автоматизации управления данными и эффективности их использования в бизнес-процессах предприятий, зависящих от гидрометеорологических условий. Сейчас многие рутинные операции, связанные с сопровождением программного обеспечения, остаются прерогативой персонала.

Конвейер должен типизировать многие процессы обработки данных и исключить ручные операции по поиску, выборке, подготовке к обработке и передаче потоков данных от одного этапа к другому. ЦТ сопровождается автоматической подготовкой метаданных и загрузкой создаваемых, или пополняемых, или обновляемых баз инвертированных, расчётных, обобщённых и климатических данных [8, 9].

Для реализации конвейерной обработки требуется оптимизация существующего программного обеспечения, снижение его сложности и повышение управляемости. Базовыми компонентами конвейерной организации обработки гидрометеорологических данных являются средства интеграции данных; организация потоков работ на основе правил; управление операциями по обработке и получению информационной продукции. Для такой обработки данных можно выделить следующие этапы:

- сбор, загрузка данных от наблюдательных платформ и создание интегрированной базы данных (БД);
- инвертирование наблюждённых данных — представление в другом порядке по отношению к наблюдённым данным;
- интерполяция наблюдённых данных по времени и/или пространству;
 - вычисление значений для новых параметров;
 - статистическая обработка наблюдённых и интерполированных значений;
 - получение климатических характеристик для различных параметров окружающей среды за заданный период времени (например — 30 лет);

- каталогизация всех поступающих и рассчитанных данных и создание метаданных;
- выявление аномалий в наблюдаемых данных или превышений пороговых значений параметров и присвоение им уровней опасности;
- доставка информации потребителям;
- прогноз воздействий и выдача рекомендаций в случае превышения значений параметров их пороговых значений;
- оценка возможного ущерба и расчёт стоимости превентивных мероприятий;
- мониторинг всех этапов обработки данных.

Выделенные этапы сквозной обработки на примере океанографических данных представлены на рис. 1.

Конвейерная обработка данных базируется на исключении множества ручных операций по поиску, выборке, подготовке к обработке и передаче потоков данных от одного этапа к другому, сопровождается автоматической подготовкой метаданных и загрузкой создаваемых, или пополняемых, или обновляемых баз инвертированных, расчётных, обобщённых и климатических данных в БД.

Автоматическая обработка данных заключается в следующем. После поступления очередной порции данных срабатывает триггер, который запускает процедуру раскодировки данных. Далее, после выполнения раскодировки, срабатывает второй триггер, который запускает следующий этап обработки — загрузку в базу интегрированных данных (БИД), вычисление, интерполяцию, выявление аномалий. Большинство этапов конвейера являются зависимыми — для получения высоко агрегированной информации данные проходят многоэтапную обработку — слияние отдельных порций данных от различных дисциплинарных массивов, упорядочение и интерполяцию во времени или пространстве, получение расчётных характеристик, вычисление статистик и т.д. Важным моментом такого конвейера является то, что результаты практически всех операций обработки сохраняются для использования в разных прикладных задачах для вычисления разнообразных свойств атмосферы и гидросферы (характеристики звукового

канала, статистические характеристики, классификации, годовой ход и т.п.). Сохранение инвертированных и расчётных массивов данных технологически целесообразно и экономически выгодно, так как стоимость их создания при каждом выполнении запроса намного дороже, чем их одноразовое создание, сохранение и многократное использование.

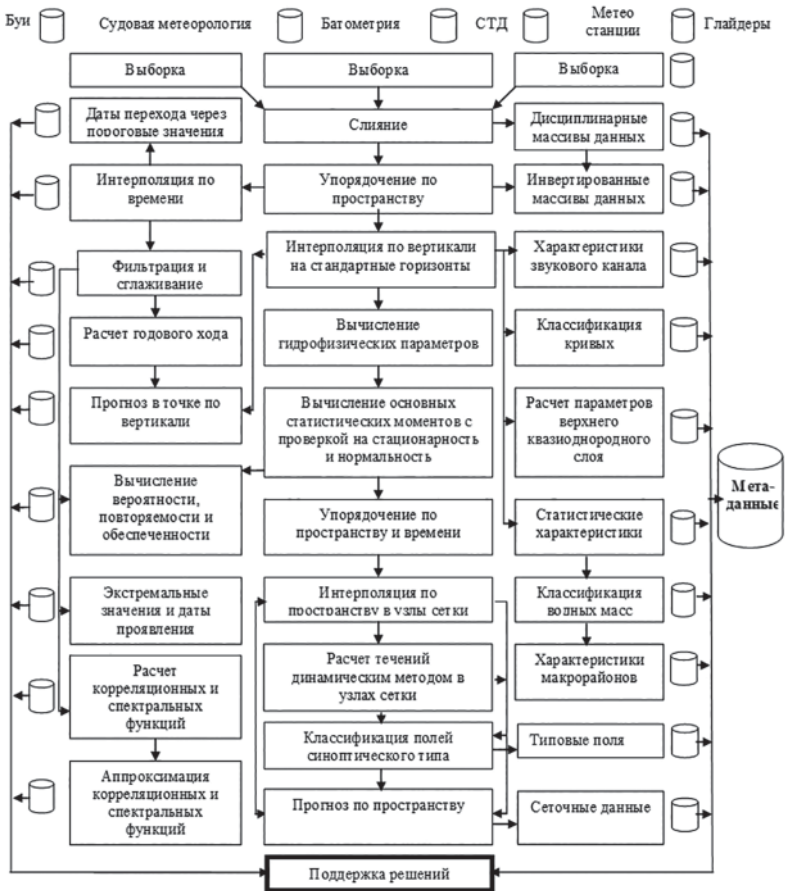


Рис. 1. Схема сквозной обработки данных от наблюдения до принятия решений [8, 9]

Для реализации такой обработки данных наиболее эффективным способом их организации является интеграция данных. Её можно произвести двумя путями. Первый, наиболее распространённый способ интеграции — это описание данных с помощью метаданных, регулярная доставка данных, преобразование структур, маппинг имён, кодов и загрузка в БИД. Он реализуется на основе собранных заранее метаданных на интегрируемые наборы и загрузке их в БИД.

Второй способ интеграции данных позволяет на основе созданных заранее API, веб-сервисов или REST-сервисов сформировать в режиме реального времени материализованные view-представления для включения данных в существующую схему обработки. Это обеспечивает своевременное подключение всех необходимых источников данных. Пользователи работают с виртуальными view-представлениями, которые извлекают необходимые данные из конкретных источников. Такой подход скрывает от пользователей местонахождение и формат данных. При этом данные не перемещаются в централизованное хранилище, а остаются там же, где были созданы или хранятся. Каждый поставщик данных отвечает за владение ими, их безопасность, полноту, качество и актуальность. Одновременно существует платформа, куда можно подкачать часть данных и начать работу с ними. Такая архитектура позволяет использовать любые источники данных. Интегрированные данные структурированы, хорошо описаны, понятны, удобны для использования. Они получены в результате прозрачных, известных трансформаций, благодаря чему можно проследить весь путь от источника данных до потребителя. Этот вариант интеграции данных пока не реализован, так как требует разработки под каждый информационный ресурс (IP) своего REST-сервиса.

2. Основные идеи и подходы по модернизации информационно-технологического узла ЕСИМО

2.1. Развитие прикладных сервисов для гидрометеорологического обеспечения морской деятельности

2.1.1. Состав прикладных сервисов

Развитие ГМОМД требует повышения уровня автоматизации, а, главное, перехода на персонализированное обслуживание вместо самообслуживания [10, 11].

Это связано с тем, что число выявляемых ситуаций может достигать десятков тысяч. Необходимо вести параллельную обработку каждого источника данных (СИНОП, БУЙ, КН-02, ШИП, др.) для выявления опасных явлений (ОЯ).

В рамках исследовательских работ по информационному обеспечению потребителей разработчиками ЕСИМО выделены следующие сервисы:

- идентификация опасных ситуаций для отдельных типов предприятий и видов деятельности на основе локальных пороговых значений показателей опасных явлений, представленных потребителем;
- доставка сведений об опасных явлениях со ссылками на информационную панель, метеомонитор и поддержку решений;
- прогноз воздействий окружающей среды на население и объекты экономики;
- вывод показателей опасности явлений в виде информационной панели;
- предоставление состояния гидрометеорологической обстановки по региону для более детального знакомства с ситуацией в виде мониторинга метеоусловий на основе интерактивной карты и возможностью получения наблюденных, прогностических и климатических данных в любой точке карты;
- поддержка решений лиц, принимающих решения (ЛПР) — выдача прогноза возможных воздействий опасных явлений и рекомендаций для принятия решений для конкретного объекта;
- оценка ущербов и расчёт стоимости превентивных мероприятий;

- оптимизация решений на основе модели «отношение стоимости превентивных мероприятий к ущербу $<1/3$ ».

Схема работы сервисов для идентификации, доставки, анализа обстановки, оценки ущерба, расчёта стоимости превентивных мероприятий, оптимизации и принятия решений дана на рис. 2.

ГМОМД должно применяться на всех этапах жизненного цикла любого объекта — от прогнозирования развития морской базы до консервации или утилизации объекта.

Для организации ГМОМД, включая подписку, необходимо иметь координаты точки или района, состав параметров; тип информации (наблюдения и/или прогноз, климат), тип объекта, вид деятельности, пороговые значения параметров, при которых необходима рассылка, адрес (электронной почты или номер мобильного телефона), на который необходимо передать данные.

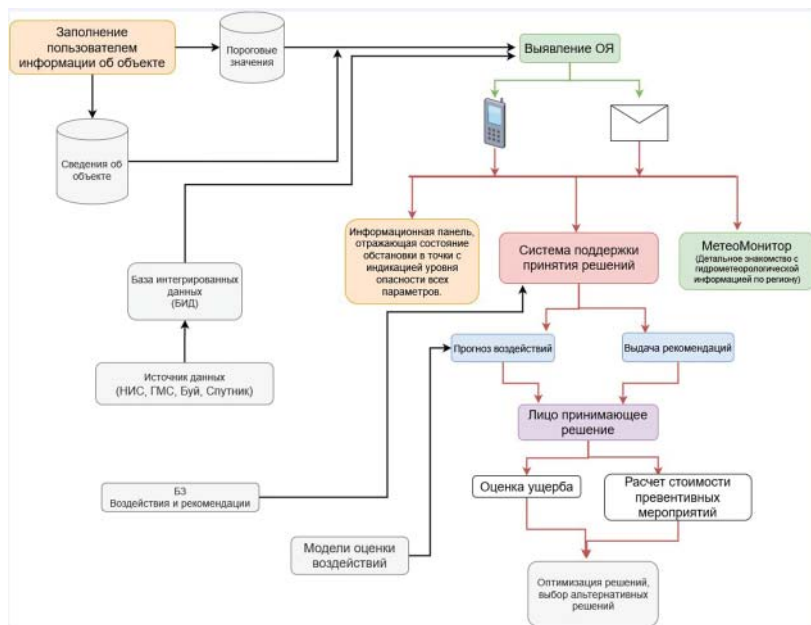


Рис. 2. Схема работы сервисов для идентификации, доставки, анализа обстановки, оценки ущерба, расчёта стоимости превентивных мероприятий, оптимизации и принятия решений

В качестве информации об объекте пользователем вводится название объекта, его тип деятельности (выбирается из списка зарегистрированных типов), координаты объекта. В случае, если объект представляется точкой с двумя координатами, они заполняются в поля минимальной широты и долготы соответственно. Если объект представляет собой георайон, то его координаты вписываются в соответствующие поля для ввода.

ЛПР может отключить ОЯ или включить его в подписку на автоматическое получение сведений о нём, если он считает, что это явление на его объект не оказывает никакого негативного явления.

Для принятия решений на объектах необходима информация о них, включая сведения о подразделениях организации, их ответственность, функции, состав; описания процессов принятия решений при воздействии окружающей среды; информация о видах деятельности и технологиях, на которые влияет окружающая среда; данные, необходимые для осуществления превентивных мероприятий — сведения о трудовых ресурсах, технологиях, оборудовании, организационной структуре; правила и процедуры, используемые при исполнении процессов принятия решений; навыки и приёмы, накопленные работниками организации и используемые ими при выполнении превентивных мероприятий; показатели, используемые для оценки и анализа эффективности и результативности принятия решений.

Для получения технической информации об объекте прикладная задача взаимодействует с внутренними информационными системами, работающими на объекте, для обмена данными и получения сведений об объектах и видах деятельности.

При описании объекта в окне ввода сведений об ОЯ, влияющих на объект, необходимо из предлагаемого списка параметров выбрать те параметры, для которых необходимо отслеживать превышение пороговых значений. Локальные пороговые значения по четырём уровням опасности записываются в БД «Пороговые значения» [12]. После выделения параметров система автоматически определит, в каких ИР имеются такие параметры, а администратор системы должен уточнить на основе метаданных ИР, насколько они удовлетворяют всем условиям (полнота,

актуальность, временное разрешение, район интересов и др.) и регистрирует ИР, на основе которых будет вестись обслуживание объектов. Далее эти ИР ставятся на регулярную обработку для выявления ОЯ по пороговым значениям, или, если этот ИР уже есть в обработке, то для него добавляются новые условия для выявления ОЯ для зарегистрированного объекта и/или вида деятельности.

Взаимодействие руководителя предприятия с системой состоит из нескольких этапов: на первом — система задаёт вопросы: обращение, наиболее удобный формат связи, тип объекта, уровень управления, вид деятельности, затем пользователь самостоятельно выбирает ОЯ, несколько показателей, после этого система задаёт уточняющие вопросы о воздействиях ОЯ на объект и виды деятельности, которые формируются на основе ранее собранной и классифицированной информации.

При задании показателей ОЯ могут использоваться различные типы показателей в виде локальных пороговых значений; агрегированных характеристик, повторяемости климатических значений; риска; относительного отклонения; тенденций; аномалий и др. [12, 13].

Состав сведений об объектах, которые подвергаются влиянию гидрометеорологических условий, представлен в [13].

2.1.2. Требования к интерфейсам сервисов

Расположение такой информации, как меню, дата, время, зона контроля, зона управления во всех формах, должно быть одинаковым — на одном и том же месте.

Поддержка решений и другие сервисы должны быть отличимы друг от друга по цвету.

При формировании экранов должны учитываться следующие требования:

- сокращение объёмов, одновременно отображаемых данных (до 7 последних значений);
- увеличение степени обобщения данных по мере перехода к экранам более высокого уровня;
- применение единого словаря параметров, единых классификаторов во всех приложениях и на всех этапах;

- использование всплывающих одного или нескольких окон для получения дополнительной информации. Каждое окно должно быть обозначено идентификатором, расположенным в верхней части окна. Пользователь должен иметь возможность раскладывать, настраивать или последовательно просматривать окна. Система должна хранить открытые окна и обеспечивать представление их из списка;
- пользователь должен совершать только одно действие для перехода на другой этап обработки;
- на всех этапах пользователю должна быть предоставлена помощь по работе с информацией;
- должны быть созданы функциональные клавиши для работы с информацией, они должны располагаться справа вверху экрана. Каждый экран должен быть идентифицирован.

2.1.3. Информационное обеспечение

Требуемые для ЛПР информационные ресурсы должны включать:

- сведения об ОЯ — дата, время, место проявления — гео-название, координаты, название, показатель явления, характеризующий явление, его значение, опасность, включая пороговые значения, для каких объектов и видов деятельности предназначен, идентификаторы сигналов;
- текущее состояние гидрометеорологической обстановки в месте расположения объекта на основе информации с метеостанции;
- прогностическое состояние гидрометеорологической обстановки в районе расположения объекта, полученное на основе соответствующих ИР;
- климатическое состояние в районе расположения объектов;
- пороговые значения показателей ОЯ;
- сведения об объекте и видах деятельности, выполняемых на объекте;
- сведения об имеющемся транспорте для эвакуации людей;
- сведения о транспорте для спасения имущества объекта.

Аналитическая (диагностическая) обработка текущих, прогностических и климатических данных с выявлением ситуаций (показателей ОЯ), опасных для различных объектов и видов деятельности с указанием времени, места, вида ОЯ, показателей явления.

ЛПР управляет ситуациями либо по событиям, связанным с ОЯ, возникающим в районе объекта, или по состоянию объекта, возникающему в результате воздействия явления. Необходимо выделить контроль событий и состояний; анализ потенциальных событий и состояний; анализ прогностических событий и состояний; анализ текущих событий и состояний; анализ событий и состояний после прохождения ОЯ; принятие решений.

Для каждой ситуации выделяются:

- контроль событий и состояний окружающей среды;
- анализ, расчёт потенциальных событий и состояний окружающей среды (расчёт риска), выдача сведений о потенциальных воздействиях, объяснение и принятие решений на основе выданных рекомендаций;
- анализ, диагностика прогностических событий и состояний окружающей среды, выдача сведений о возможных воздействиях, объяснение и принятие решений на основе выданных рекомендаций;
- анализ, диагностика текущих событий и состояний окружающей среды в момент ОЯ (расчёт затрат на превентивные мероприятия), выдача сведений о воздействиях, объяснение и принятие решений на основе выданных рекомендаций.

Необходима способность создавать сводки-отчёты о произошедших явлениях за неделю. Актуальный отчёт должен быть всегда готов в любой момент времени — достаточно запросить его в приложении. При этом отчёт формируется как на основе срочных наблюдений, так и непрерывных наблюдений по датчикам давления, температуры воздуха, скорости ветра и других параметров окружающей среды.

2.2. Общие положения по архитектуре аппаратно-программного комплекса

АПК Интегрированный информационно-технологический узел (ИИТУ) ЕСИМО состоит из набора различных категорий программного обеспечения (ПО): общего, инструментального и специализированного.

Общее программное обеспечение (ОПО) предназначено для осуществления взаимодействия программного комплекса с программами базового уровня и непосредственно с аппаратным обеспечением.

Инструментальное программное обеспечение по существу является частью ОПО и предназначено для автоматизации выполнения функциональных задач по работе с информацией, выполнения общих бизнес-процессов и использования специализированного ПО.

Специализированное программное обеспечение (СПО) предназначено для выполнения бизнес-логики процессов функционирования программного комплекса ЕСИМО и осуществления взаимодействия пользователей с программным комплексом. СПО будет состоять из программных приложений, разработанных в среде ОПО и использующих функции из набора платформ инструментального ОПО.

Совокупность ПО распределена по подсистемам согласно функциональному назначению подсистем и функциональной области ПО.

Подсистема сбора и интеграции данных ориентирована на проведение сбора и интеграции данных различных источников в виде целевых ИР для ГМОМД.

Подсистема информационного производства предназначена для содержательной обработки данных целевых ИР по принятым алгоритмам и получения новых данных и информации.

Подсистема информационного производства состоит из ряда основных компонент: БИД, ГИС-сервер, расчётно-модельный комплекс, компонент управления процессами информационного производства.

БД предназначена для формирования и ведения базы данных в виде универсального хранилища структурированных и слабо структурированных данных, обеспечивающих единообразное (универсальное) хранение, предобработку, доступ к данным и метаданным.

Подсистема информационного обслуживания ориентирована на взаимодействие пользователей и информационных сервисов посредством интерфейсной навигации, управления и отображения процессов.

Подсистема информационная безопасности использует различные средства информационной защиты.

Подсистема управления должна иметь средства, обеспечивающие работоспособность, включая организацию обратной связи с пользователями и ведение мониторинга работы.

3. Результаты работ по модернизации информационно-технологического узла ЕСИМО

Сервис подписки пользователей на доставку данных предназначен для идентификации пользователя и указания географии (координат точки или района), состава параметров; типа информации (наблюдения и/или прогноз, климат), типа объекта, видов деятельности на нём, зависящих от гидрометеорологических условий, локальных пороговых значений параметров, при которых необходима доставка данных, адрес (электронной почты, или номер мобильного телефона, или ftp-сервер), на который необходимо передать данные, а также сведения об объекте (число работающих, среднесуточная зарплата работников на предприятии, объём производимой продукции, стоимость единицы продукции и др.).

Сервис по выявлению уровня опасности (рис. 3) предназначен для идентификации ОЯ на основе автоматического выделения станций или района с ОЯ в потоке оперативных данных, поступающих по глобальной сети телесвязи (СИНОП, МОРЕ, КН-15, др.) и прогнозов Гидрометцентра России (COSMO). Выявление ОЯ предусматривает создание методов обнаружения на основе существующих локальных пороговых значений или других типов

показателей, характеризующих ОЯ, пространственно-временного анализа данных измерений, существующих средств оперативно-го комплексного мониторинга состояния окружающей среды и оперативного отображения гидрометеорологической, ледовой, экологической обстановок в виде данных наблюдений, анализов, прогнозов и климатических обобщений [13].

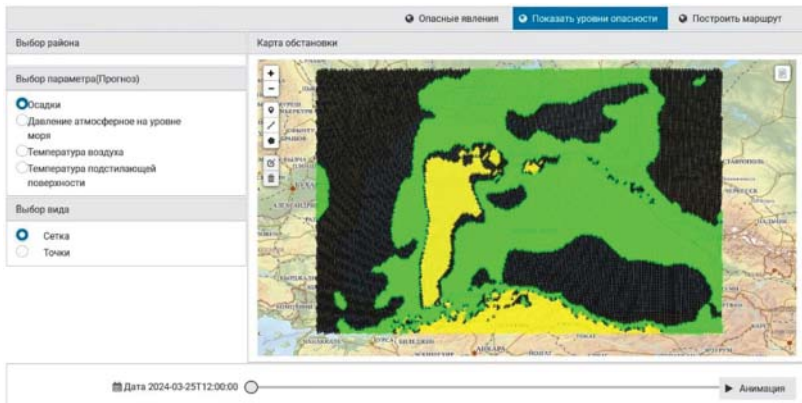


Рис. 3. Экранная форма сервиса по выявлению уровней опасности

Сервис доставки сведений об ОЯ потребителю отбирает из штормовых сообщений записи, относящиеся к районам (точкам), указанным в заявке пользователя, и передаёт сведения об ОЯ (название объекта, вида деятельности, название параметра, его значение, уровень опасности) пользователю на электронную почту, номер мобильного телефона, в личный кабинет.

Сервис информационной панели (рис. 4): на информационной панели в интерактивном режиме изменяются значения наблюдаемых и прогностических параметров, отмечаемые на иконках гидрометеорологических приборов, с указанием уровня их опасности.

Сервис для более детального знакомства с гидрометеорологической обстановкой (рис. 5) позволяет получить информацию в любой точке или по району наблюдаемые, прогностические и климатические данные с динамическим отражением уровня

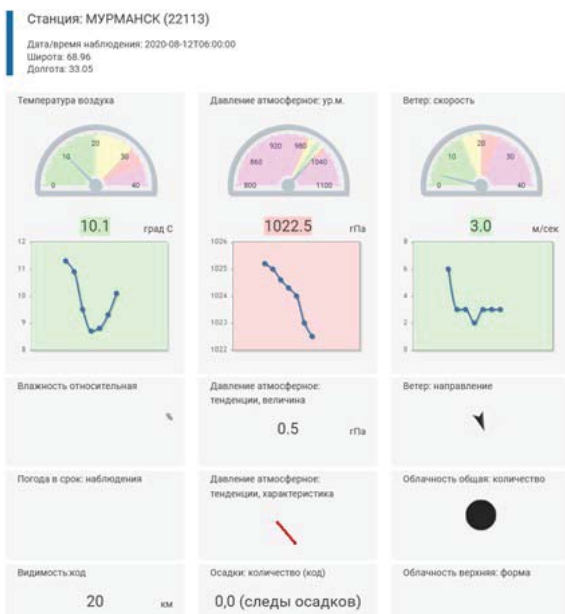


Рис. 4. Экранная форма сервиса информационной панели

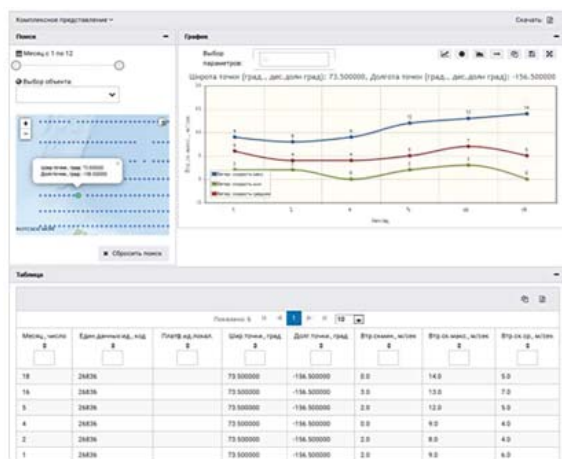


Рис. 5. Экранная форма сервиса детальной гидрометеорологической обстановки

опасности для каждого параметра, графики изменения наблюдаемых параметров во времени с продолжением их на основе пуристических данных в узлах сетки.

Сервис поддержки решений (рис. 6) предназначен для выдачи сведений о возможных воздействиях ОЯ на морские объекты, а также перечень рекомендаций для проведения превентивных мероприятий.

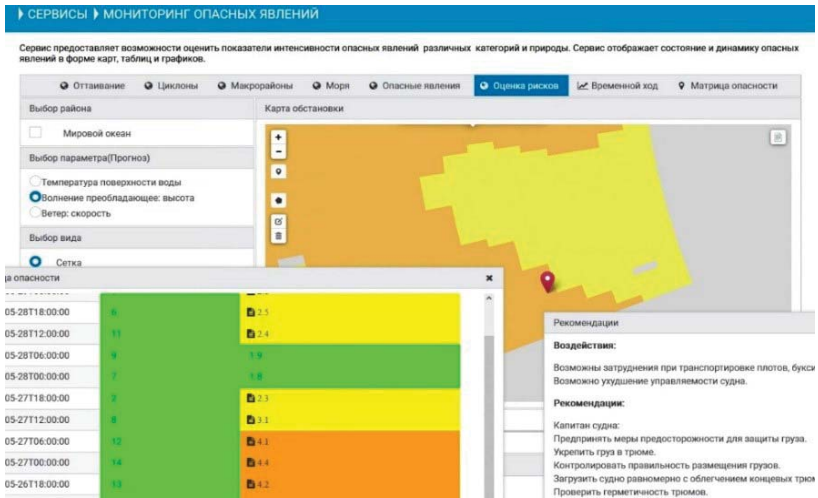


Рис. 6. Экранная форма сервиса поддержки решений с выдачей рекомендаций

Сервис по доставке информации в информационные системы пользователей, реализующий автоматическое доведение персонализированной гидрометеорологической информации, становится насущной необходимостью. Росгидромет должен организовать подготовку и доставку необходимой информации в соответствии с согласованным с потребителем регламентом гидрометеорологического обеспечения того или иного объекта или органа исполнительной власти.

Сервис анализа штормовой и циклонической активности отвечает за формирование ИП с показателями циклонической

активности. ИР с показателями циклонической и штормовой активности, представленные на портале ЕСИМО, можно разделить на три группы. В первую входят ИР со значениями показателей, представляющих пространственное смещение центров циклонов за последний календарный месяц во всём исследуемом регионе Северной Атлантики и Европы (30° с.ш.– 85° с.ш., 50° з.д.–70° в.д.), включая Европейскую территорию России. К ним относятся прежде всего траектории циклонов со значениями атмосферного давления, максимальной скорости ветра и интенсивности осадков в центрах циклонов. Ко второй группе относятся ИР с интегральными (суммарными за месяц) значениями показателей в узлах сетки для всего региона Северной Атлантики и Европы: плотность центров циклонов и индекс циклонической активности в узлах сетки за последний календарный месяц. Такие ИР дают возможность построить карты и получить представление о пространственном распределении характеристик за каждый отдельный календарный месяц, а также для каждого многолетнего месяца календарного года. В третью группу входят ИР с интегральными значениями показателей циклонической и штормовой активности, рассчитанные для отдельных выбранных районов и представляющие суммарное значение характеристики по выбранному району за единицу времени (месяц, сезон). Основные интегральные характеристики циклонической активности, рассчитываемые сервисом, — это плотность траекторий циклонов, плотность центров циклонов и индекс циклонической активности.

Выводы

В соответствии с концепцией ГМОМД на основе ЕСИМО [14] усовершенствован АПК типового сетевого ИИТУ ЕСИМО, отвечающий за управление, создание и обработку данных о состоянии Мирового океана и помогает решать прикладные задачи ЕСИМО. Обновлённый АПК установлен на стенде ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», налажено его взаимодействие с сетью узлов ЕСИМО. Разработаны тематические инструменты: программное обеспечение и документация по эксплуатации для создания информационных продуктов.

Впервые в мире создана экспериментальная база знаний, содержащая сведения о формализованных воздействиях. В ней 7219 записей, а также 7453 записи с рекомендациями для 157 опасных и экстремальных явлений, которые разделены на три уровня опасности. Впервые в России создана экспериментальная база данных локальных пороговых значений показателей ОЯ для конкретных предприятий и видов деятельности, в ней 428 записей. Впервые в Росгидромете для реализации прикладных сервисов применена контейнерная архитектура с микросервисной организацией программного обеспечения.

Для повышения эффективности производства информационной продукции реализована сквозная схема производства — от наблюдения до принятия решения, работающая без участия человека.

Модернизированный АПК ЕСИМО развёрнут на стенде в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. НИР «Совершенствование методов, средств и технологий функционирования Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (включая технологии обслуживания потребителей). Разработка средств и технологий Единой государственной системы информации в Мировом океане по гидрометеорологическому обеспечению морской деятельности. Тема НИТР 5.3 (промежуточный, этап 1). Рег. № НИТР АААА-А20-120062690050-3. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2020.

2. НИР «Совершенствование методов, средств и технологий функционирования Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (включая технологии обслуживания потребителей). Разработка средств и технологий Единой государственной системы информации в Мировом океане по гидрометеорологическому обеспечению морской деятельности. Тема НИТР 5.3 (промежуточный, этап 2). Рег. № НИТР АААА-А20-120062690050-3. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2021.

3. НИР «Совершенствование методов, средств и технологий функционирования Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (включая технологии обслуживания потребителей). Разработка средств и технологий Единой государственной системы информации в Мировом океане по гидрометеорологическому обеспечению морской деятельности. Тема НИТР 5.3 (промежуточный, этап 3). Рег. № НИТР АААА-А20-120062690050-3. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2022.

4. *Отчёт о научно-исследовательской работе «Совершенствование методов, средств и технологий функционирования Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (включая технологии обслуживания потребителей)».* Промежуточный. «Разработка средств и технологий Единой государственной системы информации в Мировом океане по гидрометеорологическому обеспечению морской деятельности в Северо-западном и Арктическом регионах, включая районы Северного морского пути». Шифр темы Плана НИОКР Росгидромета — 5.3. Соисполнитель — ФГБУ «АНИИ». СПб., 2022. 143 с.

5. *Отчёт о научно-исследовательской работе «Совершенствование методов, средств и технологий функционирования Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (включая технологии обслуживания потребителей)».* Промежуточный. «Разработка средств и технологий Единой государственной системы информации в Мировом океане по гидрометеорологическому обеспечению морской деятельности в Дальневосточном регионе, включая районы восточной части Северного морского пути». Шифр темы Плана НИОКР Росгидромета — 5.3. Соисполнитель — ФГБУ «ДВНИИГМИ». Владивосток, 2022. 52 с.

6. *Pecci L., Fichaut M., Schaap D.* 2020 — SeaDataNet, an enhanced ocean data infrastructure giving services to scientists and society. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 509, doi: 10.1088/1755-1315/509/1/012042.

7. *РД 52.27.881–2019* Руководство по гидрометеорологическому обеспечению морской деятельности. М.: ФГБУ «Гидрометцентр России», 2019. 132 с.

8. *Вязилов Е.Д.* Новая парадигма гидрометеорологического обеспечения потребителей // Применение ИИ и вычислений. 2021. V. 1363. Kohei Arai Editor. Труды Конференции «Применение информации, вычислений и коммуникаций». <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-73100-7>. С. 171–181 (дата обращения: 16 мая 2024).

9. *Вязилов Е.Д., Мельников Д.А., Михеев А.С.* О развитии конвейерной технологии для обработки гидрометеорологических данных // Труды XXIII Международной конференции по управлению и аналитике данных в областях их интенсивного использования (DAMDID/RCDL 2021). <https://ceur-ws.org/Vol-3036/paper08.pdf> (дата обращения: 16 мая 2024).

10. *Вязилов Е.Д., Мельников Д.А., Михеев А.С.* Стандартизация форм и средств для межмашинного взаимодействия при обмене гидрометеорологическими данными // Конференция ENVIROMIS, 2020. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 611 (2020) 012054 IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/611/1/012054. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/611/1/012054/pdf>. С. 1–8 (дата обращения: 16 мая 2024).

11. *Вязилов Е.Д., Мельников Д.А., Михеев А.С.* Новые подходы по доставке данных и информационной продукции потребителям и внешним информационным системам в области гидрометеорологии // Труды XXII Международной конференции «Управление и аналитика данных в области интенсивного использования данных (DAMDID/RCDL 2020)». Воронеж, Россия, 13–16 октября 2020, <http://ceur-ws.org/Vol-2790/paper17.pdf>. С. 182–194 (дата обращения: 16 мая 2024).

12. *Вязилов Е.Д.* Цифровая трансформация гидрометеорологического обеспечения. Том 1: Подходы по реализации. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2021. 356 с.

13. *Вязилов Е.Д.* Цифровая трансформация гидрометеорологического обеспечения. Том 2: Направления использования. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2022. 355 с.

14. *Михайлов Н.Н., Белов С.В., Вязилов Е.Д., Лобачёв П.С., Кузнецов А.А., Баталкина С.А., Белова К.В., Вязилова Н.А., Ибрагимова В.И., Козловцев А.В., Мельников Д.А., Пузова Н.В., Нефёдова Г.И.* Концепция гидрометеорологического обеспечения морской деятельности на основе ЕСИМО в контексте цифровой трансформации Росгидромета // Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2021. Вып. 189. С. 5–34.

УДК 551.465

МОДЕРНИЗАЦИЯ ВОЕННОЙ ПОДСИСТЕМЫ ЕСИМО ДЛЯ ПОЛНОМАСШТАБНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВМФ РОССИИ

**К.В. Белова^{1*}, Н.Н. Михайлов^{2*}, А.А. Воронцов^{2*},
Е.Д. Вязилов^{3*}, С.В. Белов^{4*}, Н.В. Пузова^{5*},
Д.А. Мельников^{6*}, С.А. Баталкина^{7*}, Н.В. Мухалёва^{8*},
Г.И. Нефёдова^{9*}, А.А. Антонов^{10**},
В.Ю. Бахмутов^{11***}, А.А. Фёдоров^{12****}**

** ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
** УНУО МО РФ, *** АО «ГНИИНГИ», **** 373 центр ВМФ;
1* christy@meteo.ru, 2* av10921@meteo.ru, 3* vjaz@meteo.ru,
4* belov@meteo.ru, 5* cbmd@meteo.ru, 6* melnikov@meteo.ru,
7* slim@meteo.ru, 8* nmukhaleva@meteo.ru, 9* gin@meteo.ru,
10 a.antonoff.a@mail.ru), 11*** roc@gningi.ru,
12**** aafedorov2009@yandex.ru*

Введение

Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) предназначена для комплексного информационного обеспечения морской деятельности в Российской Федерации на основе интеграции ресурсов информационных систем федеральных органов исполнительной власти Российской Федерации и иных систем в области изучения, освоения и использования Мирового океана и прибрежных территорий. Область применения ЕСИМО включает реализацию государственной политики по управлению информационными ресурсами по Мировому океану и прибрежным территориям; по информационному обеспечению морской деятельности на федеральном, региональном и ведомственном уровнях полидисциплинарными интегрированными данными; взаимодействие ведомств-участников ЕСИМО с другими национальными и международными системами. Наряду с общим (гражданским) сегментом ЕСИМО [1] был создан и в 2015 году введён в постоянную эксплуатацию военный контур ЕСИМО

(далее — военная подсистема ЕСИМО). Военная подсистема ЕСИМО предназначена для сбора и интеграции информации об обстановке в Мировом океане, поступающей как из гражданского сегмента ЕСИМО, так и ведомственных источников данных Министерства обороны Российской Федерации (далее — МО РФ), обмена информацией с общим (открытым) контуром и другими смежными системами МО РФ, осуществление комплексного информационного обеспечения деятельности военно-морского флота [2].

Основные комплексы автоматизированных систем гидрометеорологического обеспечения ВМФ (ГМО ВМФ) представляют собой средства обеспечения приёмопередачи файлов данных или ориентированы на применение данных из АСПД Росгидромета. Вместе с тем в последнее время отмечаются расширение источников данных, доступных через ЕСИМО и другие смежные ИС, включая данные оперативной океанологии. При этом гидрометеорологическая информация отличается разнородностью и многообразием форматов, и отсутствие интегрирующей компоненты в ГМО ВМФ не позволит эффективно и в полной мере использовать текущие информационные возможности для гидрометеорологического обеспечения флотов. Основная часть информационной продукции, используемой в ГМО ВФ, подготовлена учреждениями Росгидромета, зарубежными и международными организациями как информация для широкого круга потребителей. С другой стороны, очевидно, что к информации ГМО ВМФ предъявляются специфические требования, вызванные особенностями зависимости военно-морских объектов, систем управления и вооружений, операций ВМФ от гидрометеорологических условий (ГМУ). В связи с этим требуется обеспечить внесение специализированных данных в применяемую информацию и её обогащение специально для гидрометеорологического обеспечения военно-морской деятельности. Это ставит вопрос о подготовке целевых информационных ресурсов военной подсистемы ЕСИМО (ВП ЕСИМО) для применения в области ГМО ВМФ. Для получения полной и «прозрачной» картины гидрометеорологической обстановки необходима высокая степень формализации и автоматизации процессов сбора и обработки данных, предоставления и распространения

информации об обстановке в Мировом океане. Это тесно связано с необходимостью обновления общего (инструментального) и специализированного программного обеспечения ВП ЕСИМО. Необходимо существенно усилить потенциал средств получения специализированной продукции по заказу и доведения персонализированных данных до абонентов ГМО ВМФ, что повысит эффективность принятия решений за счёт получения более качественного доступа командиров и персонала военно-морских объектов к гидрометеорологической информации (ГМИ) и более оперативной реакции на них. Следует отметить, что аппаратно-программный комплекс ВП ЕСИМО был сформирован в 2013 году и также требует модернизации.

1. Модернизация ВП ЕСИМО

Модернизированная ВП ЕСИМО рассматривается как программно-техническая среда (цифровая платформа) гидрометеорологического обеспечения ВМФ, которая реализует сквозной интегрированный процесс сбора и накопления, обработки и анализа, предоставления и распространения данных наблюдений и продукции в формате прикладных задач цифрового ГМО ВМФ. В настоящее время многообразие структур данных, поступающих от систем наблюдений и источников данных и применяемых для ГМО ВМФ, затрудняет или, более того, не позволяет организовать применение объединённой информации по схеме единого информационного пространства. Для перехода к сетевцентрически ориентированному гидрометеорологическому обеспечению необходимо разработать технологии и средства, организовать:

- формирование и применение единого информационного пространства в сфере ГМО ВМФ;
- автоматизированное формирование производной ГМИ: оценка возможных воздействий на военно-морские объекты и операции; предоставление рекомендаций для принятия решений в связи с необходимостью смягчения ГМУ;
- доведение необходимых и персонализированных данных и сервисов до систем управления войсками в соответствии с их требованиями;

- оптимизация состава и достижение проактивности ГМИ при принятии решений за счёт прогнозов и рекомендаций возможных воздействий окружающей среды на объекты.

Модернизированная ВП ЕСИМО за счёт более полного применения унифицированных форматов, новых видов продукции и цифровых сервисов в перспективе позволит обеспечивать более эффективное решение следующих функциональных задач ГМО: обеспечения морских операций, морских аварийно-спасательных операций, портовой деятельности; испытаний кораблей и других плавсредств; операций подводного флота [3].

Модернизация ВП ЕСИМО реализуется в рамках закрытых НИР и ОКР Министерства обороны РФ, модернизация открытого контура ЕСИМО осуществляется в рамках проектов Плана научно-исследовательских и технологических работ (НИТР) Росгидромета. Последующее применение модернизированной ВП ЕСИМО ориентировано на несколько секторов потребителей (абонентов), выделяемых по их роли и различиям в потребностях: федеральный, региональный и объектовый (локальный) секторы. На федеральном уровне (Генштаб, управление навигации и океанографии МО РФ, научно-исследовательские учреждения — разработчики) информационное обслуживание ориентировано на поддержку выполнения задач макромасштабного планирования военно-морской деятельности, проектирования и реализации объектов и операций ВМФ. На региональном уровне (гидрометеорологические службы и подразделения флотов, системы управления) информационное обслуживание направлено на решение логистических задач, контроля операций, процессов спасения на море, предотвращения и снижения опасности чрезвычайных ситуаций на море. На объектовом (корабли, военные базы и другие объекты ВМФ) уровне ГМО предоставляет информационную основу проведения транспортных и других операций, контроля и принятия решений на местах.

Модернизации подлежат средства открытого и закрытого контуров ВП ЕСИМО посредством создания и внедрения типового (эталонного) аппаратно-программного комплекса (далее — АПК) узла военной подсистемы нового поколения (кодовое название — СИТУ-М). Сеть взаимодействующих СИТУ-М будет представлять

собой цифровую платформу, обеспечивающую интегрированное ГМО ВМФ [2].

Модернизация ВП ЕСИМО обеспечит:

- усовершенствование средств и технологий информационно-технического взаимодействия изделия с гражданским контуром ЕСИМО, ведомственными сетями наблюдений и системами обработки данных, смежными информационными системами, интеграции данных по тематике ГМО ВМФ в единое информационное пространство [9];

- разработку средств и технологий производства информационной продукции с целью подготовки целевой информации для ГМО ВМФ;

- развитие средств и технологий информационного обслуживания абонентов ГМО ВМФ в сети Интернет и сети Минобороны России;

- предоставление элементов цифровой платформы гидрометеорологического информационного обеспечения военно-морской деятельности в качестве инфраструктуры ГМО ВМФ;

- формирование цифровой среды обучения и развития компетенции специалистов и командного состава по применению средств и технологий, данных и сервисов военной подсистемы.

В результате модернизации ВП ЕСИМО ожидается качественно новый уровень информационного сопровождения объектов и операций ВМФ.

В функциональном направлении планируется реализация комплексов функций:

- сбор данных, формирование и ведение единого информационного пространства в области ГМО ВМФ на основе данных ЕСИМО и автоматизированных систем ГМО ВМФ;

- информационное производство, гармонизация и обогащение данных, включая улучшение потребительских свойств прогностической и климатической продукции в контексте оценки воздействий ГМУ на объекты и операции ВМФ;

- информационное обслуживание в режиме «одного окна» посредством выполнения прикладных задач ГМО ВМФ, персонализированное по группам обслуживание абонентов федерального, регионального и объектового секторов с применением

порталов и личных кабинетов, по электронной почте, протоколу FTP, программным путём (API, веб-сервисов и геосервисов);

- доведение информации до потребителей и используемых ими систем, предоставление информации по схеме межмашинного взаимодействия;
- обеспечение информационной безопасности в соответствии с требованиями ФСТЭК России и Минобороны России [6];
- мониторинг актуальности и доступности данных и услуг на всех этапах их жизненного цикла и устранение неполадок.

В техническом направлении предусматривается:

- цифровизация и интеграция цифровых объектов морского гидрометеорологического обеспечения, применение элементов цифровых двойников океана для реализации прикладных задач ГМО ВМФ;

- применение современных цифровых технологий (облачные вычисления, большие данные и др.); использование программных продуктов российского производства, сертифицированных установленным порядком;

- внедрение средств защиты информации ВП ЕСИМО согласно требованиям ФСТЭК и Минобороны России [5].

В информационном направлении будет обеспечено:

- организация распределённых хранилищ данных наблюдений и продукции ГМО ВМФ на сети узлов военной подсистемы в качестве единого информационного пространства в рассматриваемой области;

- совместное применение данных и сервисов нескольких центров ЕСИМО и (или) смежных систем, или всех имеющихся данных ЕСИМО в области гидрометеорологии и окружающей среды, другой обстановки в Мировом океане, без дополнительных затрат на разработки средств взаимодействия [4];

- унифицированность информации на основе отечественных и международных стандартов в области управления данными;

- релевантность информации потребностям пользователей, её представление в готовом для прямого применения виде, документирование информации.

В организационном направлении операторами открытого контура военной подсистемы будут Центр ЕСИМО Минобороны РФ (373 Центр ВМФ), центры ЕСИМО Росгидромета и других ведомств-участников единой системы ЕСИМО. Операторами закрытого контура военной подсистемы будут подразделения ВМФ в контексте сопровождения ВП ЕСИМО: 373 Центр ВМФ и гидрометцентры флотов ВМФ [7].

2. Апробация решений по модернизации ВП ЕСИМО

Для апробации проектно-технологических решений по модернизации ВП был создан экспериментальный образец (ЭО), который предназначен для исследования характеристик изделия, оценки правильности и эффективности требований и решений по модернизации военной подсистемы, а также для замены действующего и исчерпавшего свой ресурс СИТУ ВП ЕСИМО.

На основании ЭО были определены минимально достаточная конфигурация технических средств и состава персонала, обеспечивающих функционирование модернизируемой ВП ЕСИМО.

Следует особо отметить, что ЭО не обрабатывает информацию, содержащую сведения, составляющие государственную тайну.

Составными частями аппаратно-программного комплекса (АПК) модернизированного СИТУ-М военной подсистемы являются телекоммуникационное оборудование и ПО, вычислительное оборудование, операционные системы и программные системы виртуализации и контейнеризации, инструментальное программное обеспечение, специализированное программное обеспечение.

Модернизированная ВП ЕСИМО рассматривается в качестве цифровой платформы ГМО ВМФ и реализуется как «система систем» или многокомпонентная цифровая экосистема, построенная на интеграции данных в единое информационное пространство и совместимости данных и сервисов, производстве новой продукции [10]. Основные архитектурные решения:

- целевая информация ГМО ВМФ подготавливается и предоставляется в ВП ЕСИМО центрами (поставщиками информации)

единой системы согласно их обязательств, а также готовится по регламенту или заказу с применением средств военной подсистемы;

- экземпляр СИТУ-М (конфигурация — «Оператор ВП открытого контура военной подсистемы») размещается в сети Интернет на площадке центра ЕСИМО Минобороны России и ведёт информационно-техническое взаимодействие с общим контуром ЕСИМО и смежными системами, информационное производство и обслуживание абонентов ГМО ВМФ по открытым сетям;

- экземпляр СИТУ-М (конфигурация — «Оператор ВП закрытого контура военной подсистемы») размещается также на площадке Центра ЕСИМО Минобороны России в среде СПД МО РФ и взаимодействует с сетью региональных узлов военной подсистемы в ГМЦ флотов и абонентами ГМО ВМФ;

- информационно-техническое взаимодействие между контурами ВП будет осуществляться посредством соединения экземпляров СИТУ-М с применением одностороннего телекоммуникационного шлюза на основе средств межсетевое экранирования и специальных решений по информационной безопасности;

- экземпляры СИТУ-М (конфигурация «Оператор ГМО») в составе присоединённой сети узлов в ГМЦ флотов закрытого контура военной подсистемы будут иметь минимальную конфигурацию с удалённым использованием (наподобие виртуальных узлов облачной среды) или внедрением АПК СИТУ-М соответствующей конфигурации на платформе ГМЦ флотов при необходимости;

- СИТУ-М ГМЦ флотов будут доступны информационные ресурсы ВП ЕСИМО регионально-объектового содержания, узлы будут обеспечивать взаимодействие и передачу данных в действующие или аналогичные программные комплексы АС ГМО ВМФ, такие как ГИС-Метео и АРМ-ВГМ-М, и получение данных от комплексов для применения в прикладных задачах ГМО ВМФ по необходимости;

- абоненты АС ГМО ВМФ будут иметь возможность персонализированного информационного обеспечения своей деятельности по тематике прикладных задач ГМО ВМФ с применением порталов (АРМов пользователей) экземпляров СИТУ-М

на центральном и региональных уровнях, приложений СИТУ-М (конфигурация «Абонент ГМО стационарный и мобильный») [2].

ЭО СИТУ ВП представляет собой комплекс в составе:

- вычислительного и телекоммуникационного оборудования, общего программного обеспечения;
- СПО макетов компонентов сбора, загрузки и ведения информационных ресурсов, информационного производства, информационного обслуживания, информационной безопасности, управления работой.

Процессы сбора и интеграции, обработки и анализа, предоставления и распространения данных об обстановке в Мировом океане выполняются подсистемами ВП ЕСИМО, сгруппированными по функциям средств общего и специализированного программного обеспечения процессов (рис. 1):

- подсистема сбора и интеграции данных ведёт процессы сбора и унификации данных источников с сохранением входных

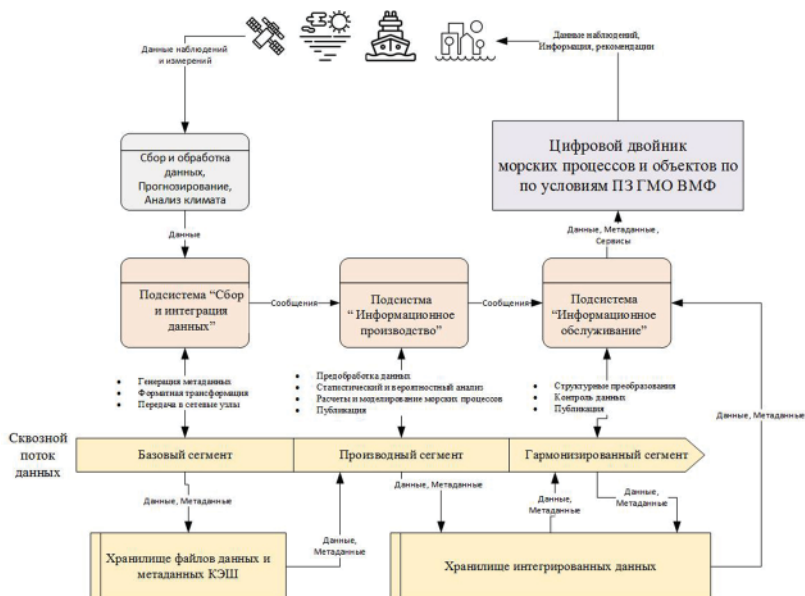


Рис. 1. Общая схема управления и конвейерной обработки данных средствами СИТУ-М модернизированной ВП ЕСИМО

файлов данных и данных в виде целевых информационных ресурсов ГМО ВМФ (базовый сегмент потока) в хранилищах. Применяется информационно-коммуникационная платформа;

- подсистема информационного производства обрабатывает базовые данные по алгоритмам гармонизации и обогащения данных, получает новые данные (производный сегмент потока), ведёт хранилище интегрированных данных. Для получения производных данных применяется информационно-расчётная платформа;

- подсистема информационного обслуживания будет играть роль маркетплейса потребителей и поставщиков данных и сервисов. Интерфейсная (front-end, навигация, управление и отображения процессов) составляющая и бизнес-процессы (back-end, база знаний) виртуального представления цифрового двойника выполняются средствами прикладных сервисов соответствующих прикладных задач ГМО ВМФ (гармонизированный сегмент потока). Для процессов обслуживания применяется информационно-визуализационная платформа [2];

- подсистема информационной безопасности узла ВП ЕСИМО включает средства: 1 — защиты от несанкционированного доступа к информации; обеспечение безопасного межсетевое взаимодействия, антивирусная защита, обнаружение вторжений; 2 — контроля защищённости информации, доступности информации, криптографической защиты информации. Для организации процессов подсистемы применяется информационно-коммуникационная платформа [5, 8].

- подсистема управления системой содержит средства, выполняющие техническое сопровождение комплекса и обеспечение его работоспособности, обратную связь с потребителями информации (услуг) ГМО ВМФ, ведение отчётности о состоянии и производительности ВП ЕСИМО.

В настоящий момент разработанный ЭО СИТУ-М установлен в новейшей технической инфраструктуре 373 Центра ВМФ в составе двух серверов под управлением российских программных продуктов — гипервизора zVirt и операционной системы Astra Linux Special Edition. СИТУ-М представляет собой восемь виртуальных машин с возможностью построения кластера высокой готовности.

В августе-сентябре 2023 года проведены авторские испытания и организованы обучающие курсы для специалистов Центра. Специалистами 373 Центра ВМФ ведётся работа по освоению новых функциональных возможностей, разработчикам направляются замечания и пожелания по улучшению эргономики и функционала программных средств. Все реализованные компоненты СИТУ-М имеют графический интерфейс, доступный с помощью веб-браузера.

В качестве развития ЭО СИТУ-М информационно-техническое взаимодействие компонент будет основано на событийной интеграции с использованием технологий BigData («больших данных») в виде интеграционной шины на базе брокера сообщений, поддерживающей потоковую обработку событий в режиме реального времени (рис. 2).

Компоненты внутри узла будут взаимодействовать между собой через интеграционную шину по принципу «Издатель»/«Подписчик», когда «Издатель» отправляет сообщения в тематический топик, а «Подписчик» его считывает. Веб-сервис шины представляет собой универсальный API в протоколах SOAP и REST для подключения компонентов к интеграционной шине.

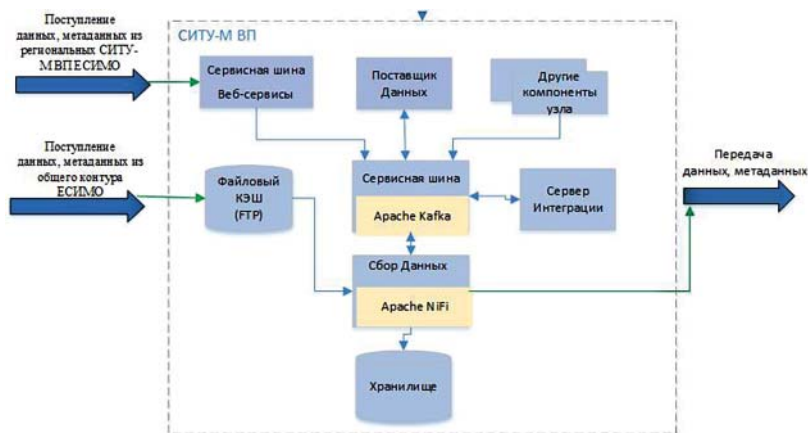


Рис. 2. Взаимодействие компонентов с использованием брокера сообщений

В качестве брокера сообщений будет использован открытый программный продукт Apache Kafka.

Для создания конвейеров обработки и распространения данных внутри узла в режиме реального времени предполагается использование инструментального программного обеспечения Apache Nifi. Этот программный продукт позволит реализовать:

- организацию потоков данных внутри узла (скачивание по ссылке, маршрутизация внутри узла);
- преобразование данных: обогащение и фильтрация по правилам, трансформация протоколов (нормализация) и форматов;
- распространение данных на другие узлы ЕСИМО, взаимодействующие с военной подсистемой.

Заключение

В рамках первого этапа модернизации ВП ЕСИМО были решены следующие задачи:

- исследование путей построения и эксплуатации информационных систем ГМО морской деятельности, используемых в России и в зарубежных странах;
- разработка требований, предложений и решений в части:
 - формирования единого информационного пространства ВП ЕСИМО, включая взаимодействие с гражданским контуром единой системы и ведомственными системами, смежными системами Минобороны;
 - создания механизмов функционирования ВП ЕСИМО на основе облачной технологии и перехода к цифровым процессам ГМО ВМФ;
 - обеспечения производства целевой информационной продукции средствами военной подсистемы для ГМО ВМФ;
 - создания цифровой платформы ГМО ВМФ на основе действующих и перспективных средств ЕСИМО и современных информационных технологий;
 - развития сервисов предоставления персонализированных продуктов ГМО ВМФ в режиме «одного окна»;

- разработка модели совместной обработки разнородных гидрометеорологических данных и порядка информационного взаимодействия ВМФ с ЕСИМО, а также государственными ведомственными центрами данных по морской природной среде.

В результате первого этапа модернизации было разработано специальное программное обеспечение и техническая документация на экспериментальный образец модернизированного СИТУ ВП ЕСИМО для обеспечения полного использования существующего функционала после перехода ЕСИМО на облачную платформу, предоставляющего абонентам ВП ЕСИМО доступ к информационным ресурсам ЕСИМО, способного в автоматизированном режиме взаимодействовать с цифровой платформой информационного обеспечения морской деятельности Российской Федерации (общего контура ЕСИМО с соблюдением принятых в МО требований по информационной безопасности).

Модернизированная ВП ЕСИМО в перспективе будет обеспечивать:

- своевременное получение актуальной и достоверной информации об обстановке в Мировом океане из гражданского контура ЕСИМО;

- предоставление информации в смежные информационные системы Минобороны России, представляющие абонентов ВП ЕСИМО, согласно регламентам, по расписанию или событию поступления данных, а также по запросу со стороны смежных систем;

- включение информации смежных систем Минобороны России в информационные ресурсы военной подсистемы посредством взаимосвязи их источников данных с узлами военной подсистемы;

- сквозной мониторинг получения, обработки и предоставления информации в ВП ЕСИМО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов Н.Н., Вязилов Е.Д., Воронцов А.А. Белов С.В. Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане и её применение для информационной поддержки морской деятельности Российской Федерации // Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2014. Вып. 177. С. 95–118.

2. *Отчёт* о научно-исследовательской работе «Исследования по совершенствованию средств и технологий военной подсистемы Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане». Промежуточный. «Анализ современного состояния военной подсистемы Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане и предложения по её совершенствованию» / Соисполнитель — ФГБУ «ААНИИ». СПб., 2022. 215 с.

3. Воронцов А.А., Михайлов Н.Н., Вязилов Е.Д., Иванов В.А., Халиулин А.Х., Годин Е.А., Еремеев В.Н., Токарев Ю.Н. Состояние и перспективы развития ЕСИМО с учётом формирования Черноморского регионального узла. «Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа». Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2014. Вып. 28. С. 387–402.

4. *Положение* об информационных ресурсах о состоянии окружающей среды, её загрязнении Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. РД 52.19.698–2008. Утв. Росгидрометом 7 июня 2008 года. Дата введения — 1 июля 2008 года. 32 с.

5. *Постановление* Правительства РФ от 25.04.2012 № 394 «О мерах по совершенствованию использования информационно-коммуникационных технологий в деятельности государственных органов».

6. *Приказ* Минкомсвязи от 25.08.2009 № 104 «Об утверждении Требований по обеспечению целостности, устойчивости функционирования и безопасности информационных систем общего пользования».

7. *Об основных направлениях совершенствования системы государственного управления*. Указ Президента РФ от 07.05.2012 № 601.

8. *Об информации, информационных технологиях и о защите информации*. Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ (ред. от 28.07.2012). Собрание законодательства РФ, № 31 (1 ч.). 31.07.2006. ст. 3448.

9. *Реестр* федеральных государственных информационных систем. Последнее изменение: 28.06.2014 [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rkn.gov.ru/it/register/#>, свободный. (дата обращения: 16 мая 2024).

10. Белов С.В., Баталкина С.А., Белова К.В., Нефёдова Г.И., Мухалева Н.В., Вязилов Е.Д., Мельников Д.А., Пузова Н.В. Интегрированный информационно-технологический узел (ИИТУ) ЕСИМО. Версия 1 [электронный ресурс]. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024611578 от 23.01.2024 года.

УДК 551.506.7

О СОДЕРЖАНИИ И ПОЛНОТЕ НОВОГО АРХИВА АЭРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ АЭРОБАФР

Т.В. Руденкова¹, А.А. Тимофеев²

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,*

¹ lae@meteo.ru, ² arseni@developitbest.com

Введение

В ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» ведутся работы по архивации текущих аэрологических данных по станциям мира, поступающих по Глобальной сети телесвязи (ГСТ) в виде сообщений в таблично-ориентированных кодовых формах (BUFR) [1]. Архивация данных BUFR проводится по новой технологии усвоения и архивации данных, разработанной в лаборатории комплексной автоматизации (ЛКА) [2, 3]. Создаётся новый массив аэрологических данных в формате АЭРОБАФР [4]. Формат массива АЭРОБАФР разработан в отделе аэрологии (ОА). Отличительной особенностью этих данных являются включённые в коды метаданные о приборах, место и время выпуска прибора, а также сведения о смещении по времени и координатах точки измерения от точки выпуска прибора на каждом уровне, где выполняются измерения. В массиве хранятся данные с 2018 года по настоящее время. Массив ежемесячно пополняется новой порцией данных

В 2022 году технология архивации была передана в опытную эксплуатацию в Центр гидрометеорологических данных (ЦГМД) для получения массивов аэрологических данных в формате АЭРОБАФР. В ОА регулярно выполнялась проверка архивных файлов АЭРОБАФР на соответствие формату архива, на полноту и качество данных по станциям. Проводился анализ справочных материалов и собственно данных по файлам аэрологического массива АЭРОБАФР. Выявленные замечания передавались разработчику технологии архивации в ЛКА для внесения изменений в технологию. К настоящему времени в состав массива входят

данные примерно по 650 аэрологическим станциям мира. Количественные характеристики данных очень разнородны — от измерений только на изобарических поверхностях до данных высокого вертикального разрешения, включающих несколько тысяч уровней.

В данной работе частично описаны результаты анализа полноты и содержания архивных файлов массива АЭРОБАФР (на примере данных файлов за декабрь 2021 г. и декабрь 2022 г.). Приведены перечень отсутствующих станций в массиве, перечень станций, имеющих мало наблюдений и перечень станций, в данных которых обнаружены ошибки. Описан тип ошибок в данных массива.

Работа выполнена в ОА по разделу проекта 2.6 (Внутренняя тема ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» 17.22): Мониторинг и анализ поступлений аэрологической информации в глобальные массивы аэрологических данных Единого государственного фонда данных, создаваемых в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД».

Полнота массива АЭРОБАФР по станциям

С помощью программных средств, разработанных в ОА, проводился анализ полноты поступлений данных по станциям для аэрологического массива АЭРОБАФР. В данной работе представлены результаты анализа полноты массива за период наблюдений декабрь 2021 г. и декабрь 2022 года. Сравнение по полноте массива АЭРОБАФР по станциям проведено по базовому аэрологическому массиву АЭРОСТАС [5, 6]. Массив АЭРОБАФР за декабрь 2021 г. содержит данные по 653 станциям, массив АЭРОСТАС за декабрь 2021 г. содержит данные по 703 станциям. Массив АЭРОБАФР за декабрь 2022 г. содержит данные по 571 станции, массив АЭРОСТАС за декабрь 2022 г. содержит данные по 835 станциям.

В массиве АЭРОБАФР имеются станции, где проведено малое количество наблюдений. Для примера в табл. 1 приведены данные наблюдений по станциям в массивах АЭРОБАФР и АЭРОСТАС за декабрь 2021 года и декабрь 2022 года.

В массиве АЭРОБАФР выявлены станции с отсутствующими данными (по сравнению с базовым массивом АЭРОСТАС). Особо надо отметить, что в массиве АЭРОБАФР отсутствуют данные

по станциям Росгидромета: 33966 (Белогорск, Крым), 25042 (о. Айон). При этом данные по этим станциям поступают в массив АЭРОСТАС. Данные в кодовой форме BUFR по этим двум станциям получает ФГБУ «Центральная аэрологическая обсерватория» (ЦАО) через ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета».

Таблица 1

Данные по станциям, имеющим малое количество наблюдений в массивах АЭРОБАФР и АЭРОСТАС за декабрь 2021 г. и декабрь 2022 г.

Станции	Количество наблюдений			
	Декабрь 2021 г.		Декабрь 2022 г.	
	АЭРОБАФР	АЭРОСТАС	АЭРОБАФР	АЭРОСТАС
94653	4 набл. (р/п) за 6, 13, 20, 27 за 23 00 ч	4 набл. (р/п) за 6, 13, 20, 27 за 23 00 ч	4 набл.: за 6 за 00 ч — р/з, за 12, 19, 26 за 23 00 ч — р/п	4 набл.: за 6 за 00 ч — р/з, за 12, 19, 26 за 23 00 ч — р/п
94750	1 набл. (р/з) за 6 за 23 00 ч	1 набл. (р/з) за 6 за 23 00 ч	2 набл. (р/з) за 5, 19 за 22 00 ч	2 набл. (р/з) за 5, 19 за 22 00 ч
94767	2 набл. (1 р/з, 1 р/п) 22 за 23 00 ч — р/з, 11 за 18 00 ч — р/п	3 набл. (1 р/з, 2 р/п) 22 за 23 00 ч — р/з, 22 за 23 00 ч — р/п, 11 за 18 00 ч — р/п	4 набл. (р/п) за 5 за 5 00 ч, 16 за 18 00 ч, 23 за 4 00 ч, 29 за 18 00 ч	4 набл. (р/п) за 5 за 5 00 ч, 16 за 18 00 ч, 23 за 4 00 ч, 29 за 18 00 ч

По региону Европы в массиве АЭРОБАФР за декабрь 2021 г. отсутствуют данные по станции 03918; за декабрь 2022 г. присутствуют данные по этой станции.

За декабрь 2021 г. и декабрь 2022 г. отсутствуют данные по всем аэрологическим станциям Украины (6 станций): 33317, 33345, 33393, 33791, 33837, 34300.

По региону Азии в массиве АЭРОБАФР за декабрь 2021 г. и декабрь 2022 г. отсутствуют данные:

- по 4 станциям Казахстана: 28951 (Кустанай), 35229 (Актобе), 35394 (Караганда), 35671 (Джесказган);
- по 21 станции (Саудовская Аравия, Эмираты, Оман): 40373, 40375, 40394, 40417, 40430, 40437, 40706, 40745, 40754, 40766, 40800, 40809, 40811, 40841, 40848, 40856, 41024, 41112, 41217, 41256, 41316;
- по 4 станциям Шри-Ланка: 43413, 43418, 43466, 43497;

- по 4 станциям Монголии: 44212, 44231, 44292, 44373;
- по 22 станциям Индии: 42101, 42111, 42182, 42339, 42348, 42369, 42379, 42410, 42492, 42498, 42542, 42724, 42809, 42874, 42971, 43063, 43128, 43150, 43185, 43279, 43295, 43333;
- по станции Индии 42867 — данные за декабрь 2021 г. отсутствуют и присутствуют за декабрь 2022 года.

По станциям Кореи в массиве АЭРОБАФР за декабрь 2021 г. данные присутствуют по одной станции — 47155; за декабрь 2022 г. данные присутствуют по 6 станциям: 47102, 47104, 47138, 47155, 47169, 47186.

По станции 48097 (Мьянма (Бирма), Юго-Восточная Азия) в массиве АЭРОБАФР отсутствуют данные за декабрь 2021 г.; за декабрь 2022 г. отсутствуют данные в массивах АЭРОБАФР и АЭРОСТАС.

По станциям Китая в массиве АЭРОБАФР за декабрь 2021 г. присутствуют данные по всем станциям: 50527–59981; в массиве АЭРОСТАС по станциям Китая данные за декабрь 2021 г. отсутствуют.

По станциям Китая в массиве АЭРОБАФР за декабрь 2022 г. присутствуют только радиопилотные данные по станциям: 54857, 57083, 57494, 58457, 58847, 59316, 59758; в массиве АЭРОСТАС за декабрь 2022 г. присутствуют данные по всем станциям Китая.

По региону юго-западной части Тихого океана в массиве АЭРОБАФР за период декабрь 2021 г. и декабрь 2022 г. отсутствуют данные:

- по 4 станциям Малайзии: 48601, 48615, 48650, 48657;
- по станции Тивали: 91643;
- по 3 станциям Новой Зеландии: 93112, 93417, 93844;
- по 5 станциям Индонезии: 96315, 96413, 96441, 96471, 96481;
- по станции 99939.

За период декабрь 2022 г. в массиве АЭРОБАФР отсутствуют данные:

- по станции 91610 (в массиве АЭРОСТАС данные присутствуют);
- по 7 станциям: 99006, 99007, 99008, 99009, 99010, 99011, 99939 (в массиве АЭРОСТАС данные присутствуют от 1 до 5 наблюдений);

- по 4 станциям: 95678, 95679, 95689, 95789 (в массиве АЭРОСТАС данные присутствуют от 1 до 8 наблюдений).

По региону Африки в массиве АЭРОБАФР за период декабрь 2021 г. и период декабрь 2022 г. отсутствуют данные по 29 станциям: 60096, 60155, 60715, 60760, 61024, 61052, 61291, 61995, 62306, 62337, 62378, 62403, 62414, 62423, 63741, 64400, 64450, 64500, 64700, 64910, 65330, 65344, 65548, 65578, 67027, 67083, 67197, 68110, 68906 (в массиве АЭРОСТАС по региону Африки данные по перечисленным станциям присутствуют).

По региону Северной и Центральной Америки в массиве АЭРОБАФР за период декабрь 2021 г. и период декабрь 2022 г. отсутствуют данные: по 30 станциям: 70857, 70858, 70859, 70860, 70861, 71081, 71082, 71603, 71722, 71802, 71811, 71815, 71816, 71823, 71836, 71906, 71907, 71908, 71909, 71917, 73110, 78384, 78397, 78486, 78583, 78807, 78866, 78954, 78970, 78988 (в массиве АЭРОСТАС по региону Северной и Центральной Америки данные по перечисленным станциям присутствуют).

По региону Южной Америки в массиве АЭРОБАФР за период декабрь 2021 г. и декабрь 2022 г. отсутствуют данные по 48 станциям: 80001, 80028, 80094, 80210, 80259, 80371, 80398, 82022, 82026, 82099, 82107, 82193, 82244, 82332, 82400, 82411, 82532, 82599, 82705, 82824, 82917, 82965, 83208, 83362, 83378, 83525, 83554, 83566, 83612, 83649, 83746, 83768, 83779, 83827, 83840, 83899, 83928, 83937, 83971, 85586, 87155, 87344, 87418, 87576, 87582, 87623, 87715, 87860.

В массиве АЭРОСТАС по региону Южной Америки данные по перечисленным станциям присутствуют, за исключением станций:

- 87418 — присутствует в массиве АЭРОСТАС за декабрь 2022 г. и отсутствует в массиве за декабрь 2021 г.;
- 87576 — присутствует в массиве АЭРОСТАС за декабрь 2021 г. и отсутствует в массиве АЭРОСТАС за декабрь 2022 г.

По региону Антарктики в массиве АЭРОБАФР за период декабрь 2021 г. отсутствуют данные по станции 89055 (Аргентина). В массиве АЭРОСТАС данные по станции 89055 (3,3) присутствуют. В массиве АЭРОБАФР за период декабрь 2022 г. отсутствуют данные по станциям 89055, 89056. В массиве АЭРОСТАС за период

декабрь 2022 г. данные по станциям 89055 (4,4), 89056 (1,0) присутствуют.

Описание ошибок в данных массива АЭРОБАФР

В данных массива АЭРОБАФР по станциям Пакистана и Вьетнама имеются ошибки в данных.

Описание ошибок в данных по станциям Пакистана. В массиве АЭРОБАФР за декабрь 2021 г. помещены радиопилотные данные по 10 станциям: 41506, 41515, 41529, 41598, 41624, 41640, 41675, 41718, 41749, 41780; в массиве АЭРОБАФР за декабрь 2022 г. помещены радиопилотные данные по 8 станциям (табл. 2). Проведено сравнение данных по количеству наблюдений по станциям в двух архивах: АЭРОБАФР и АЭРОСТАС. Данные в массиве АЭРОБАФР присутствуют только по 1–4 наблюдениям по каждой станции. Для сравнения, например, в массиве АЭРОСТАС для разных станций данные присутствуют от 7 до 91 наблюдений. Более того, данные в массиве АЭРОБАФР по станциям Пакистана занесены не по формату архива и не совпадают с данными на одноимённых уровнях архива АЭРОСТАС. Ошибки в данных по станциям Пакистана подробно описаны в [8]. Данные массива по всем станциям Пакистана из-за присутствующих ошибок не подлежат обработке.

Таблица 2

Данные о количестве наблюдений (радиопилоты) по станциям Пакистана в массивах АЭРОБАФР и АЭРОСТАС за декабрь 2021 г. и декабрь 2022 г.

Станции	Количество наблюдений			
	Декабрь 2021		Декабрь 2022	
	АЭРОБАФР	АЭРОСТАС	АЭРОБАФР	АЭРОСТАС
41506	2	11	2	21
41515	2	9	2	21
41529	2	7	-	-
41598	1	16	1	13
41624	1	29	1	26
41640	1	26	1	19
41675	1	-	1	1
41715	4	91	-	-
41718	1	29	1	23
41780	4	86	4	88

Описание ошибок в данных по станциям Вьетнама. Данные по станциям Вьетнама содержат ошибки перевода данных наблюдения из кодов TEMP и PILOT в кодовые формы BUFR.

В массиве АЭРОБАФР за декабрь 2021 г. и декабрь 2022 г. в файле 1 помещены радиозондовые данные по 6 станциям Вьетнама: 48811, 48820, 48839, 48845, 48855, 48900. В файле 2 массива АЭРОБАФР помещены радиопилотные данные по 4 станциям Вьетнама: 48870, 48877, 48887, 48914.

В данных по станциям Вьетнама: 48811, 48820, 48839, 48845, 48855, 48900 в массиве АЭРОБАФР за период декабрь 2021 г. и декабрь 2022 г. присутствуют ошибки в значениях геопотенциальной высоты на уровнях стандартных изобарических поверхностей 70–10 гПа.

Для примера на рисунке приведены данные радиозондирования по станции 48811 за 01.12. 2022 г. за срок 00 час. На рисунке высота изобарической поверхности 70 гПа по станции 48811 в данных массива равна 2855 гп.м., фактическое значение высоты изобарической поверхности 70 гПа равно 18550 гп.м. Высота изобарической поверхности 50 гПа в данных массива равна 530 гп.м., фактическое значение высоты изобарической поверхности 50 гПа равно 20530 гп.м. Высота изобарической поверхности 30 гПа равна 10374 гп.м., фактическое значение высоты изобарической поверхности 30 гПа равно 23740 гп.м. Высота изобарической поверхности 20 гПа равна 16360 гп.м., фактическое значение высоты изобарической поверхности 20 гПа равно 26360 гп.м. Высота изобарической поверхности 10 гПа в данных массива равна 10910 гп.м., фактическое значение высоты изобарической поверхности 10 гПа равно 30610 гп.м.

В данных по станциям Вьетнама в массиве АЭРОБАФР за период декабрь 2021 г. и декабрь 2022 г. для радиозондовых наблюдений на уровнях особых точек по ветру с «давлением на уровнях» больше или равно 100,00 гПа имеются ошибки в значениях скорости ветра — скорость ветра занижена в 2 раза; на уровнях особых точек по ветру с давлением меньше 100,00 гПа скорость ветра занесена правильно и соответствует наблюденному значению.

Радиозондовые и радиопилотные данные по станциям Вьетнама были декодированы из сообщений BUFR, транскодированных из кодов TEMP и PILOT [9]. Проблема заключается в том, что в национальных центрах при использовании декодеров из-за недостаточно накопленного опыта для преобразования данных из кодов TEMP и PILOT в BUFR (особенно сообщений, разделённых на части A, B, C, D) в данных BUFR обнаруживается ряд ошибок, которые частично описаны в [10].

Заключение

С 2022 года технология архивации аэрологических данных, поступающих по каналам связи в виде сообщений в кодовых формах BUFR, и получение массива в формате АЭРОБАФР переданы в эксплуатацию в ЦГМД ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». В ОА проведено сравнение полноты массива АЭРОБАФР по станциям за период декабрь 2021 г. и декабрь 2022 г. с данными базового аэрологического массива АЭРОСТАС. В массиве АЭРОБАФР за указанный период наблюдений отсутствуют данные приблизительно по 170 аэрологическим станциям мира.

Количественные характеристики данных массива очень разнородны — от измерений только на изобарических поверхностях до данных высокого вертикального разрешения, включающих несколько тысяч уровней.

Однако следует отметить, что в массиве АЭРОБАФР имеются станции, на которых было проведено мало наблюдений, — 94653, 94750, 94767. Имеются станции, на которых наблюдения не проводились (по сравнению с массивом АЭРОСТАС). Следует отметить ценность массива АЭРОБАФР для выполнения прикладных расчётов по климату и анализа вертикальной структуры атмосферы.

В массиве АЭРОБАФР в данных по всем станциям Пакистана и Вьетнама присутствуют ошибки. Ошибки в данных по станциям Пакистана (41506, 41515, 41529, 41598, 41624, 41640, 41675, 41718, 41749, 41780) за период март–июнь 2021 г. подробно описаны в [8]; ошибки в данных по станциям Пакистана за период декабрь 2021 г. и декабрь 2022 г. описаны в данной работе.

Данные массива по всем станциям Пакистана из-за присутствующих ошибок не подлежат обработке.

В данных по всем станциям Вьетнама: 48811, 48820, 48839, 48845, 48855, 48900 (радиозондовые данные) и 48870, 48877, 48887, 48914 (радиопилотные данные) присутствуют ошибки, возникшие при передаче перекодированных данных из кодов TEMP и PILOT в кодовые формы BUFR. Данные массива по всем станциям Вьетнама из-за присутствующих ошибок не подлежат обработке.

Чтобы не потерять данные аэрологических наблюдений по станциям, которые отсутствуют в архиве АЭРОБАФР, предлагается вести две технологии создания архивов и получать два массива — АЭРОБАФР и АЭРОСТАС. Анализ данных показал, что и после внедрения технологии создания архива АЭРОБАФР в эксплуатацию требуется проводить постоянный мониторинг и контроль поступления данных по каналам связи.

Авторы благодарны доктору физ.-мат. наук А.М. Стерину за поддержку исследований и обсуждение статьи, позволившее улучшить её текст.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Наставление по кодам. Международные коды. Том I.2. Часть В — Двоичные коды. Часть С — Общие элементы двоичных и буквенно-цифровых кодов // Всемирная метеорологическая организация. 2015. № 306.*
2. *Беспрозванных А.В., Сенова Л.Н., Ульянич Н.Л., Шерстюкова Р.А. Система управления гидрометеорологической информацией и получения климатической продукции CLIWARE 2.1 — область применения // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 164–181.*
3. *Сенова Л.Н. Обработка системой OMEGA данных, поступающих по каналам связи в коде BUFR // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 142–155.*
4. *Руденкова Т.В. Структура и содержание нового массива текущих аэрологических данных, поступающих из сети ГСТ в кодовых формах BUFR // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 102–119.*
5. *Хохлова А.В., Беспрозванных А.В., Руденкова Т.В., Сенова Л.Н., Тимофеев А.А. Архивация аэрологических данных в таблично-ориентированных кодовых формах: некоторые результаты // Фундаментальная и прикладная климатология. 2022. Т. 8, № 3. С. 88–103.*

6. *Описание* массива «ТЕКУЩАЯ АЭРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ» (АЭРОСТАС). Срочные данные температурно-ветрового и ветрового зондирования атмосферы. Сдано в ЦГМД. Обнинск, 2012.

7. *Руденкова Т.В.* Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 174. С. 41–63.

8. *Руденкова Т.В., Тимофеев А.А.* О проблемах архивации аэрологических данных, поступающих из сети ГСТ в кодах BUFR по глобальной сети станций // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 185. С. 136–145.

9. *Руденкова Т.В., Тимофеев А.А.* Результаты мониторинга полноты и содержания опытных файлов нового массива текущих аэрологических данных, поступающих из сети ГСТ в кодовых формах BUFR // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 189. С. 128–136.

10. *Отчёт* о положении дел в области перехода на таблично-ориентированные кодовые формы. 25 сентября 2015 г. URL: https://old.wmo.int/extranet/pages/prog/www/WMOCodes/MigrationTDCF/PR6868/2015-09-25-PR-6868-OBS-WIS-DRMM-MIGRATION_ru.pdf (дата обращения: 14.02.2022).

УДК 551.576.32(470+571)

МОНИТОРИНГ ОБЛАЧНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Н.Н. Коршунова¹, С.Г. Давлетшин²

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
¹ nnk@meteo.ru, ² sdavletshin@meteo.ru*

Введение

Основной задачей мониторинга климата является регулярное слежение за состоянием климатической системы, включающее оценку степени аномальности текущего состояния и выявление экстремальных климатических аномалий, а также оценку наблюдаемых тенденций изменения климата (климатических трендов). Основные положения и требования к мониторингу климатической системы были сформулированы в [1]. Созданная в России система мониторинга климата выявляет и изучает региональные особенности в изменении характеристик основных метеорологических параметров. Результаты анализа состояния различных компонентов климатической системы на территории России ежегодно публикуются в «Докладе об особенностях климата на территории Российской Федерации», который является официальным изданием Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [2]. Необходимость включения облачности в национальную систему климатического мониторинга назрела давно, поскольку она в значительной степени влияет на поступление солнечной радиации и обратное земное излучение. Попытки создания подсистемы мониторинга облачности на базе спутниковых данных не увенчались успехом из-за очень сложной и трудоёмкой обработки этих данных. Кроме того, спутниковые данные доступны за довольно короткий временной период, что не позволяет изучить долгопериодные климатические изменения характеристик облачности [3].

В течение последних лет во ВНИИГМИ-МЦД проводились подготовительные работы по разработке подсистемы мониторинга

облачности, которые начались с подготовки верифицированных массивов данных для информационной базы. Для оценки аномальности текущего периода рассчитаны нормы за новый базовый период 1991–2020 гг. по среднему количеству общей и нижней облачности, а также по числу дней с различным состоянием неба (ясное, пасмурное) по общей и нижней облачности. Нормы получены в соответствии с требованиями ВМО [4].

Целью данного исследования является апробация методики мониторинга облачности на примере анализа состояния облачности на территории России в 2021 году.

Данные и методы

Мониторинг характеристик облачности проведён на основе данных архивов Госфонда и данных оперативного потока, поступающих по каналам связи в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» с метеорологических станций (≈ 1350 пунктов наблюдений). Анализ изменений характеристик облачности проводился по данным в точке и по рядам средних для 9 квазиоднородных климатических регионов характеристик. Средние для регионов значения характеристик получены следующим способом. Аномалии на метеостанциях арифметически осреднялись по квадратам сетки ($1^\circ\text{N} \times 2^\circ\text{E}$), а затем с весовыми коэффициентами в зависимости от широты квадрата проводилось осреднение по регионам, показанным на рис. 1, и территории России. Используются нормы (среднеголетние значения) характеристик облачности за период 1991–2020 гг. Ранги определены по ряду 1985–2021 гг.

Анализировались характеристики по общей облачности и облачности нижнего яруса. Общая облачность — общее количество облаков, покрывающих небосвод, без подразделения по высотам (ярусам), включая и нижнюю облачность. К облакам нижнего яруса (нижняя облачность) относятся облака с нижней границей ниже 2 км: слоистые (St), слоисто-кучевые (Sc), плоские кучевые (Cu hum). К облакам нижнего яруса относят также облака, занимающие по вертикали несколько ярусов, но нижняя граница которых лежит в нижнем ярусе (Cu cong, Cu med, Cb) [6].



Рис. 1. Квазиоднородные климатические регионы [5]:
 I — север ЕЧР и Западной Сибири, II — северная часть Восточной Сибири и Якутии, III — Чукотка и север Камчатки, IV — центр ЕЧР, V — центр и юг Западной Сибири, VI — центр и юг Восточной Сибири, VII — Дальний Восток, VIII — Алтай и Саяны, IX — юг ЕЧР.

Пасмурным днём в климатологии считают день, когда облачность в каждый срок наблюдений составляла 8–10 баллов (по 10-балльной шкале); ясным — день, когда облачность за каждый срок наблюдений была от 0 до 2 баллов [7].

Облачность на территории России в 2021 году

На рис. 2 показано распределение годовых и сезонных аномалий среднего балла общей и нижней облачности на территории России в 2021 году, а в табл. 1 представлены годовые и сезонные аномалии среднего балла общей и нижней облачности для квазиоднородных климатических районов и России в целом.

2021 год для России в целом был облачным, аномалии среднего балла общей и нижней облачности попали в десятку наибольших в ранжированном ряду с 1985 года. Положительные аномалии отмечались на западе и юге ЕТР, на большей части Сибири, на дальневосточном юге, Камчатке, в Магаданской области. Годовые аномалии среднего балла нижней облачности в квазиоднородных районах III, VI, VII, VIII и IX попали в десятку

наиболее крупных положительных аномалий в ранжированном ряду. Пространственное распределение годовых аномалий среднего балла общей облачности практически аналогичное, но аномалии меньше по абсолютной величине, больше районов, где среднегодовой балл общей облачности близок к климатической норме. Однако осреднённые значения в VI, VII, VIII районах попали в десятку наиболее крупных положительных аномалий.

Зимой на большей части Европейской территории (ЕТР), за исключением крайних западных и южных районов, в Западной Сибири и северных районах Красноярского края отмечались отрицательные аномалии среднего балла как общей, так и нижней облачности. Значительные положительные аномалии получены на юге Сибири, Камчатке и прибрежных районах Охотского моря, причём в Прибайкалье и Забайкалье увеличение среднего балла обусловлено увеличением облачности среднего и верхнего ярусов, а на севере Камчатки — увеличением облачности нижнего яруса. Осреднённые по площади аномалии среднего балла по общей облачности вошли в десятку наибольших в VI, VII, VIII квазиоднородных районах, а по нижней облачности ещё и в III

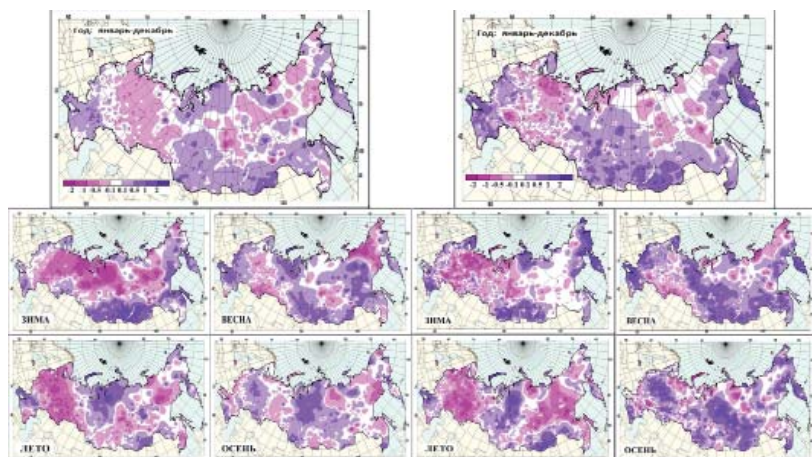


Рис. 2. Аномалии среднегодового и сезонного балла общей (слева) и нижней (справа) облачности на территории России в 2021 году

и IX. На Дальнем Востоке (район VII) аномалия среднего балла нижней облачности стала рекордной за рассматриваемый период.

Таблица 1

Годовые и сезонные аномалии среднего балла облачности в 2021 году, усреднённые по территории квазиоднородных климатических регионов России: Δ — отклонения от средних за 1991–2020 гг.; σ — среднеквадратическое отклонение.

Регион	год		зима		весна		лето		осень	
	Δ	σ	Δ	σ	Δ	σ	Δ	σ	Δ	σ
Общая облачность										
Россия	0,07	0,12	0,07	0,27	0,15	0,17	-0,19	0,10	0,10	0,20
Север ЕТР и Западной Сибири	-0,09	0,23	-0,51	0,54	0,25	0,34	-0,15	0,31	0,02	0,29
Сев. часть Восточной Сибири и Якутии	-0,06	0,16	-0,06	0,30	-0,10	0,26	0,00	0,21	0,04	0,26
Чукотка и север Камчатки	-0,02	0,22	0,16	0,51	-0,16	0,49	0,10	0,32	-0,11	0,32
Центр ЕТР	-0,05	0,25	-0,28	0,49	0,05	0,34	-0,59	0,31	0,17	0,41
Центр и юг Западной Сибири	0,04	0,24	-0,07	0,50	0,06	0,38	-0,11	0,29	0,16	0,32
Центр и юг Восточной Сибири	0,19	0,13	0,38	0,25	0,26	0,24	0,03	0,18	0,17	0,24
Дальний Восток	0,16	0,15	0,44	0,30	0,18	0,25	-0,08	0,24	0,01	0,21
Алтай и Саяны	0,28	0,20	0,70	0,49	0,48	0,38	-0,05	0,27	-0,07	0,42
Юг ЕЧР	0,13	0,23	0,15	0,32	0,26	0,43	-0,02	0,33	-0,02	0,47
Нижняя облачность										
Россия	0,17	0,19	0,09	0,39	0,35	0,25	-0,12	0,13	0,29	0,27
Север ЕТР и Западной Сибири	-0,15	0,33	-0,23	0,79	0,32	0,41	-0,17	0,37	-0,14	0,48
Сев. часть Восточной Сибири и Якутии	0,03	0,23	0,15	0,23	0,02	0,26	-0,15	0,31	0,17	0,39
Чукотка и север Камчатки	0,42	0,39	0,85	0,64	0,13	0,47	0,19	0,42	0,62	0,53
Центр ЕТР	-0,02	0,31	-0,25	0,71	0,19	0,38	-0,57	0,33	0,32	0,52
Центр и юг Западной Сибири	0,16	0,30	-0,06	0,54	0,15	0,40	0,09	0,36	0,27	0,46
Центр и юг Восточной Сибири	0,35	0,19	0,23	0,21	0,51	0,27	0,11	0,21	0,57	0,30
Дальний Восток	0,30	0,20	0,36	0,24	0,54	0,28	-0,10	0,37	0,27	0,24
Алтай и Саяны	0,38	0,22	0,60	0,34	0,56	0,36	0,09	0,24	0,21	0,42
Юг ЕЧР	0,36	0,23	0,37	0,36	0,66	0,38	0,15	0,23	0,16	0,38

Примечание: жирным шрифтом выделены аномалии, попавшие в 10 самых больших положительных или отрицательных значений за период 1985–2021 гг.

Весна более облачной оказалась на юге и юго-западе ЕТР, большей части Западной Сибири, Якутии, на юге Восточной Сибири и Дальнего Востока, за исключением Приморского края. При этом положительные аномалии среднего балла нижней облачности превосходили аналогичные аномалии общей облачности и превысили 1 балл в Приазовье и на Камчатке. Весенние аномалии среднего балла по общей и нижней облачности вошли в десятку наибольших в целом по России и в I, VI, VII, VIII и IX квазиоднородных районах, причём в последнем аномалия по нижней облачности вновь оказалась рекордной.

Летом на всей ЕТР, за исключением Южного ФО, и Урале преобладала менее облачная, чем обычно, погода. Отрицательные аномалии в отдельных районах по абсолютной величине превысили 1 балл и по общей, и по нижней облачности. Наибольшие положительные аномалии среднего балла общей и нижней облачности отмечены в северных и восточных районах Западной Сибири, а также на севере Красноярского края и в Забайкалье, причём в Забайкалье преобладала облачность нижнего яруса, аномалии которой превысили 1 балл.

Осень выдалась облачной в центральных областях ЕТР, горных районах Северного Кавказа и на большей части Сибири, аномалии среднего балла общей и нижней облачности на 0,5–1,5 балла превысили климатическую норму. В прибрежных районах Магаданской области и центральных районах Камчатки отмечены отрицательные аномалии среднего балла общей облачности и положительные аномалии среднего балла нижней облачности. Осенние аномалии по нижней облачности в III, VII, VIII районах и России в целом попали в десятку наибольших в ранжированном ряду.

На рис. 3 приведены ряды годовых и сезонных аномалий числа пасмурных дней по общей и нижней облачности, на рис. 4 и 5 показано пространственное распределение аномалий числа ясных (0–2 балла) и пасмурных (8–10 баллов) дней по общей и нижней облачности, а в табл. 2 и 3 представлены годовые и сезонные аномалии числа ясных и пасмурных дней по общей и нижней облачности для России в целом и квазиоднородным климатическим районам.

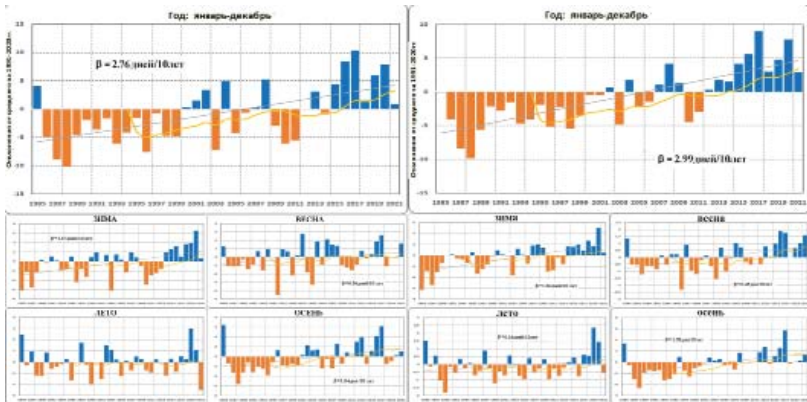


Рис. 3. Годовые и сезонные аномалии числа пасмурных дней (8–10 баллов) по общей (слева) и нижней (справа) облачности

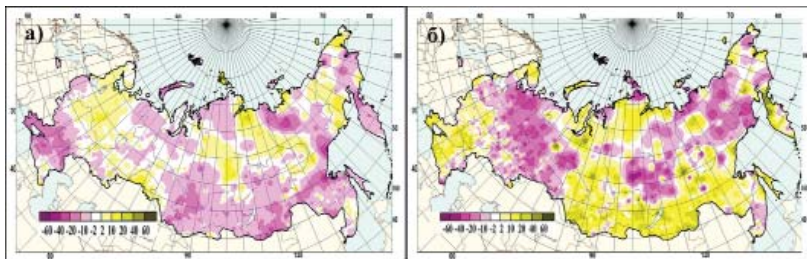


Рис. 4. Аномалии числа ясных (а) и пасмурных дней (б) по общей облачности на территории России в 2021 году

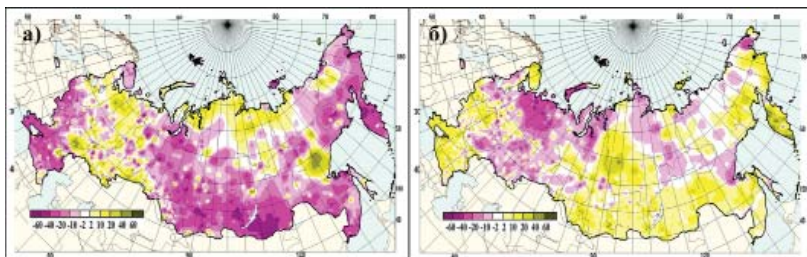


Рис. 5. Аномалии числа ясных (а) и пасмурных дней (б) по нижней облачности на территории России в 2021 году

Таблица 2

Средние годовые и сезонные аномалии числа ясных дней в 2021 году, осреднённые по территории квазиоднородных климатических регионов России: Δ — отклонения от средних за 1991–2020 гг.; σ — среднеквадратическое отклонение

Регион	год		зима		весна		лето		осень	
	Δ	σ	Δ	σ	Δ	σ	Δ	σ	Δ	σ
Общая облачность										
Россия	-2,64	3,14	-0,50	1,44	-1,19	1,36	0,90	0,77	-0,64	1,08
Север ЕТР и Западной Сибири	0,51	3,51	2,87	2,34	-1,03	1,92	0,19	1,34	-0,48	0,84
Сев. часть Восточной Сибири и Якутии	1,52	4,44	-0,13	2,15	0,87	2,30	-0,44	1,05	-0,06	1,43
Чукотка и север Камчатки	-1,70	5,84	-1,79	3,85	-0,96	3,59	-0,05	1,31	0,85	1,95
Центр ЕТР	-0,33	6,02	2,63	2,50	-0,61	2,51	2,81	1,99	-1,07	1,88
Центр и юг Западной Сибири	-1,10	6,64	0,73	2,99	-1,07	2,72	0,80	1,27	-1,29	1,79
Центр и юг Восточной Сибири	-5,26	3,59	-2,65	1,92	-1,95	1,88	0,01	0,88	-1,01	1,72
Дальний Восток	-4,77	4,51	-4,59	2,74	-0,54	1,74	0,34	1,01	0,09	1,51
Алтай и Саяны	-7,03	5,69	-4,86	4,03	-3,29	2,94	0,55	1,69	1,11	3,03
Юг ЕЧР	-5,97	6,71	0,13	1,82	-2,81	3,18	-0,43	3,46	-0,78	3,73
Нижняя облачность										
Россия	-9,65	8,63	-1,02	4,23	-4,55	3,51	1,47	1,59	-3,78	2,68
Север ЕТР и Западной Сибири	0,25	11,41	3,45	6,99	-4,11	4,81	0,36	3,78	-0,88	3,03
Сев. часть Восточной Сибири и Якутии	-11,33	8,23	-3,24	3,86	1,15	4,36	1,12	3,32	-2,58	4,82
Чукотка и север Камчатки	-13,95	14,80	-11,33	8,23	-1,00	5,61	1,05	3,85	-3,41	4,99
Центр ЕТР	-0,96	13,28	3,24	6,62	-2,25	5,36	6,63	4,40	-4,06	4,81
Центр и юг Западной Сибири	-6,80	14,23	1,45	7,27	-3,27	5,78	-0,21	4,38	-3,05	4,76
Центр и юг Восточной Сибири	-21,41	10,70	-3,93	3,64	-7,54	4,40	-1,88	2,70	-7,59	3,83
Дальний Восток	-14,91	8,53	-4,85	3,31	-6,21	3,26	1,41	3,04	-3,44	2,98
Алтай и Саяны	-20,59	11,88	-8,16	5,42	-8,59	5,27	-1,15	3,41	-1,13	4,88
Юг ЕЧР	-14,90	10,09	-1,42	2,93	-6,80	4,89	-1,39	4,47	-2,88	4,63

Примечание: жирным шрифтом выделены аномалии, попавшие в 10 самых больших положительных или отрицательных значений за период 1985–2021 гг.

Таблица 3

Средние годовые и сезонные аномалии числа пасмурных дней в 2021 году, осреднённые по территории квазиоднородных климатических регионов России: Δ — отклонения от средних за 1991–2020 гг.; σ — среднеквадратическое отклонение

Регион	год		зима		весна		лето		осень	
	Δ	σ	Δ	σ	Δ	σ	Δ	σ	Δ	σ
Общая облачность										
Россия	1,71	5,03	0,72	2,92	1,63	1,61	-2,50	1,17	1,07	2,71
Север ЕТР и Западной Сибири	-4,47	10,97	-4,23	6,92	3,99	4,05	-2,76	3,98	-0,97	4,55
Сев. часть Восточной Сибири и Якутии	-3,87	6,03	-0,87	2,99	-1,03	2,41	-1,50	2,78	0,93	3,21
Чукотка и север Камчатки	0,05	9,78	2,43	4,72	-3,72	5,40	3,50	4,25	0,13	3,64
Центр ЕТР	-3,51	10,86	-2,37	5,81	0,17	3,13	-7,33	3,40	2,93	5,61
Центр и юг Западной Сибири	0,74	10,17	-0,65	5,79	0,10	3,73	-1,28	3,42	1,72	4,21
Центр и юг Восточной Сибири	5,84	5,57	3,73	2,47	2,51	2,27	-0,21	2,08	0,93	2,45
Дальний Восток	6,23	7,07	2,99	3,11	2,86	3,11	-0,70	3,54	-0,66	2,68
Алтай и Саяны	11,66	8,30	7,39	4,34	4,91	3,97	-0,97	2,67	0,48	4,33
Юг ЕЧР	4,25	9,27	2,51	3,78	3,14	4,04	-0,15	2,46	-0,15	4,28
Нижняя облачность										
Россия	2,74	4,28	0,50	2,31	1,60	0,96	-0,54	0,82	1,34	2,00
Север ЕТР и Западной Сибири	-10,35	9,54	-0,47	6,09	1,0	2,27	-2,82	2,73	-3,26	4,70
Сев. часть Восточной Сибири и Якутии	0,64	4,11	0,44	0,59	0,52	0,95	-1,10	0,97	1,19	1,98
Чукотка и север Камчатки	11,69	10,71	4,81	2,95	0,29	2,92	2,84	3,36	5,24	3,86
Центр ЕТР	-1,37	7,75	-1,31	5,15	0,73	1,72	-2,73	1,78	1,74	3,93
Центр и юг Западной Сибири	2,08	6,19	-0,44	2,67	0,01	1,53	0,79	1,67	0,99	3,17
Центр и юг Восточной Сибири	6,62	3,01	0,77	0,44	1,80	0,77	1,13	1,03	2,89	1,45
Дальний Восток	8,40	5,75	1,82	1,52	3,89	1,71	-0,04	2,94	1,41	1,82
Алтай и Саяны	6,43	3,61	2,60	1,22	1,89	1,39	0,21	1,17	1,78	2,29
Юг ЕЧР	7,63	6,87	4,09	3,16	4,29	2,37	0,63	0,75	0,58	2,56

Примечание: Жирным шрифтом выделены аномалии, попавшие в 10 самых больших положительных или отрицательных значений за период 1985–2021 гг.

Во все сезоны, кроме лета, и за год число пасмурных дней по общей и нижней облачности превышало климатическую норму (рис. 3). Наиболее пасмурной выдалась весна, сезонные аномалии по общей и нижней облачности попали в десятку наибольших с рангами 6 и 3 соответственно. Летом пасмурных дней оказалось значительно меньше нормы по общей и нижней облачности, при этом отрицательная аномалия числа пасмурных дней по общей облачности стала наименьшей в ранжированном ряду.

Пространственное распределение ясных и пасмурных дней носит пятнистый, во многом зеркальный характер (рис. 4), однако некоторые отличия вносят дни с полужасным состоянием неба (3–7 баллов).

По общей облачности в 2021 году на территории РФ преобладали отрицательные аномалии числа ясных дней (рис. 4а). В южных областях ЕТР, на юге Красноярского края, в Забайкалье, в низовьях Лены и на западном побережье Охотского моря отрицательные аномалии по абсолютной величине составили 10–15 дней, а на некоторых метеорологических станциях превысили 20 дней. Наибольшая по абсолютной величине отрицательная аномалия числа дней по общей облачности (56 дней) отмечена в Улье Хабаровского края. На севере и в центре ЕТР больше ясных дней стало, в основном, из-за значительного уменьшения пасмурных дней (на 15–25 дней), хотя на Южном Урале и в центральных районах Западной Сибири отмечены отрицательные аномалии числа ясных и пасмурных дней. Наибольшая положительная аномалия числа ясных дней по общей облачности (34 дня) получена на метеорологической станции Касумкент в Дагестане. Осреднённые годовая, зимняя и летняя аномалии числа ясных дней по общей облачности в IV районе, а также летняя по России в целом вошли в десятку наибольших в ранжированном ряду с 1985 года.

Значительно больше, чем обычно, пасмурных дней по общей облачности наблюдалось на большей части Восточной Сибири, в Прибайкалье и Забайкалье, на дальневосточном юге, за исключением Приморья, и на севере Камчатки (рис. 4б). В северных и центральных районах Камчатского края число пасмурных дней более чем на 40 дней превысило климатическую норму.

Максимальная положительная аномалия числа пасмурных дней по общей облачности (181 день) отмечена в Змеиногорске Алтайского края, а наибольшая по абсолютной величине отрицательная (111 дней) — в Средней Олёкме Забайкальского края. Годовые, зимние и весенние аномалии числа пасмурных дней по общей облачности в VI, VII, VIII районах и по России в целом попали в десять наибольших. Кроме этого, в десятку самых крупных аномалий также вошли весенние аномалии в I районе и по России в целом, летние — в III районе, осенние — в IV, зимние и весенние — в IX районе.

Число ясных дней по нижней облачности уменьшилось (на 10–20 дней) в западных и южных областях ЕТР и увеличилось — в северных, на Верхней и Средней Волге, Прикамье и на Южном Урале (рис. 5а). Наибольшая положительная аномалия (122 дня) получена в Чулпаново (Татарстан). На большей части АТР преобладали отрицательные аномалии числа ясных дней по нижней облачности. Значительно меньше ясных дней было на юге Западной Сибири, в Иркутской области, Забайкалье и Камчатском крае. Максимальная по абсолютной величине отрицательная аномалия (118 дней) отмечена на метеорологической станции Улёты Забайкальского края. Летние аномалии числа ясных дней по нижней облачности по России в целом и в IV квазиоднородном районе вошли в десятку наибольших в ранжированном ряду.

Число пасмурных дней по нижней облачности превысило климатическую норму на западе и юге ЕТР, а также на большей части АТР (рис. 5б). Максимальная положительная аномалия (91 день) получена в Полярном Мурманской области. Меньше нормы число пасмурных дней по нижней облачности оказалось на севере ЕТР и Западной Сибири, Урале и в Поволжье. Максимальная по абсолютной величине отрицательная аномалия (63 дня) зафиксирована в Мосеево Архангельской области. В районе Обской губы число ясных и пасмурных дней по нижней облачности было меньше нормы, т.е. преобладало полуясное (3–7 баллов) состояние неба. 2021 год стал аномальным по числу пасмурных дней по нижней облачности как по стране в целом, так и в большинстве квазиоднородных районов. Годовые аномалии числа пасмурных

дней по нижней облачности вошли в десятку наибольших во всех районах, за исключением I, II, IV и V (см. табл. 3).

Заключение

Проведённое исследование является важным этапом в разработке методики мониторинга облачности по данным наземных наблюдений. Созданы верифицированные массивы характеристик общей и нижней облачности, в том числе норм за новый базовый период — 1991–2020 гг. — по среднему количеству общей и нижней облачности, числу ясных (0–2 балла) и пасмурных (8–10 баллов) дней по общей и нижней облачности, которые составят информационную базу мониторинга облачности. Разработаны авторские программные средства для расчёта статистических характеристик облачности с учётом специфики архивного хранения данных в Госфонде ВНИИГМИ-МЦД. Анализ режима облачности конкретного года, помимо тестирования информационной базы, позволил решить некоторые методические вопросы при разработке методики мониторинга облачности по данным наземных наблюдений. Вопрос включения данных о формах облаков требует дополнительной проработки из-за расхождения кодировок форм облачности в режимном и оперативном потоках информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Мониторинг и вероятностный прогноз короткопериодных колебаний климата // 60 лет Центру гидрометеорологических прогнозов. Л.: Гидрометеиздат, 1989. С. 148–170.
2. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. М., 2023.
3. Rossow W.B., Duenas E.N. The International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) web site // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2004. V. 85. P. 167–172.
4. Руководящие указания ВМО по расчёту климатических норм // ВМО. 2017. № 1203. 21 с.
5. Алисов Б.П. Климат СССР. М.: Московский университет, 1956. 127 с.
6. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, Часть 1. Л.: Гидрометиздат, 1985. 301 с.
7. Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь. Том 1–3 / Под ред. А.И. Бедрицкого. Спб.: Изд-во «Летний сад», 2009.

УДК 551.58

ВОЗДЕЙСТВИЕ ОПАСНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ И НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЙ ПОГОДЫ НА ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС РОССИИ

Е.Ф. Руклинская¹, Л.Н. Воробьева², А.Т. Санина³

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,*

¹ evolkova@meteo.ru, ² vorobeva@meteo.ru, ³ nai@meteo.ru

Введение

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) России — совокупность отраслей экономики, связанных с производством, передачей, распределением всех видов энергии, а также добычей, переработкой, транспортировкой топливно-энергетических ресурсов. ТЭК России базируется на собственных энергетических ресурсах и обеспечивает топливом и энергией все остальные отрасли экономики.

В структуре экономики России ТЭК занимает важное место и обеспечивает большую часть доходов в бюджете страны. Его доля, по данным Минэнерго РФ, в 2022 году составила более 27 % ВВП [1].

Отметим, что в соответствии с Общероссийским классификатором видов экономической деятельности (ОКВЭД) выделены следующие виды деятельности ТЭК:

- добыча топливно-энергетических полезных ископаемых;
- производство, передача и распределение электроэнергии;
- производство, передача и распределение газообразного топлива, пара и горячей воды;
- эксплуатация газовых, тепловых распределительных сетей.

Все составляющие ТЭК в разной степени зависят от изменений климатических условий. В настоящей статье рассматривается одна из важных отраслей ТЭК, наиболее подверженная воздействию опасных и неблагоприятных явлений погоды — электроэнергетика, обеспечивающая производство, передачу и распределение электроэнергии.

Режим работы электроэнергетической системы определяется двумя факторами: относительно стандартной заданной (проектной) технологической нормой и гидрометеорологическими условиями.

Электроэнергетическая система включает в себя источники (ГЭС, ТЭЦ, ТЭС, АЭС, ПЭС) и охватывающие всю страну сети — линии электропередач (ЛЭП), транспортирующие электрическую энергию.

Эффективность производства энергии на АЭС, ТЭС и ГЭС в значительной степени зависит от температурного режима наружного воздуха. Аномальная жара и засуха может потребовать снижения мощности энергоблоков вплоть до их полной остановки.

Наиболее частыми причинами воздействия условий погоды на передачу и распределение электроэнергии являются образование гололёдно-изморозевых отложений на проводах, «пляска проводов», вызванная сильным ветром или сбросом ледяных отложений, схлёстывание и провисание проводов, вызванное высокими температурами воздуха, грозовые воздействия и т.п.

В настоящей работе приводится анализ статистики воздействия опасных явлений (ОЯ) и неблагоприятных гидрометеорологических явлений (НГЯ) погоды на электроэнергетический комплекс на основе сведений базы данных ОЯ и НГЯ, нанёсших ущерб. При этом рассматривается распределение числа случаев воздействия условий погоды по годам, по месяцам, по субъектам РФ. Представлен анализ сведений об экономическом эффекте (ЭЭ) гидрометеорологического обеспечения ТЭК. Данные об ЭЭ получены из территориальных управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС) Росгидромета и проанализированы в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД».

**Основные результаты статистического анализа воздействия
опасных гидрометеорологических явлений
и неблагоприятных условий погоды
на электроэнергетику РФ**

В ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» с 1991 года по настоящее время ведётся база данных опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений «Сведения об опасных и неблагоприятных

гидрометеорологических явлениях, которые нанесли материальный и социальный ущерб на территории России» (Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019621326). Структура и содержание базы данных определены в руководящих документах и методических указаниях Росгидромета [2, 3] и приведены в [4, 5].

Статистические данные по воздействию ОЯ и НГЯ на социально-экономическую систему (в том числе электроэнергетику) опубликованы за разные периоды во многих работах [6–8], при этом использовались понятия, которые сформулированы в [8].

Число случаев воздействия ОЯ и НГЯ означает следующее: если происходит воздействие, которое охватывает несколько субъектов РФ, то это является в целом по России одним случаем; в тех ситуациях, когда воздействие условий погоды наблюдается в течение длительного периода времени (например атмосферная засуха продолжительностью несколько месяцев), это также фиксируется как один случай.

Если в рассматриваемом случае воздействия наблюдается несколько гидрометеорологических явлений и неблагоприятных условия погоды, учитываются только те из них, интенсивность и продолжительность которых достигают установленных критериев опасности. Например, происходит воздействие, и в нём наблюдаются четыре явления: при этом два из них достигают критерия ОЯ, а два — нет. В этом случае статистика показывает количество ОЯ, равное двум. Таким образом, количество опасных гидрометеорологических явлений всегда больше, чем число случаев воздействия.

На рис. 1 под номерами 1–20 представлены следующие виды деятельности экономики: 1 — добыча полезных ископаемых, кроме топливно-энергетических; 2 — добыча топливно-энергетических полезных ископаемых; 3 — рыболовство, рыбоводство; 4 — обрабатывающие производства; 5 — строительство; 6 — производство, передача и распределение газообразного топлива, пара и горячей воды (тепловой энергии); 7 — морское судоходство; 8 — железнодорожный транспорт; 9 — связь; 10 — образование; 11 — речное судоходство; 12 — эксплуатация газовых,

тепловых распределительных сетей, распределение газа и тепла на коммунально-бытовые нужды; 13 — забор, очистка, распределение воды; 14 — авиация; 15 — нанесение ущерба жизни и здоровью людей; 16 — лесное хозяйство; 17 — сельское хозяйство; 18 — автомобильный транспорт; 19 — производство, передача и распределение электроэнергии; 20 — ЖКХ.

Если рассмотреть статистику общего числа случаев воздействия опасных гидрометеорологических явлений и неблагоприятных условий погоды на конкретные виды экономической деятельности и на население (рис. 1), то наиболее часто их воздействию подвержены электроэнергетика, сельское хозяйство, лесное хозяйство, автомобильный транспорт.

По этим же видам экономической деятельности, ЭЭ гидрометеорологического обеспечения является наибольшим. Например, в 2023 году он составил для лесного и сельского хозяйств — 8,6 % от общего эффекта, для электроэнергетики — 20 %, для автомобильного транспорта — 15,8 %.

На рис. 2 показано количество случаев воздействия ОЯ и НГЯ на электроэнергетику за 20 лет — за период с 2004 по 2023 год.

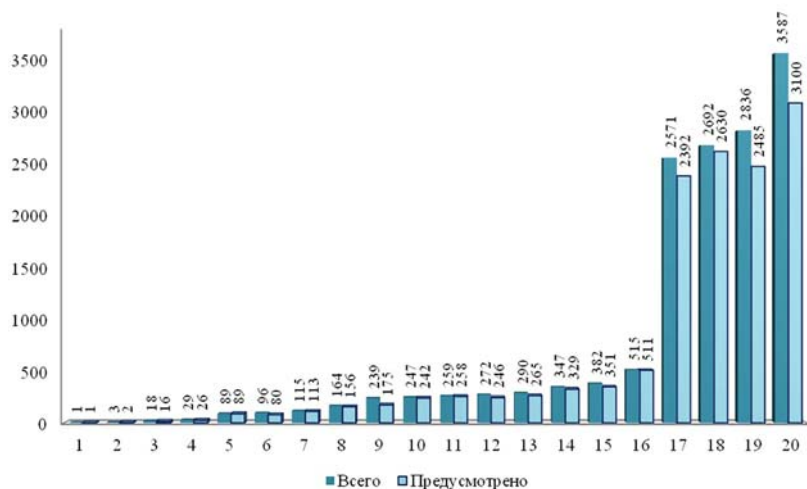


Рис. 1. Распределение числа случаев ОЯ и НГЯ на территории России, нанёсших ущерб населению и отраслям экономики в 2004–2023 гг.



Рис. 2. Количество случаев воздействия ОЯ и НГЯ на электроэнергетику на территории России в 2004–2023 гг.

Из рис. 2 видно, что с 2004 по 2023 год число случаев воздействия на электроэнергетику несколько снижено. Наибольшее число случаев воздействия условий погоды на электроэнергетику наблюдалось в 2007 году в количестве 211 случаев, наименьшее — в 2022 году (111 случаев).

На рис. 3 приведена повторяемость опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений, приведших к социальным и экономическим потерям за период с 2004 по 2023 год по некоторым субъектам РФ, в которых наблюдалось 100 и более ОЯ.

Анализ данных рис. 3 показывает, что наиболее уязвимыми регионами по воздействию условий погоды на энергетическую систему являются субъекты Западно-Сибирского, Северо-Кавказского, Восточно-Сибирского, Дальневосточного экономических районов.

За последние двадцать лет в Алтайском крае Западно-Сибирского ЭР наблюдалось самое высокое по России число случаев воздействия ОЯ на электроэнергетику — 318 случаев. Далее следуют: Краснодарский край (254 случая), Кемеровская область (253 случая), Новосибирская область (234 случая), Сахалинская область (213 случаев), Республика Северная Осетия-Алания (199 случаев), Республика Бурятия (198 случаев), Ставропольский край (182 случая).

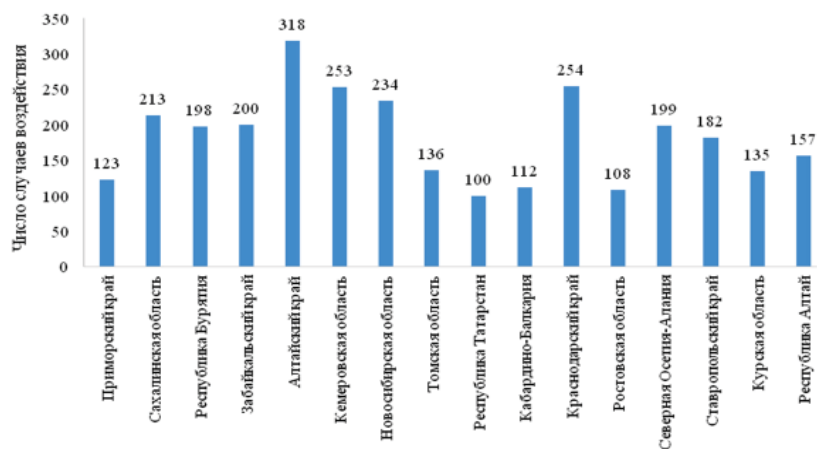


Рис. 3. Число случаев воздействия ОЯ и НГЯ на электроэнергетику в некоторых субъектах РФ за период с 2004 по 2023 год

Самые низкие показатели по числу случаев воздействия на электроэнергетику наблюдаются в Северном экономическом районе, где в пяти субъектах из шести число случаев воздействия за весь период (2004–2023 гг.) составило менее 20. Исключение составляет Мурманская область, где зафиксированы 56 ОЯ за исследуемый период.

Необходимо отметить, что за последнее десятилетие повторяемость воздействия снизилась по многим субъектам РФ во всех экономических районах, кроме Восточно-Сибирского, где в четырёх субъектах из шести повторяемость случаев воздействия на электроэнергетику выросла в 2 и более раза.

По некоторым субъектам повторяемость не изменилась или возросла незначительно. К таким относятся все субъекты Северо-Западного ЭР.

Статистические расчёты показывают, что по 55 субъектам РФ повторяемость воздействия снизилась, а по 4 — не изменилась. При этом 23 % из них расположены на азиатской территории России, а 44 % — на европейской.

Статистика по числу воздействия ОЯ и НУП на электроэнергетику в 2004–2023 гг. по месяцам приведена на рис. 4.

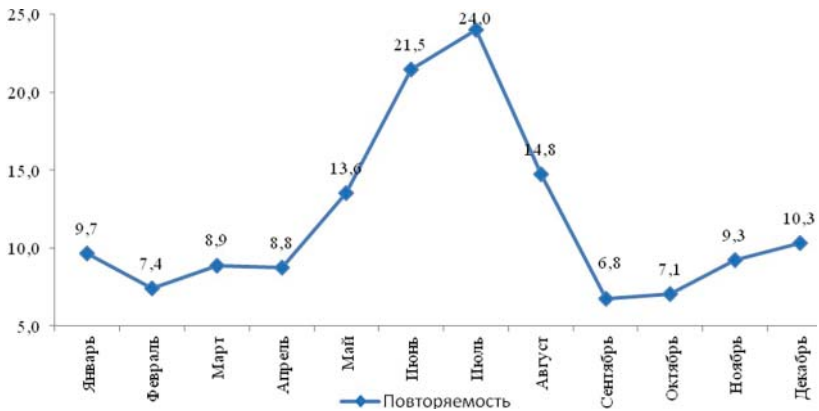


Рис. 4. Повторяемость числа случаев воздействия ОЯ на электроэнергетику по месяцам в 2004–2023 гг.

Из рис. 4 видно, что наибольшее количество воздействий условий погоды на электроэнергетику за последние 20 лет приходится на тёплые месяцы — с мая по август, причём пик наблюдается в июле (повторяемость числа случаев воздействий составляет 24,0). Немного отстают холодные месяцы — с ноября по март повторяемость воздействий варьируется от 7,4 до 10,3, при этом наибольшее число случаев приходится на декабрь (повторяемость числа случаев — 10,3). Надо отметить, что за последние 10 лет количество воздействия ОЯ и НГЯ на отрасль снизилось как в тёплые месяцы, так и в холодные по сравнению с предыдущим десятилетием.

Опасные и неблагоприятные гидрометеорологические явления, имеющие одинаковый характер воздействия на природу, а отсюда и схожий характер нанесённого ими ущерба, были распределены по группам явлений: Ветер; Снег; Дождь; Жара+Мороз; Природные пожары; Наводнения; Агрометеорология; Лавины, сели; Гидрология, КНЯ [4].

На рис. 5 продемонстрирован вклад каждой группы явлений в нанесённый ущерб электроэнергетике за последние 20 лет.

Как видно из рис. 5, наибольшие ущербы нанесли группы явлений: Ветер, Дождь и КНЯ.

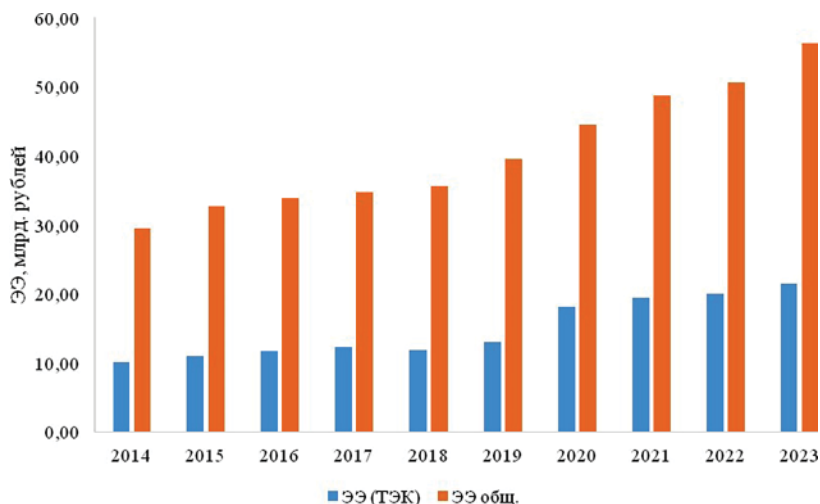


Рис. 5. Воздействия ОЯ и НГЯ на электроэнергетику по группам явлений в 2004–2023 гг.

Экономический эффект информационной деятельности организаций Росгидромета при обеспечении ТЭК

В разделе приведены данные по экономическому эффекту гидрометеорологического обеспечения ТЭК, которые поступают во ВНИИГМИ-МЦД из территориальных управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета (УГМС). Расчёт экономического эффекта в текущих ценах производится непосредственно потребителями гидрометинформации или УГМС и представляется в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» для анализа и обобщения.

На рис. 6 представлена динамика величины экономического эффекта для всех отраслей экономики и отдельно — для ТЭК. В статью не включены данные ЭЭ по Центральному УГМС. Это обусловлено тем, что, несмотря на достаточно низкое значение общего числа воздействия неблагоприятных условий погоды (повторяемость воздействия за 2004–2023 гг. по Центральному экономическому району составляет 49, в то время как по Северо-Кавказскому — 115), его экономическая составляющая существенно

превышает всех других как минимум в 3 раза и более (только по Москве и Московской области в 2021 году валовый региональный продукт составил 31,3 триллиона рублей).

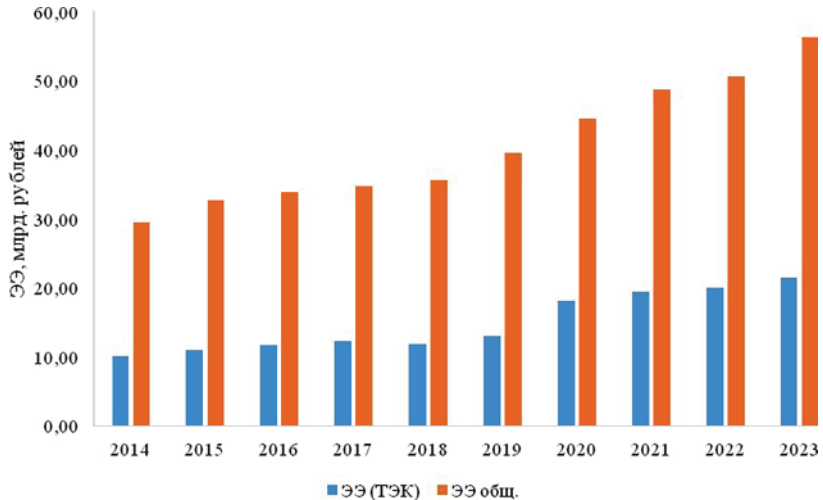


Рис. 6. Экономический эффект, полученный от использования гидрометеорологической информации (2014–2023 гг.)

Общий экономический эффект от использования гидрометеорологической информации за последнее десятилетие находился в диапазоне от 29,5 млрд рублей в 2014 году до 56,4 млрд в 2023 году. Суммарное значение экономического эффекта (по всем отраслям экономики) за последнее десятилетие равнялось 406,37 млрд рублей. Что касается динамики величины ЭЭ, то стабильный рост отмечается с 2018 по 2023 год: за этот период выявлен рост ЭЭ в 1,6 раза. За период с 2014 по 2017 год максимальное значение ЭЭ пришлось на 2015 год и составило 37,7 млрд рублей.

Доля ТЭК (производство и распределение электроэнергии, газа и воды) составила в среднем 36,6 % от общего значения ЭЭ. Для данной отрасли значения находились в диапазоне от 10,14 до 21,5 млрд рублей (суммарное за 10 лет — 149,62 млрд рублей).

Распределение ЭЭ за период с 2014 по 2023 год среди подотраслей ТЭК составило:

- для производства, передачи и распределения электроэнергии — 66 %;
- для производства, передачи и распределения газообразного топлива, пара и горячей воды (тепловой энергии) — 28 %;
- для сбора, очистки и распределения воды — 6 %.

Рис. 7 показывает динамику величины экономического эффекта от использования гидрометеорологической информации для всего ТЭК и его подотраслей. Из графика видно, что как для ТЭК в целом, так и для отдельных подотраслей наблюдается рост величины ЭЭ более чем в два раза за последнее десятилетие.



Рис. 7. ЭЭ от гидрометобеспечения ТЭК в целом и его подотраслей

С 2014 по 2023 год значение ЭЭ для электроэнергетики выросло в 2,7 раза. Наибольший рост ЭЭ наблюдался в 2020 году, когда он составил 13,53 млрд рублей, что было в 1,6 раза выше по сравнению с 2019 годом, когда величина ЭЭ составила 8,51 млрд рублей. Также стоит отметить некоторое снижение значения ЭЭ в 2018 году (до 7,8 млрд рублей).

За период с 2014 по 2023 год наибольшее суммарное значение экономического эффекта для электроэнергетики показывают Северо-Кавказское, Мурманское, Среднесибирское и Приволжское УГМС. Для этих УГМС значение ЭЭ составило 21,8; 18,7; 7,75 и 7,05 млрд рублей соответственно. Отдельно можно выделить Крымское УГМС, которое показывает достаточно высокое значение ЭЭ (20,05 млрд рублей), несмотря на то, что расчёт проводится с 2019 года.

Высокие значения ЭЭ обусловлены как уязвимостью территорий к ОЯ (Северо-Кавказское и Мурманское УГМС), так и достаточно высоким уровнем производства электроэнергии (на территории Среднесибирского УГМС насчитывается 19 электростанций, среди которых крупнейшие — Красноярская ГЭС, Богучанская ГЭС, Курейская ГЭС и Усть-Хатайская ГЭС.

Наименьшие значения ЭЭ показывают такие УГМС, как:

- Якутское — 98,2 млн рублей;
- Забайкальское — 62,4 млн рублей;
- Башкирское — 56,8 млн рублей;
- Камчатское — 44,7 млн рублей;
- Чукотское — 17,8 млн рублей.

Заключение

В статье представлены данные об опасных явлениях, оказывающих воздействие на электроэнергетическую систему Российской Федерации, а также об экономическом эффекте от использования гидрометеорологической информации для электроэнергетики.

Показано, что повторяемость ОЯ, воздействующих на электроэнергетическую систему РФ, в целом несколько снизилась за последние 20 лет (с 2004 по 2023 год). Однако при изучении сезонных изменений повторяемости ОЯ выявлено, что максимальных значений она достигает в период с мая по август. За исследуемый период наибольший ущерб электроэнергетике нанесли такие группы явлений, как Дождь, Ветер и КНЯ.

Отмечается рост величины экономического эффекта более чем в два раза за последнее десятилетие как для ТЭК в целом, так и отрасли «Производство и распределение электроэнергии».

Следует отметить существенное увеличение ЭЭ от гидрометеорологического обеспечения электроэнергетики в 2020 году.

Самые высокие значения ЭЭ показывают УГМС, наиболее уязвимые к ОЯ и с высоким уровнем экономического развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вестник экономики Евразийского союза*. URL: <https://eurasianmagazine.ru/news/aleksandr-novak-dolya-toplivno-energeticheskogo-kompleksa-v-vvp-rossii-prevyshaet-27/>/(дата последнего обращения: 08.04.2024).
2. *Рекомендации по сбору, ведению и хранению сведений об опасных природных явлениях*. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Росгидромет. 04 мая 2009 года.
3. *РД 52.04.563–2013*. Инструкция по подготовке и передаче штормовых сообщений наблюдательными подразделениями. Спб., 2013.
4. *Шамин С.И.* Структура и содержание базы сведений об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях, нанёсших материальный и социальный ущерб // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 182. С. 144–158.
5. *Бедрицкий А.И., Коршунов А.А., Шаймарданов М.З.* Базы данных об опасных гидрометеорологических явлениях на территории России и результаты статистического анализа // Метеорология и гидрология. 2009. № 11. С. 5–15.
6. *Бедрицкий А.И., Коршунов А.А., Шаймарданов М.З.* Влияние опасных гидрометеорологических явлений на устойчивое развитие экономики России // Метеорология и гидрология. 2017. № 7. С. 59–67.
7. *Коршунов А.А., Рыбанова А.Ю., Фокичева А.А., Шаймарданов М.З.* Анализ интенсивности воздействия опасных условий погоды на социально-экономическую систему // Учёные записки РГГМУ. 2018. № 53. С. 18–33.
8. *Рыбанова А.Ю., Шамин С.И.* Частота воздействия опасных гидрометеорологических явлений на экономику и население Российской Федерации за 1991–2020 годы // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 189. С. 93–102.

УДК 551.465.7

МУССОННАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ В ИНДИЙСКОМ ОКЕАНЕ И ЭЛЬ-НИНЬО — ЮЖНОЕ КОЛЕБАНИЕ

Н.А. Вязилова

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
nav@meteo.ru*

Введение

Эль-Ниньо — Южное Колебание (ЭНЮК) — наиболее яркий пример глобальных климатических аномалий в системе океан – атмосфера. В исследовании природы явления наибольший интерес представляют физические механизмы, приводящие к переходам от тёплой фазы ЭНЮК (Эль-Ниньо) к холодной (Ла-Нинья), и наоборот. Несмотря на пристальное внимание к этому вопросу учёных различных стран, вопрос перехода от события одного знака к другому до сих пор остаётся наиболее проблематичным. Несмотря на значительное количество работ, посвящённых изучению ЭНЮК в экваториальном регионе Тихого океана, в большинстве эмпирических исследований основное внимание уделено развитию тёплой фазы ЭНЮК (Эль-Ниньо) и значительно меньше изучены особенности аномалий крупномасштабной циркуляции в период развития холодной фазы (Ла-Нинья).

К важнейшим факторам, способным оказывать влияние на характер и интенсивность развития аномалий в Тихом океане, в том числе на развитие ЭНЮК, относится муссонная циркуляция в тропиках Индийского океана. Особенностью развития климатической системы в тропиках Тихого и Индийского океанов является постоянное зональное смещение аномалий приземных параметров с запада на восток, из Индийского океана — в регион Тихого. Согласно исследованиям [1–6], в Индийском океане в полях приземного давления воздуха, скорости и направления ветра, температуры поверхности океана и атмосферных осадков проявляется только двухгодичная изменчивость, но экстремумы

двухгодичной изменчивости совпадают с фазами развития ЭНЮК. В связи с этим некоторыми исследователями справедливо высказана гипотеза о том, что именно Индийский океан играет фундаментальную роль в развитии двухгодичной изменчивости, проявляющейся в западной части Тихого океана. В межгодовой изменчивости приземных параметров в экваториальном регионе Тихого океана, согласно [7, 8] и др., основной является мода в 4–6 лет. В развитии низкочастотных флуктуаций ЭНЮК роль Индийского океана до сих пор не ясна.

В исследованиях взаимосвязи крупномасштабной муссонной циркуляции, развивающейся в регионе Индийского океана, и ЭНЮК — в Тихом океане, основное внимание уделялось изучению зависимости интенсивности летних осадков над Индией с развитием тёплой и холодной фазы ЭНЮК. Было отмечено, что в годы с Эль-Ниньо наблюдается тенденция к ослаблению осадков над Индией, в годы с Ла-Нинья — к их усилению [9–12]. Однако корреляционная связь между количеством осадков над Индией и аномалиями ТПО в экваториальном регионе Тихого океана статистически более подтверждена для лет с развитием тёплой фазы, чем холодной. Несмотря на большое количество исследований, как эмпирических, так и модельных, до сих пор не получено ясной картины влияния ЭНЮК на муссонные осадки над Индией. В ряде работ высказано предположение, что это влияние может быть как прямым, так и косвенным. Прямое влияние заключается в смещении к востоку основных зон осадков. И такое влияние наиболее явно проявляется в западной части Тихого океана. В Индийском океане влияние ЭНЮК неоднозначно и проявляется через сложный комплекс, в настоящее время ещё недостаточно изученного, взаимодействия океана и атмосферы, включающего изменение ТПО, циркуляции ветра, переноса влаги в нижнем слое атмосферы.

Многочисленные исследования показали, что кульминация аномалий ТПО в годы с Эль-Ниньо и Ла-Нинья в Тихом океане наблюдается в зимние месяцы после соответствующего летнего сезона индийского муссона. Ряд исследователей [4, 5, 13, 14] рассматривают летний индийский муссон в качестве активного фактора в развитии аномалий в тропическом регионе Индийского

и Тихого океанов. В работах Мила [4, 5], Ясунари [13], Лау [14] основное внимание уделено приземному полю давления, температуре поверхности океана и интенсивности сезонного максимума конвекции в течение годового цикла. Мил [5] предложил схему квазидвухгодичного развития и взаимодействия аномалий интенсивности максимума конвекции и температуры поверхности океана в тропическом регионе Индийского и западной части Тихого океана в течение годового цикла, выделив в этом взаимодействии роль океана. Однако эта схема не даёт полного ответа на вопрос, каким же образом связаны аномалии летней муссонной циркуляции с аномалиями ЭНЮК в центральной части Тихого океана, которое, как известно, развивается не каждые два года, а имеет максимум изменчивости в 4–6 лет, в экваториальном регионе Тихого океана — к востоку от линии смены дат, и не только в океане, но и в атмосфере.

Цель исследования состоит в том, чтобы показать основные особенности взаимодействия между муссонной циркуляцией Индийского океана и ЭНЮК в экстремальные годы, отличившиеся как развитием тёплой или холодной фазой ЭНЮК (Эль-Нинья и Ла-Нинья), так и экстремальным ослаблением или усилением летних осадков над Индией. Аномалии осадков над Индией характеризуют интенсивность летнего максимума конвекции.

Данные и метод исследования

Исследование основано на анализе композиционных средних значений аномалий ряда анализируемых параметров, рассчитанных для каждого календарного сезона годового цикла «сухих» и «влажных» лет. «Сухие» годы представляют выборку лет, отличившихся интенсивными отрицательными аномалиями осадков над Индией в летний сезон и развитием Эль-Ниньо в последующие месяцы. Выборка «влажных» лет включает годы с экстремальным количеством осадков над Индией и развитием Ла-Нинья. Отметим, что «сухие» и «влажные» эти годы для Индии. Исследование проведено для годового цикла, начиная от зимнего сезона, предшествующего аномальному летнему муссону (в статье обозначен как начальный), и до последующего зимнего сезона.

Для идентификации явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья был использован океанический индекс ЭНИЮК (Oceanic Nino Index — ONI), который рассчитывается как скользящее среднее за три месяца отклонение температуры поверхности океана от нормы в экваториальной части Тихого океана, в районе Ниньо 3.4, с координатами: 120° з.д. — 170° з.д., 5° с.ш. — 5° ю.ш. На сайте Климатического центра США представлена таблица значений океанического индекса ЭНИЮК, вычисленного по данным архива данных ТПО ERSST.v5 SST.

Эль-Ниньо — явление в экваториальной части Тихого океана (в районе Ниньо 3.4), характеризующееся положительным средним отклонением температуры поверхности океана от нормы на 0,5 °С и более в течение пяти последовательных месяцев.

Ла-Нинья — явление в экваториальной части Тихого океана (в районе Ниньо 3.4), характеризующееся отрицательным средним отклонением температуры поверхности океана от многолетнего значения на 0,5 °С и более в течение пяти последовательных месяцев.

Для характеристики интенсивности летнего индийского муссона были использованы оценки отклонений общего количества осадков над Индией за летний муссонный сезон — с июня по сентябрь — в процентах от многолетней нормы [11, 12], а в качестве порога для отбора лет — значение отклонения от многолетней нормы в 10 %. В выборку «сухих» лет (с ослабленным летним максимумом конвекции) вошли 1982, 1986, 1987, 2002, 2004, 2009, 2014, 2015 годы с интенсивными отрицательными отклонениями летних осадков над Индией и развитием Эль-Ниньо. В выборку «влажных» лет (с усиленным летним максимумом конвекции) были включены 1983, 1988, 2007, 2020 годы с положительными отклонениями осадков и развитием Ла-Нинья.

Список параметров включает:

- среднемесячные аномалии температуры поверхности океана (ТПО), рассчитываемые на основе данных архива (NOAA Extended SST V5) [15];
- среднемесячные аномалии атмосферных осадков, рассчитываемые на основе данных архива Arkin-Xie Precipitation STD (СМАР) [16];

- среднемесячные аномалии функции тока (StreamF) и потенциала скорости на изобарических поверхностях в верхней и нижней тропосфере (V_p), характеризующие динамические характеристики циркуляции в атмосфере и рассчитываемые на основе среднемесячных составляющих скорости ветра, данных реанализа NCEP/NCAR.

Все среднемесячные аномалии рассчитаны относительно климатических средних значений за период 1991–2020 гг.

Функция тока является комплексным параметром, отражающим вихревую составляющую циркуляции атмосферы в горизонтальной плоскости, и позволяет определить локализацию основных центров действия тропической атмосферы и направления ведущих потоков в тропосфере [17]. Следует отметить, что положительные аномалии функции тока в Северном полушарии означают усиление антициклонической (ослабление циклонической) циркуляции, а в Южном — усиление циклонической циркуляции (ослабление антициклонической). Отрицательные аномалии функции тока, наоборот, в Северном полушарии означают усиление циклонической циркуляции (ослабление антициклонической), а в Южном — усиление антициклонической циркуляции (ослабление циклонической).

Потенциалом скорости называется скалярная функция φ , градиент которой равен вектору скорости потока [17]:

$$V_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad V_y = -\frac{\partial \varphi}{\partial y}, \quad V_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z}.$$

Лапласиан потенциала скорости равен дивергенции соответствующего потока, в случае плоского движения — горизонтальной дивергенции потока. Величина потенциала скорости представляет собой решение уравнения Лапласа. Потенциал скорости определяет дивергентную составляющую атмосферной циркуляции и позволяет детально исследовать интенсивность и пространственную локализацию вертикальных ячеек циркуляции тропической атмосферы, которые являются важными звеньями циркуляционного механизма в тропиках. Положительные аномалии потенциала скорости соответствуют отрицательной

дивергенции (то есть конвергенции) или сходимости потока на рассматриваемой поверхности тропосферы, отрицательные аномалии потенциала скорости указывают на дивергенцию (расходимость) потока. Положительные аномалии потенциала скорости в верхней тропосфере и отрицательные аномалии в нижней тропосфере означают ослабление восходящей ветви или аномальное усиление нисходящей ветви вертикальной ячейки циркуляции в выбранном районе. В районах с отрицательными аномалиями потенциала скорости в верхней тропосфере и положительными аномалиями в нижней тропосфере наблюдается усиление восходящей ветви или ослабление нисходящей ветви вертикальной ячейки циркуляции.

Для всех перечисленных параметров были построены карты пространственного распределения композиционных средних аномалий для каждого сезона годового цикла «сухих» и «влажных» лет с использованием сервиса NOAA Physical Sciences Laboratory.

Особенности сценария развития аномалий в течение годового цикла «сухих» лет

Начальный зимний сезон. В начальный зимний сезон «сухих» лет в районах многолетнего положения ВЗК в районе Северной Австралии и западной части Тихого океана, как к северу, так и к югу от экватора, формируются положительные аномалии ТПО (рис. 1), наблюдаются положительные аномалии атмосферных осадков (рис. 2). Усиление конвекции сопровождается усилением интенсивности восходящей ветви вертикальной циркуляции в этих районах. Это подтверждается формированием отрицательных аномалий потенциала скорости дивергентного ветра в верхней тропосфере со значениями более $-3 \cdot 10^6 \text{ м}^2 \cdot \text{с}$ (рисунок не приводится). Важной особенностью начального зимнего сезона является сохранение в экваториальном регионе Индийского океана западного переноса в нижней тропосфере и восточного переноса — в верхней, а над акваторией Тихого океана — пассатного переноса в нижних слоях тропосферы и западного — в верхней тропосфере (рис. 3). В экваториальном районе океанов — в восточной части

Тихого океана и западной части Индийского — наблюдаются невысокие — $-0,5^{\circ}\text{C}$ — отрицательные аномалии ТПО.

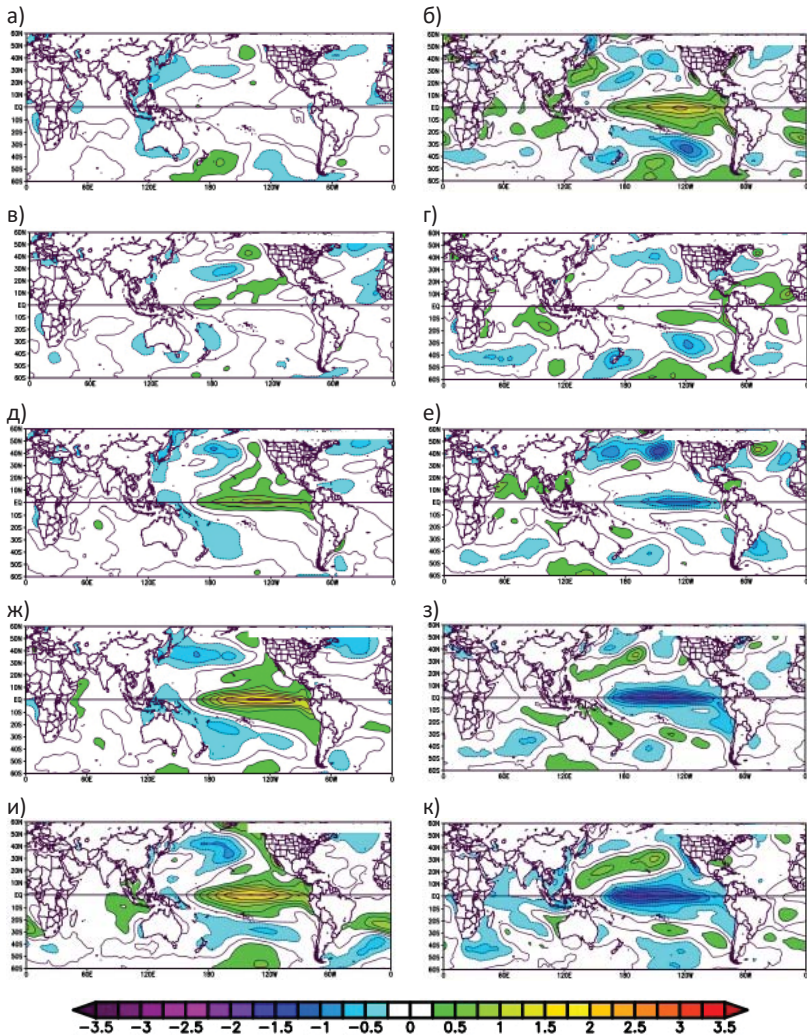


Рис. 1. Композитные аномалии температуры поверхности океана ($^{\circ}\text{C}$), средние за сезон, для «сухих» (а, в, д, ж, и) и «влажных» (б, г, е, з, к) лет: начальный зимний сезон (а, б), весенний (в, г), летний (д, е), осенний (ж, з) и последующий зимний сезон (и, к).

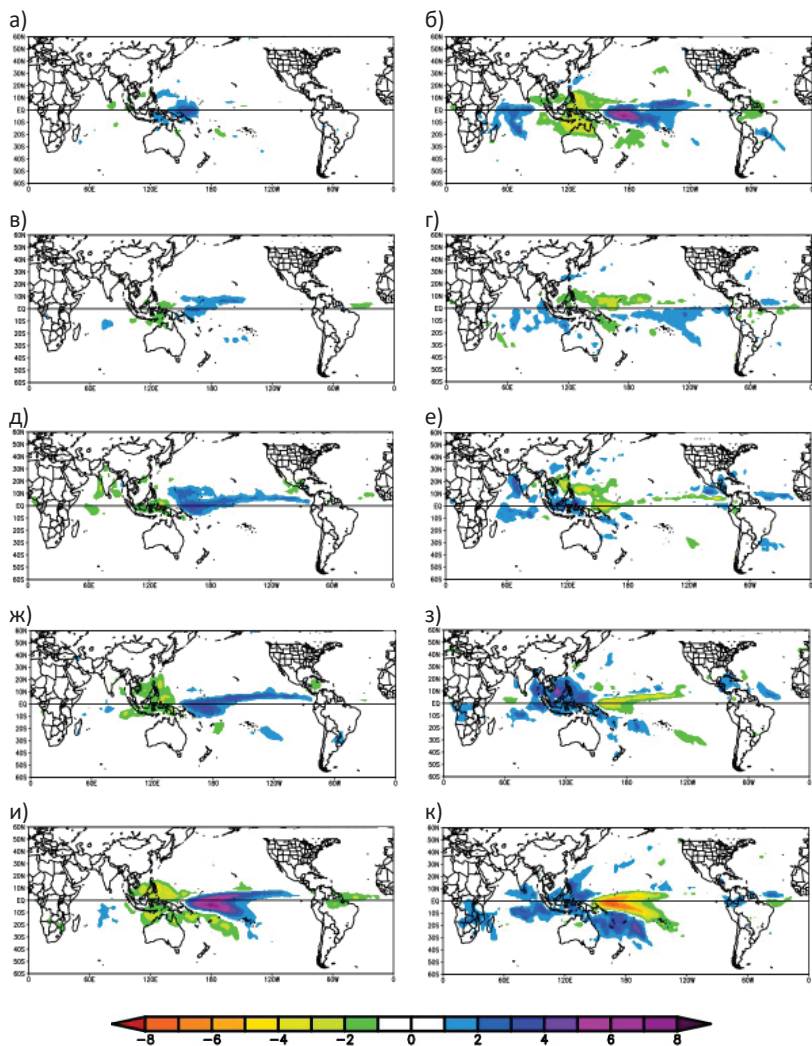


Рис. 2. Композитные аномалии атмосферных осадков (в $\text{мм}\cdot\text{сут}^{-1}$), средние за сезон, для «сухих» (а, в, д, ж, и) и «влажных» (б, г, е, з, к) лет: начальный зимний сезон (а, б), весенний (в, г), летний (д, е), осенний (ж, з) и последующий зимний сезон (и, к).

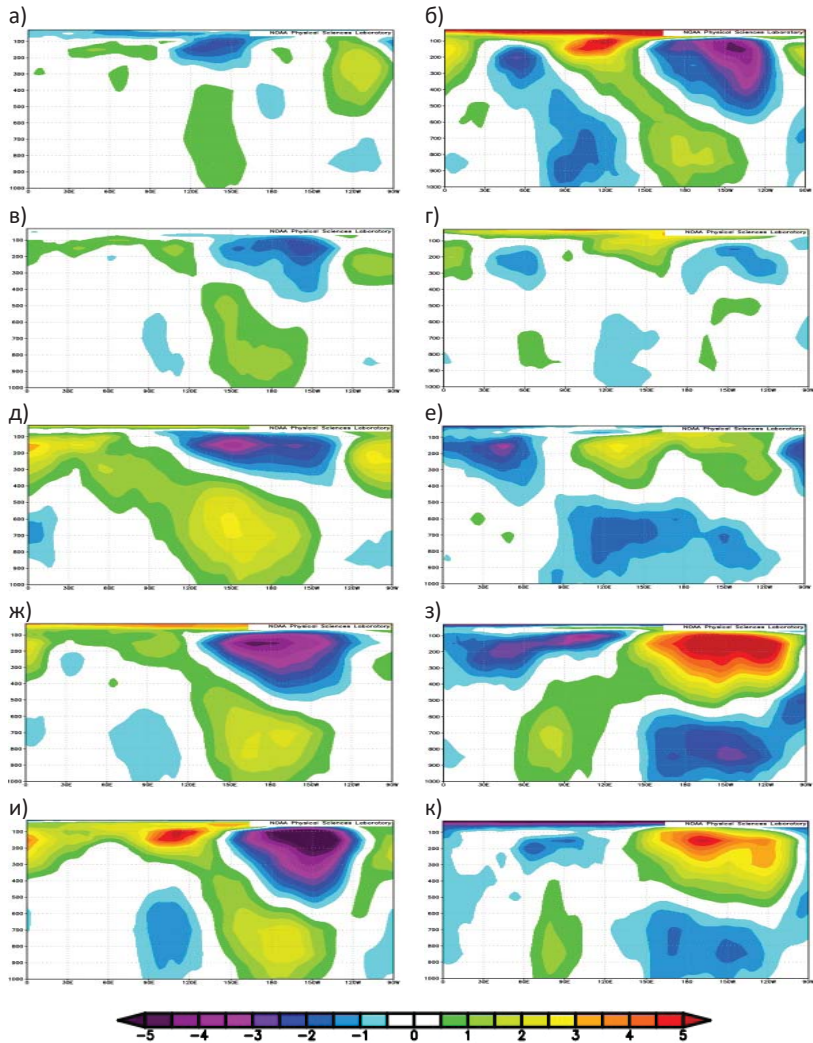


Рис. 3. Композитные аномалии зональной скорости ветра (в $\text{м}\cdot\text{сек}^{-1}$), осреднённые в полосе широт (10° ю.ш.– 10° с.ш.), для разных сезонов «сухих» (а, в, д, ж, и) и «влажных» (б, г, е, з, к) лет: начального зимнего сезона (а, б), весеннего (в, г), летнего (д, е), осеннего (ж, з) и последующего зимнего сезона (и, к).

Весенний сезон. В весенний сезон над акваторией Тихого океана формируется аномальная зональная ячейка циркуляции с ослаблением скорости западного переноса в верхней тропосфере и скорости восточного переноса — пассата — в нижних слоях тропосферы (рис. 3). Ослабление пассата в западной части экваториального района Тихого океана способствует смещению конвекции и восходящей ветви вертикальной циркуляции в весенние месяцы не в район Индонезии и на п-ов Малайзия, в район многолетнего положения ВЗК в данный сезон годового цикла, а в центральную часть Тихого океана, к востоку от линии смены дат (рис. 2). Это смещение сопровождается формированием в данном экваториальном районе океана положительных аномалий температуры поверхности океана (рис. 1). Над бассейном Индийского океана также формируется аномальная зональная ячейка циркуляции с ослаблением скорости западного переноса в нижнем слое тропосферы и скорости восточного переноса в верхней тропосфере. В западной части экваториального региона Индийского океана, так же, как и в центральном районе Тихого океана, в весенний сезон сухих лет формируются положительные аномалии ТПО, наблюдается усиление конвекции, формируется область отрицательных аномалий потенциала скорости дивергентного ветра в верхней тропосфере, то есть восходящая ветвь вертикальной циркуляции. В то же время в регионе Индонезии отмечается ослабление конвекции и интенсивности восходящей ветви вертикальной циркуляции (положительные аномалии параметров).

Следует отметить формирование обширной зоны отрицательных аномалий ТПО, которая распространяется от архипелага Индонезия в юго-западную часть Тихого океана, район многолетнего положения Южно-тропической зоны конвергенции, и которая сохраняется здесь все дальнейшие сезоны годового цикла.

Летний сезон. В экваториальном регионе Тихого океана положительные аномалии ТПО распространяются из восточной части океана к западу до линии смены дат, их значения увеличиваются до 1 °С. Область конвекции расширяется и также смещается к линии смены дат — увеличивается область положительных аномалий атмосферных осадков и их интенсивность. Основным характер

циркуляции над акваторией Тихого океана, сформированный в весенние месяцы, сохраняется, но интенсивность аномалий усиливается. В западной и центральной частях экваториального района Тихого океана наблюдается дальнейшее ослабление пассатного переноса в нижней тропосфере (максимальные аномалии скорости зонального переноса в нижней тропосфере достигают $2 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$), и западного переноса в верхней тропосфере, где значения отрицательных аномалий по абсолютной величине превышают $4 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$.

Максимальные отрицательные аномалии потенциала скорости дивергентного ветра — до $-5 \cdot 10^6 \text{ м}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$ — наблюдаются в центральной части океана, от 140° з.д. до 180° з.д., в районе максимального усиления конвекции. В регионе Индийского океана наблюдается две области ослабления конвекции: над полуостровом Индостан, в районе многолетнего положения ВЗК, а также над Индонезией. В поле аномалий потенциала скорости дивергентного ветра область положительных аномалий распространяется и на район Индонезии, и на п-ов Индостан, где и отмечено ослабление восходящих ячеек циркуляции. Над бассейном Индийского океана в летний сезон, кроме аномальной зональной ячейки циркуляции, с ослаблением западного переноса в нижней тропосфере, формируется также и аномальная меридиональная ячейка циркуляции с усилением восходящих движений в экваториальном районе океана и ослаблением над полуостровом Индостан, с ослаблением южного переноса вдоль восточного берега Африки в нижней тропосфере и его усилением — в верхних слоях тропосферы. Ослаблению и западного, и южного переноса, основных источников влаги для летнего индийского муссона, способствует формирование положительных аномалий ТПО в западной части океана, ослабляющих температурный градиент между океаном и континентом.

Осенний сезон. В экваториальном регионе Тихого океана положительные аномалии ТПО возрастают до 2°С и наблюдаются в восточной части океана в полосе долгот от 90° з.д. до 130° з.д. В этом же районе в верхней тропосфере на поверхности 200 гПа усиливается до $-6 \cdot 10^6 \text{ м}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$ интенсивность отрицательных

аномалий потенциала скорости дивергентного ветра, что подтверждает расположение в данном районе восходящей ячейки циркуляции. Наблюдается дальнейшее усиление отрицательных аномалий зонального переноса в верхней тропосфере, где их значения достигают $-6 \text{ м}\cdot\text{сек}^{-1}$. В регионе Индонезии наблюдается дальнейшее ослабление и восходящей ячейки циркуляции, и конвекции. Максимальное ослабление конвекции отмечено в восточной части экваториального района Индийского океана, где наблюдаются интенсивные отрицательные аномалии осадков. В западной же части океана и на побережье Восточной Африки происходит дальнейшее усиление конвекции и восходящей ячейки циркуляции, которое сопровождается усилением восточного переноса в нижней тропосфере экваториального района океана. Интенсивное ослабление и скорости западного переноса в экваториальном районе Индийского океана, и скорости пассатного переноса над акваторией Тихого океана способствует интенсивному ослаблению притока влаги в район Индонезии и усилению здесь сухой зоны в осенний сезон, сезон многолетнего положения здесь максимума конвекции.

Последующий зимний сезон. Аномалии ТПО со значениями $1,5-2 \text{ }^\circ\text{C}$ распространяются на большую часть экваториального района Тихого океана, от 90° з.д. до линии смены дат. Максимальное усиление конвекции, как и в осенний сезон, наблюдается в центральном районе Тихого океана в полосе долгот от 140° з.д. до 170° з.д. Важнейшей особенностью этого зимнего сезона является также максимальное ослабление скорости западного переноса в верхней тропосфере над Тихим океаном более чем на $6 \text{ м}\cdot\text{сек}^{-1}$, связанное с ослаблением в этом районе циклонической циркуляции. Карты аномалий функции тока демонстрируют антициклонические аномалии циркуляции в центральном районе Тихого океана на поверхности 200 гПа, которые по абсолютной величине превышают $6\cdot 10^6 \text{ м}^2\cdot\text{сек}^{-1}$ как к северу, так и к югу от экватора. Над Северной Австралией и западной частью Тихого океана, в районах многолетнего положения ВЗК, формируются области интенсивного ослабления конвекции.

В качестве важной особенности «сухих» лет можно отметить более слабую интенсивность аномалий (и циркуляции, и ТПО, и конвекции) в экваториальном регионе Индийского океана по сравнению с экваториальным регионом Тихого океана, которая наблюдается во все сезоны годового цикла. В качестве другой важной особенности можно отметить сдвиг области максимального усиления осадков (области усиления конвекции) в районе Тихого океана к западу относительно области максимальных положительных аномалий ТПО более чем на 30–40° долготы. Это смещение области усиленной конвекции, наблюдаемое практически в течение всего годового цикла «сухих» лет, означает, что не всегда и не везде в тропиках Мирового океана усиление осадков и конвекции, как и их ослабление, регулируется температурой поверхности океана, роль которой подчёркивал Мил [5].

Особенности сценария развития аномалий во «влажные» годы

Начальный зимний сезон. В начальный зимний сезон «влажных» лет в экваториальном районе Тихого океана, восточнее 150° з.д., наблюдаются положительные аномалии ТПО менее 1 °С. В западной и центральной частях экваториального района океана сохраняется область положительных аномалий осадков (усиление конвекции), а над Индонезией и Северной Австралией — положительных аномалий (ослабление конвекции).

Весенний сезон. В экваториальной части Тихого океана положительные аномалии ТПО ослабляются, одновременно, в юго-восточной части Тихого океана, восточнее 150° з.д., появляются отрицательные аномалии ТПО со значениями от -0,5 до -1 °С. Интенсивность конвекции в западном районе Тихого океана существенно ослабляется. Важнейшей особенностью весеннего сезона «влажных» лет является усиление пассатного переноса над всей акваторией Тихого океана, которое проявляется не только в увеличении скорости восточного переноса, но и в значительном увеличении вертикальной протяжённости отрицательных аномалий до уровня 300 мбар (рис. 3г). В экваториальном регионе Индийского океана наблюдается усиление скорости как западного

переноса в нижней тропосфере, так и скорости восточного переноса в верхней тропосфере. В западной части экваториального района Индийского океана и в районе Индонезии — районе весеннего максимума конвекции — наблюдается её усиление (положительные аномалии осадков). В поле аномалий потенциала скорости дивергентного ветра зона отрицательных аномалий со значениями до $-3 \cdot 10^6 \text{ м}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$, соответствующая усилению интенсивности восходящей ячейки циркуляции, наблюдается в районе Индонезии, Малайзии и прилегающей акватории океанов, районе многолетнего положения ВЗК. Таким образом, в весенний сезон «влажных» лет наблюдается не просто восстановление нормальных ячеек циркуляции как над Тихим, так и над Индийским океанами, но и значительное усиление их интенсивности.

Летний сезон. В летний сезон влажных лет интенсивность аномалий в экваториальном регионе океанов нарастает. В экваториальном районе Тихого океана отрицательные аномалии ТПО распространяются до линии смены дат, однако их максимальные абсолютные значения ($-1,5 \text{ }^\circ\text{C}$) наблюдались в восточной части экваториального района океана, восточнее 150° з.д. Область же максимального ослабления конвекции (отрицательных аномалий осадков) располагалась значительно западнее, восточнее линии смены дат. Летний сезон отличается дальнейшим усилением пассата и продвижением восточных аномалий переноса в район Индонезии и Индийского океана. В регионе Индийского океана наблюдается значительное усиление циркуляции. В поле потенциала скорости дивергентного ветра наблюдалось распространение зоны отрицательных аномалий на западную часть Тихого океана, Индонезию и на весь тропический регион Индийского океана как к северу, так и к югу от экватора. Это свидетельствует о значительном усилении интенсивности вертикальной циркуляции как в районе Индии, так и в районе Индонезии. И над Индией, и над Индонезией наблюдалось усиление конвекции. Усиление циркуляции проявляется как в зональной, так и меридиональной ячейках. В западной части Индийского океана наблюдалось усиление скорости западного переноса в нижней тропосфере на $1,5 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$, скорости восточного переноса — в верхней тропосфере — более

чем на $5 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$. Согласно картам функции тока, усиление аномалий в зональной ячейке циркуляции в регионе Индийского океана наблюдается на фоне интенсивного усиления антициклонического характера циркуляции в верхней тропосфере — как к северу, так и к югу от экватора значения антициклонических аномалий циркуляции на поверхности 200 гПа достигают $15 \cdot 10^6 \text{ м}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$. Усиление скорости западного переноса сопровождалось также усилением скорости южного переноса в нижней тропосфере вдоль восточного берега Африки. Усилению и западного, и южного переноса способствует формирование отрицательных аномалий ТПО в западной части океана, усиливающих температурный градиент между океаном и континентом.

Осенний сезон. Во всём экваториальном районе Тихого океана, к востоку от линии смены дат отрицательные аномалии ТПО усиливаются до $-2 \text{ }^\circ\text{C}$. Область максимального ослабления конвекции и осадков расположена в западной и центральной частях экваториального района Тихого океана. В поле зонального переноса (рис. 3) максимальные аномалии скорости переноса, как в нижней, так и верхней тропосфере, наблюдаются в центральной части океана: аномалии пассатного переноса в нижней тропосфере усиливаются до $4 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$ по сравнению с многолетними значениями, а скорость западного переноса в верхней тропосфере возрастает на $5\text{--}8 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$. Согласно картам аномалий функции тока, усиление скорости переноса отмечено на фоне формирования областей циклонических аномалий в верхней тропосфере как к северу, так и к югу от экватора. В регионе Индонезии и прилегающей акватории Тихого океана — районах многолетнего положения ВЗК — наблюдается усиление и конвекции, и интенсивности восходящей ячейки циркуляции (отрицательные аномалии потенциала скорости дивергентного ветра достигают $7 \cdot 10^6 \text{ м}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$). Однако максимальные положительные аномалии ТПО в данном районе невысокие — всего $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. В экваториальном районе Индийского океана возрастает интенсивность зональной циркуляции: увеличиваются положительные аномалии скорости западного переноса в нижней тропосфере и отрицательные аномалии зонального (восточного) переноса в верхней тропосфере.

Интенсивный западный перенос с акватории Индийского океана и восточный — с акватории Тихого океана обеспечивают усиление притока влаги в район Индонезии, район многолетнего положения ВЗК в данный сезон.

Последующий зимний сезон. Отрицательные аномалии ТПО распространяются во всём экваториальном районе Тихого океана, при этом максимальные значения аномалий — до $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ — наблюдаются в центральном районе океана. Область максимального ослабления осадков расположена в западной части экваториального района океана. В поле циркуляции в экваториальном районе Тихого океана отмечено и ослабление пассата в нижней тропосфере, и ослабление скорости западного переноса в верхней тропосфере по сравнению с предыдущим сезоном. В бассейне Индийского океана отрицательные аномалии ТПО со значениями более $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ распространяются на всю тропическую акваторию океана, к северу и к югу от экватора; характер циркуляции сохраняется, но интенсивность аномалий ослабевает. В то же время в районах многолетнего положения ВЗК — в районе Индонезии и в западной части Тихого океана к северу и югу от экватора — формируются зоны интенсивного усиления конвекции (положительные аномалии осадков). Здесь же отмечено и усиление восходящей ячейки циркуляции (отрицательные аномалии потенциала скорости дивергентного ветра).

В качестве важнейших особенностей «влажных» лет можно выделить экстремальное усиление пассатного переноса в нижней тропосфере и западного переноса — в верхней тропосфере над экваториальным районом Тихого океана в течение всего годового цикла, а также формирование интенсивного западного переноса в нижней тропосфере в районе Индийского океана в осенний и последующий зимний сезон.

Общие особенности сценариев развития аномалий в течение годового цикла с ослабленным и усиленным летним максимумом конвекции

На основе обобщения карт анализируемых параметров для каждого сезона годового цикла с ослабленным и усиленным

летним максимумом конвекции (летним индийским муссоном) были построены обобщённые схемы развития аномалий (рис. 4).

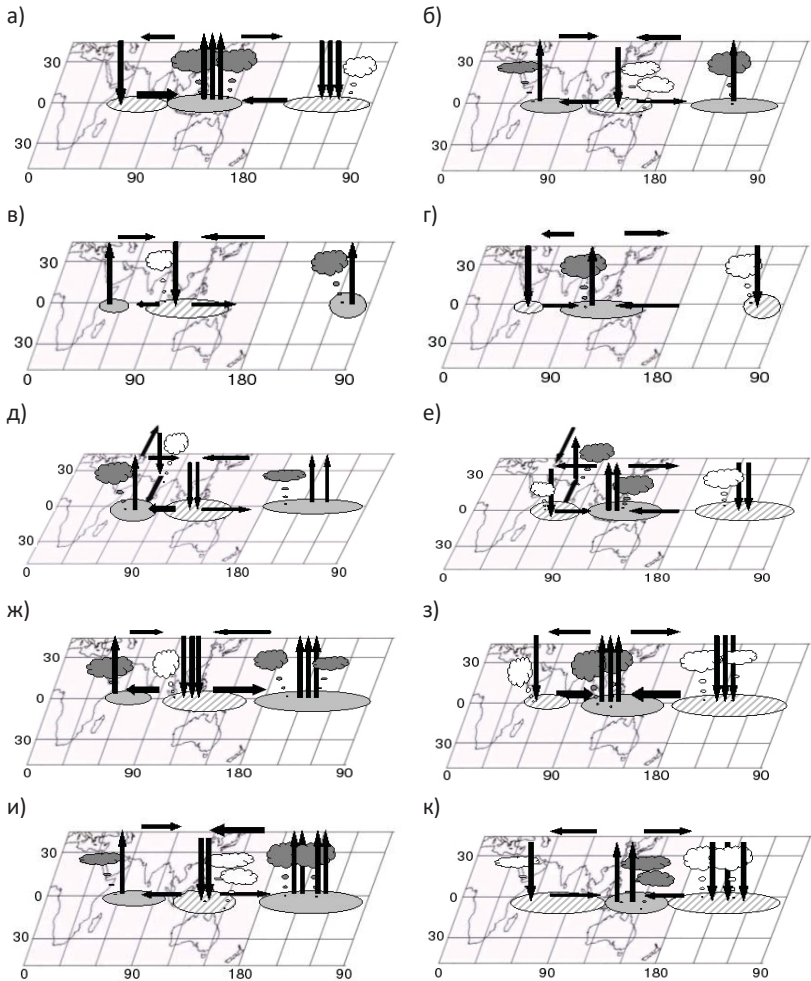


Рис. 4. Общий сценарий развития аномалий в системе океан – атмосфера в тропиках Индийского и Тихого океанов в годы с Эль-Ниньо и ослаблением летнего максимума конвекции (а, в, д, ж, и), и годы с Ла-Нинья и усилением летнего максимума конвекции (б, г, е, з, к) — от начального зимнего сезона до последующего зимнего сезона.

Следует отметить, что данные схемы — упрощённые, не отражают сезонного зонального смещения циркуляционных ветровых систем, но, тем не менее, они дают общее представление о характере развития аномалий циркуляции и крупномасштабного влагообмена в экваториальном регионе Индийского и Тихого океанов. На схемах для каждого календарного сезона показано положение положительных и отрицательных аномалий температуры поверхности океана; областей усиления и ослабления конвекции — соответственно, отрицательных и положительных аномалий уходящей длинноволновой радиации; горизонтальные стрелки показывают аномалии в направлении и интенсивности переноса в нижней и верхней тропосфере; вертикальные — отражают аномалии вертикальных ячеек циркуляции.

Построенные обобщённые схемы показывают:

1. Картина пространственного распределения аномалий в тропическом регионе Индийского и Тихого океанов в течение годового цикла от одного зимнего сезона к другому практически изменяется на противоположную, как в годы с ослабленным, так и в годы с усиленным летним максимумом конвекции (летним индийским муссоном). Эта общая важнейшая особенность сценария развития аномалий даёт основание не только предполагать существование тропосферного двухгодичного колебания в тропическом регионе Индийского и Тихого океанов, но и, действительно, подчеркнуть его важнейшую роль во взаимосвязи между муссонной циркуляцией в Индийском океане и развитием ЭНЮК в Тихом океане.

Полученный результат совпадает с выводами авторов эмпирических исследований, проведённых с использованием различных методов анализа на основе станционных данных [18–21 и др.], о взаимосвязи тёплой и холодной фаз ЭНЮК, выраженной в том, что в период кульминации тёплой фазы на западе Тихого океана формируются условия для развития крупномасштабной циркуляции, соответствующей холодной фазе ЭНЮК. Однако развитие Ла-Нинья в действительности редко следует сразу же за развитием Эль-Ниньо, и наоборот.

2. И в годы с ослабленным летним индийским муссоном, и в годы его усиления в результате аномального взаимодействия двух крупнейших циркуляционных систем в тропиках — пассатной и муссонной, над экваториальным районом Индийского и Тихого океанов формируются две аномальные зональные ячейки циркуляции: одна над Тихим океаном, вторая — над Индийским океаном, с общим звеном — над ключевым районом — Индонезией.

Аномалии циркуляции, развивающиеся над Тихим и Индийским океанами взаимосвязаны. С одной стороны, эти аномалии создают условия для формирования аномальных областей ТПО, конвекции и осадков в центральном районе Тихого океана, районе развития ЭНЮК, а с другой — обеспечивают условия для формирования аномалий ТПО и конвекции в бассейне Индийского океана и в районе Индонезии.

3. Основной характер аномалий крупномасштабной циркуляции и в сухие, и во влажные годы формируется в тропическом регионе и Тихого, и Индийского океанов в весенние месяцы, то есть перед летним, аномальным для Индии, сезоном, и затем сохраняется до конца годового цикла.

4. В бассейне Индийского и западной части Тихого океана в каждый сезон максимальные аномалии конвекции наблюдаются именно в том районе, где в данный сезон должна находиться ВЗК: летом над полуостровом Индостан, в весенний и осенний сезон — над Индонезией, в зимний период — над западной акваторией Тихого океана. В «сухие» годы в этих районах, начиная с весеннего сезона, отмечено ослабление конвекции по сравнению с многолетними значениями, а в период влажных лет, наоборот, её усиление.

5. Интенсивность аномалий в экваториальном районе Тихого океана (циркуляции, ТПО, осадков и конвекции) в течение и «сухих», и «влажных» лет постепенно нарастает и достигает максимальных значений в осенний и зимний сезоны после аномального летнего сезона.

Почему в течение года происходит усиление аномалий в районе ЭНЮК, особенно значительное после летнего сезона? Проведённый анализ даёт основание подтвердить предположение, выдвинутое ещё в работах Барнетта [1] о важнейшей,

фундаментальной роли Индийского океана в развитии ЭНЮК. Аномалии в Индийском океане (осадков над Индией в летний сезон, а также осадков, ТПО и приземного ветра в экваториальном районе океана в летние и осенние месяцы) не только взаимосвязаны друг с другом, но своеобразным атмосферным «мостом» связаны с аномалиями в Тихом океане. Роль этого «моста» выполняет циркуляция в тропосфере, которая состоит из двух зональных ячеек с одной общей вертикальной ветвью над Индонезией. Характер аномалий, развивающихся в экваториальном районе Индийского океана (ТПО, конвекции, циркуляции), способствует не только формированию аномалий конвекции над Индией в летние месяцы и Индонезией — в осенний сезон, но и постепенному усилению аномалий в вертикальной ячейке циркуляции над Индонезией, а через неё и в зональной ячейке над Тихим океаном. Усиление же аномалий переноса в нижней тропосфере над западной акваторией Тихого океана обеспечивает усиление аномалий в поле ТПО и конвекции в центральной и восточной частях океана. Именно аномалиями циркуляции можно объяснить и феномен смещения ослабленного (усиленного) максимума конвекции и осадков в течение годового цикла.

Заключение

Аномалии крупномасштабной циркуляции являются важнейшим связующим звеном между летним индийским муссонном и развитием тёплых и холодных явлений ЭНЮК в Тихом океане, а также основой полученного обобщённого сценария развития аномалий климатической системы в тропиках Индийского и Тихого океанов. Важнейшей особенностью полученного сценария является изменение картины пространственного распределения аномалий всех исследуемых параметров в течение и «сухих», и «влажных» лет на противоположную. Эта особенность сценария даёт основание предполагать, что само развитие аномалий в атмосфере и океане создаёт условия для перехода ЭНЮК из одной фазы в другую.

Однако, несмотря на выделенную способность к формированию необходимых условий для смены фазы ЭНЮК, эта смена

происходит далеко не каждый год. Это означает, что, несмотря на доминирующую роль годового цикла смещения максимума конвекции (летнего индийского муссона), существует целый ряд факторов, совокупность воздействия которых и определяет характер развития аномалий в тропиках Тихого океана в каждый конкретный год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Barnett T.P.* Interaction of the Monsoon and Pacific Trade Wind System at Interannual Time Scales. Part II: The Tropical Band // *Mon. Wea. Rev.* 1984. V. 112. P. 2376–2388.
2. *Trenberth K.E., Stepaniak D.P., Caron J.M.* The Global Monsoon as Seen through the Divergent Atmospheric Circulation // *J. Climate.* 2000. V. 13. P. 3969–3993.
4. *Meehl G.A.* The annual cycle and interannual variability in the tropical Pacific and Indian Ocean regions // *Mon. Wea. Rev.* 1987. V. 115. P. 27–57.
5. *Meehl G.A.* The south Asian monsoon and the Tropospheric Biennial Oscillation // *J. Climate.* 1997. V. 10. P. 1921–1943.
6. *Kiladis G. N., van Loon H.* The Southern Oscillation Part VI: Meteorological anomalies over the Indian and Pacific sectors associated with the extremes of the oscillation // *Mon. Wea. Rev.* 1988. V. 116. P. 120–136.
7. *Ropelewski C.F., Halpert M.S., Wang X.* Observed Tropospheric Biennial Variability and Its Relationship to the Southern Oscillation // *J. Climate.* 1992. V. 5. P. 594–614.
8. *Torrence C., Webster P.J.* Interdecadal Changes in the ENSO-Monsoon System // *J. Climate.* 1999. V. 12. P. 2679–2690.
9. *Thapliyal V., Rajeevan M., Patil S.R.* Relationship between Indian summer monsoon rainfall and sea surface temperature anomalies over equatorial central and eastern Pacific // *Mausam.* 1998. V. 49. P. 229–234.
10. *Roy I., Tedeschi R.G., Collins M.* ENSO teleconnections to the Indian summer monsoon in observations and models // *Int. J. Climatol.* 2016. Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) doi: 10.1002/joc.4811.
11. *Kothawale D.R., Rajeevan M.* Monthly, Seasonal and Annual Rainfall Time Series for All-India Homogeneous Regions and Meteorological Subdivisions: 1871–2016 // ISSN 0252-1075 Contribution from IITM Research Report No. RR-138 ESSO/IITM/STCVP/SR/02, 2017, N 189.
12. *Darshana P., Chowdary J. S., Parekh A., Gnanaseelan C., Fousiya T.S., Vibhute A., Halder S., Singh P., Kakatkar R.* Unusual subseasonal variability of Indian summer monsoon rainfall in 2020 // *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* 2024;1–18. doi: 10.1002/qj.4675.

13. *Lau K.-M., Yang S.* The Asian monsoon and predictability of the tropical ocean – atmosphere system // *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* 1996. V. 122. P. 945–958.
14. *Yasunary T.* The monsoon year — A new concept of the climate year in the Tropics // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 1991. V. 72. P. 1331–1338.
15. *Huang B., P. Thorne P., Banzon V.F., Boyer T., Chepurin G., Lawrimore J.H., Menne M.J., Smith T.M., Vose R.S., Zhang H.-M.* Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, Version 5 (ERSSTv5): Upgrades, Validations, and Intercomparisons // *J. Climate.* 2017. V. 15. P. 8179–8205.
16. *Xie P., Arkin P.A.* // Global precipitation: a 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 1997. V. 78. P. 2539–2558.
17. *Палагин Э.Г., Славин И.А.* Основы гидромеханики: уч. пособие для метеорологов. Л.: ЛГМИ, 1974. 244 с.
18. *Rasmusson E.M., Carpenter T.H.* Variations in Tropical Sea Surface Temperatures and Surface Wind Fields Associated with the Southern Oscillation/El-Nino // *Mon. Wea. Rev.* 1982. V. 110. P. 354–384.
19. *Deser C., Wallace J.M.* Large-scale Atmosphere Circulation Features of Warm and Cold Episodes in the Tropical Pacific // *J. Climate.* 1990. V. 3. P. 1254–1281.
20. *Mitchell T.P., Wallace J.M.* ENSO Seasonality: 1950–1978 versus 1979–92. Part I // *J. Climate.* 1996. V. 9. P. 3149–3161.
21. *Wang C., Weisberg R.H., Virmani J.I.* Western Pacific interannual variability associated with the El Nino – Southern Oscillation // *J. Geophys. Res.* 1999. V. 104. P. 5131–5149.

УДК [556.166+551.577.61]:551.583 (470+571)

ПРОГНОЗНЫЕ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НАВОДНЕНИЙ В ПЕРИОД ПОЛОВОДЬЯ НА РЕКАХ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

Е.В. Гниломедов

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
evg@meteo.ru*

Введение

Территория региона имеет хорошо развитую речную сеть. Реки исследуемой территории впадают в Обскую губу и Тазовскую губу Карского моря. Крупнейшие реки ЯНАО — Обь, Надым, Пур и Таз. В нижнем течении Оби ярко выражена пойменная много-рукавность. Большая и Малая Обь соединяются многочисленными поперечными протоками. Вершина дельты Оби расположена ниже г. Салехард. Истоки рек Надым, Пур и Таз берут начало на склонах Сибирских Увалов. Болота занимают половину водосборных территорий рек Пур и Надым. Реки округа имеют широкие неглубокие долины, низкие берега и очень малые уклоны [1].

Водный режим рек характеризуется весенне-летним половодьем, летне-осенней меженью, прерываемой дождевыми паводками и устойчивой продолжительной зимней меженью. В питании принимают участие в основном талые снеговые воды, а также дождевые и подземные (грунтовые) воды. Половодье начинается в среднем в первой половине мая. Зимняя межень продолжается с ноября по апрель [2, 3]. Основной приток воды в русловую сеть в бассейнах рек ЯНАО формируется в период таяния снежного покрова на равнине с добавлением атмосферных осадков, а на некоторых реках — ещё и талых вод наледей, высокогорных снежников и ледников. Поэтому главной фазой водного режима рассматриваемых рек является весенне-летнее половодье [4].

Знание тенденций развития опасных и неблагоприятных гидрологических явлений необходимо для использования при

стратегическом планировании развития в органах управления и хозяйствующих субъектах. Природная специфика данных явлений в конкретном регионе определяется климатом, рельефом местности, разнообразием водных объектов [5]. Для территории ЯНАО характерны опасные и неблагоприятные гидрологические явления, связанные с высокими и низкими уровнями воды в реках, а также ледовой обстановкой.

Избежать последствий опасных наводнений в будущем возможно при заблаговременной подготовке к изменениям гидрологического режима рек. Созданные во ВНИИГМИ-МЦД методы расчёта [6, 7] прогностических оценок количества осадков на ближайшее десятилетие дают возможность определить направленность и интенсивность изменений водности рек во время половодий, что в свою очередь позволяет предотвратить надвигающиеся риски. Выполнение поставленной задачи состоит из нескольких этапов: подготовка рядов многолетних данных стока воды в половодье на незарегулированных участках рек и количества осадков в их водосборах; сравнительный анализ изменения стока в половодье и количества осадков и получение регрессионных зависимостей; вычисление на ближайшие десятилетия ожидаемых изменений половодного стока указанных рек на основе регрессионных соотношений с прогностическими оценками количества осадков в их водосборах.

Новизна исследований выражается в расчёте прогнозных оценок стока воды в период половодья на крупнейших реках ЯНАО и их сравнении с современной гидрологической обстановкой. Рассмотрена методика прогноза, проведены расчёты и анализ полученных результатов, которые представлены в картографическом виде.

1. Подготовка исходных данных многолетних рядов стока воды в половодье

Из числа гидрологических постов, расположенных на территории ЯНАО, к дальнейшему изучению были отобраны четыре, которые характеризуют гидрологическую ситуацию в бассейнах крупнейших рек округа (табл. 1). Стоит отметить, что в связи со

значительными пропусками в рядах наблюдений расходов воды по гидрологическим постам, приведённым в табл. 1, пропущенные данные были восстановлены по уровням воды того же поста или по расходам воды на соседних постах того же водотока.

Таблица 1

Список гидрологических постов, выбранных для дальнейших расчётов

Название водного объекта и пункта наблюдений	Код пункта наблюдений	Расстояние (км) от		Площадь водосбора, км ²	Период действия: число, месяц, год	
		истока	устья		открыт	закрыт
р. Обь – г. Салехард	11801	2500	287	2 950 000	16.09.1933	Действ.
р. Надым – г. Надым	11805	440	109	48 000	22.09.1936	Действ.
р. Пур – пос. Самбург	11807	303	86,0	95 100	07.10.1936	Действ.
р. Таз – пос. Сидоровск	11808	1142	259	100 000	01.09.1949	Действ.

Следующим этапом работ было определение сроков прохождения половодья на каждом выбранном гидрологическом посту и приведение их к некому единому многолетнему значению. Поставленная задача была решена путём программной обработки и анализа гидрографов стока на изучаемых постах. Причём, учитывая тот факт, что наибольшую опасность окружающим объектам несёт пик половодья, было решено ограничиться в расчётах полутора-двухмесячным сроком прохождения максимальных расходов воды. Дать прогностические оценки максимальных расходов воды на более короткий промежуток времени (по сути, спрогнозировать пик половодья) затруднительно, поскольку требуется учитывать большее количество исходных прогнозных данных, помимо количества осадков. Так максимальные расходы воды на самом пике половодья зависят не только от количества выпавшего за зиму снега в водосборе и текущих осадков, но и от того насколько интенсивно тает снег, а это уже требует прогнозов по температуре воздуха [7].

В случае же полутора-двухмесячного пикового периода прохождения максимальных расходов воды температурный режим воздуха не так важен, поскольку практически в любом случае к завершению указанного пикового периода процесс снеготаяния,

как правило, окончен. Таким образом, исключив влияние температуры, планируется достигнуть более высоких корреляционных зависимостей между стоком воды в пиковый период половодья и количеством накопленных за зиму осадков [7].

Для определения временных рамок пиковых периодов половодья учитывались расходы воды, превышающие средний годовой в два раза. Причём брался в расчёт первый пик половодья, сформированный талыми водами с наложением осадков, выпавших во время таяния снега. В некоторые годы пики дождевых паводков на изучаемых реках превышают максимальные расходы воды, вызванные талыми водами. Однако все эти летние паводки не обладают достаточной повторяемостью и временной привязкой, чтобы брать их в расчёт для дальнейших прогностических оценок.

Таким образом, в дальнейших расчётах будет фигурировать период стока воды с момента, когда на подъёме половодья расход превысил в два раза средний годовой, и до даты на спаде первого пика половодья, когда расход воды вновь опустился ниже двукратного уровня среднего годового (в дальнейшем — «пиковый период половодья или период пика половодья $Q_{ппп}$ »). В табл. 2 приведены временные рамки и средние многолетние расходы воды в пиковые периоды половодья $Q_{ппп}$ и приведённые к десятилетнему отрезку времени тренды их изменения.

Стоит учесть, что временные рамки этого периода в определённые годы могут сдвигаться в зависимости от температурных условий как в одну, так и в другую сторону, а многолетние ряды стока воды в половодье (рис. 1) были построены с учётом фактических ежегодных временных рамок периода пика половодья, а не по осреднённым, как в табл. 2.

Как видно из табл. 2 и рис. 1, наблюдаются разнонаправленные тренды, но сравнивать их друг с другом можно лишь учитывая факт построения за промежутки времени разной продолжительности. Увеличение стока Оби в половодье хорошо коррелируется с изменением годового стока Оби [6].

В процессе подготовки рядов многолетних данных количества осадков учитывался тот факт, что устойчивый снежный покров на

территории ЯНАО образуется в начале октября [1]. Это не касается всего бассейна Оби, расположенного в основном на более южных территориях.

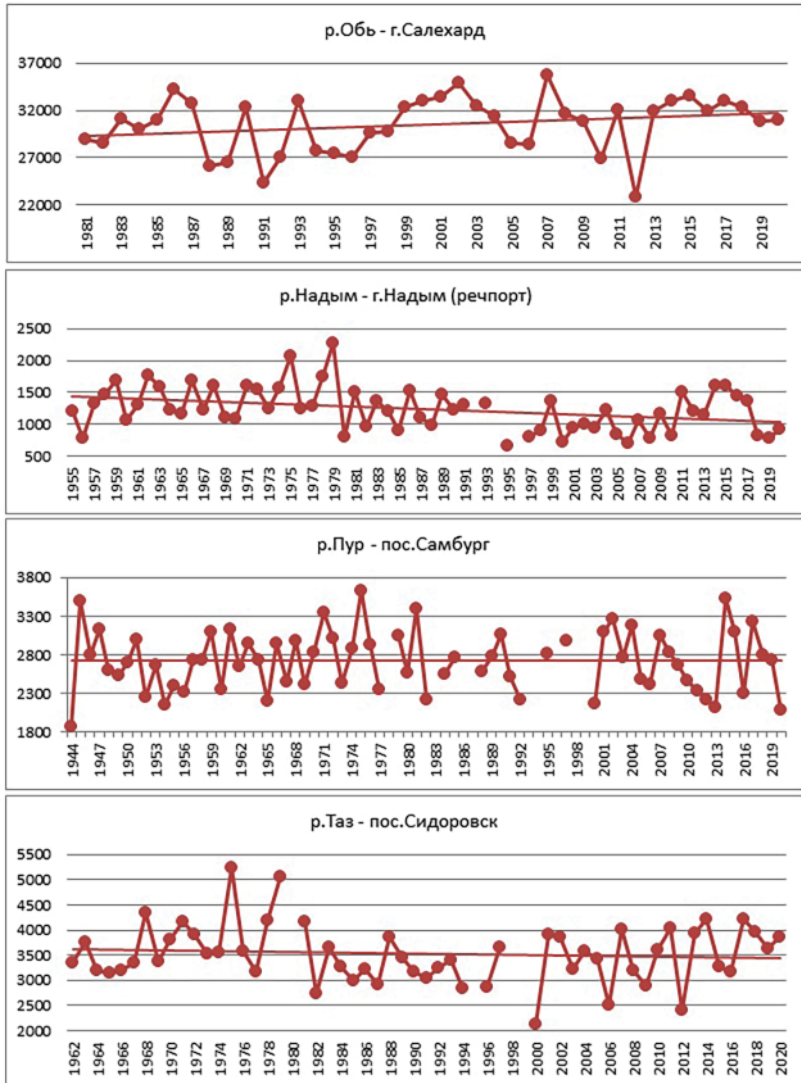


Рис. 1. Средние расходы воды периода пика половодья $Q_{ппп}$ (m^3/c)

Таблица 2

Средние многолетние временные рамки и средние многолетние расходы воды периода прохождения максимального стока (пика) половодья $Q_{ппп}$

Название водного объекта и пункта наблюдений	Расчётный период	Средние многолетние временные рамки периода пика половодья	Средний многолетний расход воды за период пика половодья, $\text{м}^3/\text{с}$	Тренд изменения среднего расхода воды за период пика половодья, % за 10 лет
р. Обь – г. Салехард	1981–2020	3 декада мая – 3 декада июля	30 500	+2,0
р. Надым – г. Надым	1955–2020	2 декада мая – 2 декада июня	1240	-4,7
р. Пур – пос. Самбург	1944–2020	3 декада мая – 2 декада июня	2720	0
р. Таз – пос. Сидоровск	1962–2020	3 декада мая – 1 декада июля	3520	-1,1

2. Сравнительный анализ изменения стока в половодье и количества осадков

Зависимость стока от осадков весьма сложна и подвержена влиянию многих факторов. Поэтому был выбран метод, основанный на построении линейных эмпирических зависимостей [8].

В процессе работ водосборы этих рек были разделены на участки. Для бассейна Оби из-за больших площадей и значительного количества метеостанций был применён метод квадратов [9]. По этому методу бассейн реки разбивается на сеть равновеликих квадратов, для каждого из которых вычисляется средний слой осадков как средний арифметический по данным метеостанций, попавших в квадрат. Для остальных гидрологических постов был выбран метод взвешивания [9], который более подходит для небольших водосборов или водосборов с ограниченным числом метеостанций. Здесь участок строится вокруг каждой отдельной метеостанции, а его площадь определяет тот вес, с которым должны быть приняты осадки по данным этой станции в дальнейших расчётах среднего слоя осадков в бассейне.

Для определения среднего значения по водосбору слою осадков каждого участка умножались на площадь этого участка, суммировались и делились на площадь всего водосбора. Это позволило определить величину R , характеризующую средний слой осадков за период с начала ледостава и до окончания периода пика половодья (в миллиметрах), выпавших в пределах водосбора.

Таким образом, стало возможным сопоставить характеристику R со средним расходом воды пикового периода половодья $Q_{ппп}$ в замыкающем водосбор створе. Однако не весь объём воды, поступивший в пределы водосбора в виде осадков, участвует в формировании стока воды в половодье. Значительная часть испаряется или аккумулируется в естественных и искусственных водоёмах, подземных водах, ледниках и поступает в речное русло в периоды, следующие за расчётным. Тем самым влияние количества осадков на сток воды усложняется, что снижает корреляцию рядов многолетних значений R и $Q_{ппп}$. Но для получения в дальнейшем наиболее точных прогностических оценок годового стока воды по прогнозным данным осадков необходимо иметь по возможности максимальные значения корреляции между этими величинами. Для этого нужно исключить из расчётов те участки водосбора, где связь между количеством осадков и количеством воды, поступившем в речную сеть в текущем расчётном периоде, искусственно нарушена вследствие сооружения водохранилищ и водозаборных сооружений либо является сложной по естественным причинам [7].

Для выявления таких участков были проведены соответствующие расчёты. Их суть состоит в том, чтобы последовательно исключать из расчётов различные количества и комбинации участков водосбора и то количество осадков, которое поступило на них в течение расчётного периода. По оставшимся в расчётах участкам суммируются количества осадков, образуя значение R . Далее находится коэффициент корреляции между рядами величины R , полученной по участкам водосбора в данной комбинации, и стоком воды в половодье $Q_{ппп}$. В итоге максимальный коэффициент корреляции определяет тот состав участков водосбора,

который характеризует максимально тесную зависимость $Q_{ппп}$ от R . Кроме того заданный алгоритм автоматически исключает участки водосбора с недостоверными данными по осадкам, которые могут возникнуть по причине редкой сети метеостанций или в результате ошибок в данных [7].

Таким образом из расчётов были исключены участки водосборов с нарушенной связью между количеством осадков за период с начала ледостава и до окончания периода пика половодья R и естественным речным стоком в период пика половодья $Q_{ппп}$ на реках ЯНАО. По оставшимся участкам были посчитаны коэффициенты корреляции между $Q_{ппп}$ и R . Как видно из табл. 3, полученные коэффициенты корреляции между этими величинами колеблются в диапазоне от 0,78 до 0,87, что говорит о достижении устойчивой связи между значениями. Также приведены коэффициенты детерминации, показывающие долю тех изменений величины расхода $Q_{ппп}$, которая в данной зависимости определяется колебанием значений слоя осадков R .

Таблица 3

Характеристики сравнительного анализа стока воды в период пика половодья $Q_{ппп}$ по гидрологическим постам на реках ЯНАО и количества осадков за период с начала ледостава и до окончания периода пика половодья R в их водосборах

Река – пост	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции между R и $Q_{ппп}$	Коэффициент детерминации
р. Обь – г. Салехард	$Q_{ппп} = 75,8R + 10400$	0,81	0,66
р. Надым – г. Надым (речпорт)	$Q_{ппп} = 5,14R - 365$	0,78	0,60
р. Пур – пос. Самбург	$Q_{ппп} = 8,44R + 395$	0,87	0,77
р. Таз – пос. Сидоровск	$Q_{ппп} = 9,38R + 780$	0,78	0,60

Специалистами ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт» была исследована связь между климатическими условиями в областях водосборов арктических рек и их стоком в Северный Ледовитый океан [10]. Ими проведена оценка влияния среднегодовых осадков в областях водосбора на

годовой сток рек, а полученные коэффициенты корреляции не превысили 0,77. Также стоит отметить, что установление зависимости между осадками и стоком в какую-либо из фаз водного режима (в нашем случае — в половодье) заведомо более сложная задача, чем установление зависимости между осадками и годовым стоком, как в [10]. Сложность заключается в правильном нахождении временных границ фазы водного режима и той части осадков, которая участвует в её формировании.

После того, как была установлена та часть водосбора, где формируется максимально тесная связь между величинами $Q_{ппп}$ и R , стало возможным получить уравнения регрессии $Q_{ппп} = f(R)$, где $Q_{ппп}$ — сток воды периода пика половодья в $\text{м}^3/\text{с}$, R — слой осадков в миллиметрах за период с начала ледостава и до окончания периода пика половодья, выпавших на расчётных участках водосбора (табл. 3).

Здесь стоит учесть, что зависимость $Q_{ппп} = f(R)$ меняется с течением времени в силу естественных причин или антропогенного воздействия. Другими словами, при одинаковом количестве осадков, выпавших в водосборе в 2020 и 1950 годах, сток воды в замыкающем створе не будет одинаковым. Тенденция изменения зависимости $Q_{ппп} = f(R)$ с течением времени была выявлена в процессе сопоставления рядов $Q_{ппп}$ и R . Особенно резкий сдвиг наблюдался на рубеже 70-х и 80-х годов прошлого столетия. Поэтому для получения уравнений регрессии $Q_{ппп} = f(R)$ был выбран период с 1981 по 2020 год, отвечающий в большей степени современным условиям.

3. Вычисление на ближайшие десятилетия ожидаемых изменений стока воды в половодье и анализ результатов

Сотрудниками лаборатории исследования последствий изменения климата ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» были рассчитаны ежегодные прогнозные значения количества осадков за период с начала ледостава и до окончания периода пика половодья до 2036 года включительно по тем же метеостанциям, данные которых использовались для получения уравнений регрессии в табл. 3. Прогнозные данные по осадкам были рассчитаны исходя

из рабочей гипотезы о том, что динамика погоды и климата главным образом является следствием колебаний климатической системы на её собственных частотах [11, 12].

По полученным уравнениям регрессии (табл. 3) были рассчитаны ежегодные прогностические оценки стока воды периода пика половодья (по временным рамкам в соответствии с табл. 2) на четырёх выбранных гидрологических постах с 2023 по 2036 год включительно, так как 2036 год является последним, для которого вычислены прогнозные значения осадков. Однако вычисление ежегодных прогнозных колебаний водности рек является сложной задачей. Исходя из гипотезы о динамике погоды и климата [11, 12] наиболее достоверными являются многолетние прогнозные колебания водности. Поэтому на рис. 2 показаны прогностические оценки средних расходов воды периода пика половодья $Q_{ппп}$, сглаженные методом простой скользящей средней по пятилетним периодам. То есть, например, значение $Q_{ппп}$ в 2025 году на рис. 2 является средним за 2023–2027 гг., в 2026 году — за 2024–2028 годы и так далее. Как следствие, временные рамки прогнозных значений $Q_{ппп}$, представленных на рис. 2, сокращены до 2025–2034 годов.

Как видно из рис. 2 и табл. 4, после снижения значений $Q_{ппп}$ в 2025–2029 годах в дальнейшем ожидается постепенный рост. Наименьшим колебаниям водности (в процентном соотношении), судя по расчётам, будет подвержена р. Обь. Это связано со значительной площадью её водосбора, что нивелирует изменения в стоке воды, характерные отдельным её притокам.

На рис. 3 и 4 представлено территориальное распределение ожидаемых изменений средних расходов воды периода пика половодья $Q_{ппп}$ по пятилетним отрезкам (2025–2029 и 2030–2034 гг.). Изменения гидрологического режима Оби, представленные на рис. 2, 3, 4 и в табл. 4, не относятся к притокам, впадающим в неё на территории округа (например р. Полуй). Это связано с тем, что основная часть стока половодья Оби формируется выше по течению и вклад притоков в нижнем её течении невелик. Поэтому на рис. 3 и 4 выделенная площадь изменения средних расходов воды периода пика половодья, характерных для

Оби, не затрагивает её притоки, где ситуация может значительно отличаться.

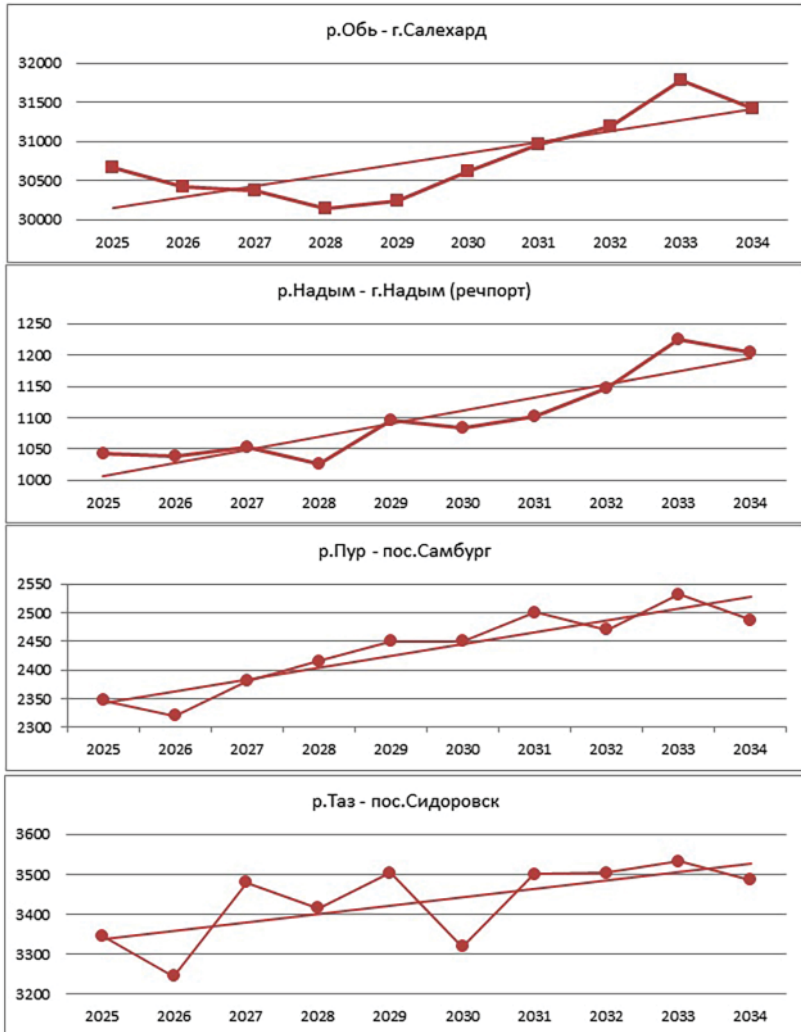


Рис. 2. Прогностические оценки средних расходов воды периода пика половодья $Q_{ппп}$ (m^3/c), сглаженные методом простой скользящей средней по пятилетним периодам

Таблица 4

Прогностические оценки средних расходов воды периода пика половодья $Q_{ппп}$ по отношению к фактическим значениям за 2011–2020 гг. (значения приведены к средним за указанный срок)

Река – пост	2011–2020	2025–2029	2030–2034
р. Обь – г. Салехард	31300 м ³ /с	30400 м ³ /с, -2,9 %	31200 м ³ /с, -0,3 %
р. Надым – г. Надым	1240 м ³ /с	1050 м ³ /с, -15,3 %	1150 м ³ /с, -7,3 %
р. Пур – пос. Самбург	2640 м ³ /с	2380 м ³ /с, -9,8 %	2480 м ³ /с, -6,1 %
р. Таз – пос. Сидоровск	3680 м ³ /с	3400 м ³ /с, -7,6 %	3470 м ³ /с, -5,7 %

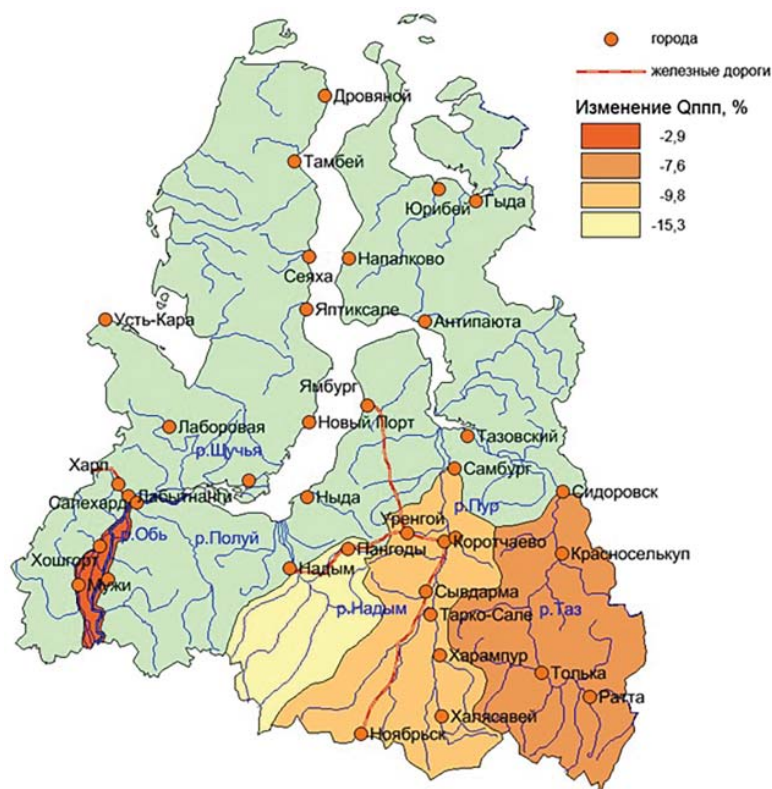


Рис. 3. Прогностические оценки изменения средних расходов воды периода пика половодья $Q_{ппп}$ в 2025–2029 гг. по отношению к 2011–2020 гг.

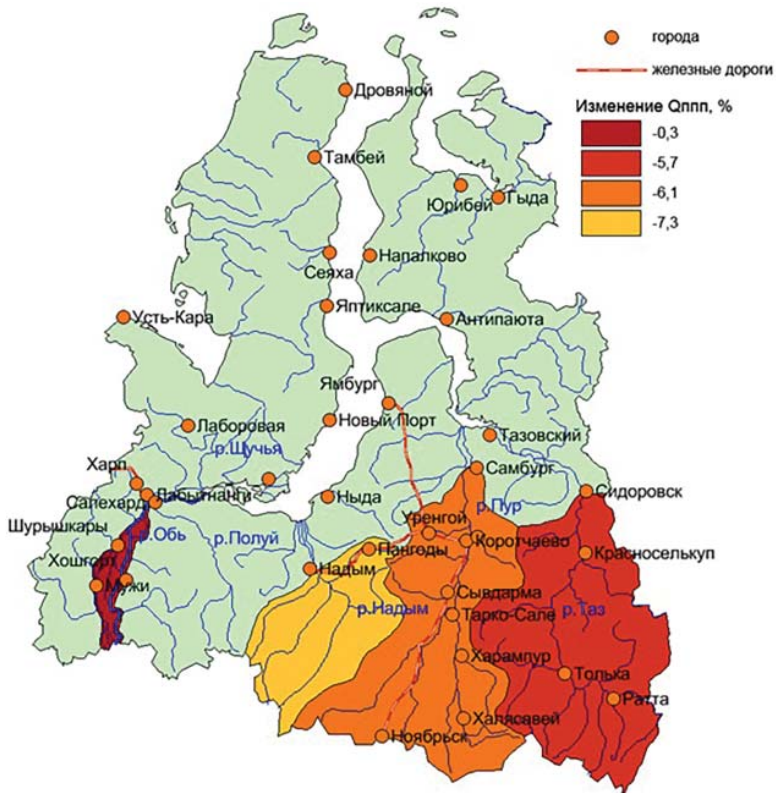


Рис. 4. Прогностические оценки изменения средних расходов воды периода пика половодья $Q_{ппп}$ в 2030–2034 гг. по отношению к 2011–2020 гг.

Заключение

В результате расчётов прогностических оценок изменения средних расходов воды периода пика половодья $Q_{ппп}$ получено, что в 2025–2029 гг. ожидается их снижение по отношению к средним значениям 2011–2020 гг. от 3 % в нижнем течении Оби до 15 % — в бассейне р. Надым. В 2030–2034 гг. данное снижение сохранится, но несколько нивелируется, и составит не более 7–8 % к средним значениям 2011–2020 годов. Отсюда следует, что угроза наводнений на территории Ямало-Ненецкого автономного

округа в ближайшее десятилетие (2025–2034 гг.) в целом будет ниже, чем в предыдущее (2011–2020 гг.). Практически неизменной останется ситуация только вдоль русла Оби.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агафонова С.А.* Ледовый режим рек Арктической зоны Западной Сибири в современных климатических условиях // Арктика и Антарктика. 2017. № 2. С. 25–33.
2. *География Сибири в начале XXI века.* Т. 5: Западная Сибирь. Новосибирск: ГЕО, 2016. 447 с.
3. *Гусев Е.М., Насонова О.Н., Джоган Л.Я., Айзель Г.В.* Моделирование формирования стока рек и снежного покрова на севере Западной Сибири // Водные ресурсы. 2015. Т. 42, № 4. С. 387–395.
4. *Водные ресурсы и режим рек Арктической зоны Сибири: современное состояние, прогнозируемое изменение, масштабы и структура хозяйственного использования / Д.В. Магрицкий, Н.Л. Фролова, В.М. Евстигнеев и др.* // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии. Барнаул: Институт водных и экологических проблем СО РАН, 2017. С. 121–131.
5. *Гниломедов Е.В.* Вероятностная оценка возникновения опасных гидрологических явлений в Нижегородской области // Труды ФБГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2018. Вып. 182. С. 67–77.
6. *Гниломедов Е.В.* Оценки долговременных тенденций в изменении стока крупнейших рек Арктического бассейна России в связи с произошедшими и ожидаемыми изменениями климата // Труды ФБГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2020. Вып. 187. С. 5–18.
7. *Гниломедов Е.В.* Прогностические оценки стока воды в половодье на реках бассейна Оби // Труды ФБГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2023. Вып. 190. С. 65–79.
8. *Виссмен У., Харбаф Т.И., Кнэпп Д.У.* Введение в гидрологию. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 470 с.
9. *Клибашев К.П., Горошков И.Ф.* Гидрологические расчёты. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 460 с.
10. *Алексеев Г.В., Вязилова А.Е., Харланенкова Н.Е., Глок Н.И.* Влияние глобального потепления на условия формирования стока сибирских рек // Тезисы докладов всероссийской конференции «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования». г. Москва, 26–28 ноября 2019 года. М.: Физматкнига, 2019. С. 76–79.
11. *Шерстюков Б.Г.* Колебательная система климата, резонансы, дальние связи, прогнозы. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2021. 222 с.
12. *Шерстюков Б.Г., Шерстюков А.Б.* Вычисление прогностических оценок изменений месячных значений температуры воздуха и атмосферных осадков в России на два десятилетия // Труды ФБГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2023. Вып. 191. С. 68–87.

УДК 551.524

ГОМОГЕНИЗАЦИЯ ДАННЫХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА ПО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМ СТАНЦИЯМ РОССИИ

А.Ф. Финаев¹, В.Н. Разуваев

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,*

¹ afinaev@meteo.ru

Введение

Экстремальная температура воздуха является одним из основных параметров при оценке климата, так как характеризует граничные условия диапазона колебаний температурного режима в разных временных интервалах. Данная характеристика важна для использования в различных областях экономики и жизни страны, поэтому необходимо знать реальные экстремальные температуры по всей территории России за соответствующие периоды времени. Посторонние, не имеющие отношения к климату, ошибки экстремальной температуры воздуха могут иметь негативное влияние как на отдельные отрасли экономики, так и на здоровье населения.

Достоверность экстремальных температур необходима для научных исследований и оценки изменения климата. Например, в Австрии были опробованы модели гомогенизации экстремальных температур воздуха для более точной оценки изменения климата [1]. Исследования экстремальных температур воздуха в Европе и Китае в течение XIX и XX веков показали важность этой характеристики для оценки климатических изменений [2]. Эти исследования продемонстрировали различия в изменениях сезонного и годового диапазона колебаний температуры за длительный период. Использование в таких исследованиях неоднородных данных может привести к неправильным выводам.

Нарушения однородности рядов данных могут возникать из-за перемещения пункта измерения, модификации конструкции

приборов, изменения методов и сроков измерения, перерыва в наблюдениях, замены наблюдателя, технических ошибок, изменения ландшафта и других факторов [3]. Поэтому при исследовании необходимо исключить из ряда данных или откорректировать в нём те значения, которые не связаны с метеорологическими флуктуациями в атмосфере.

Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД) предоставляет пользователям записи рядов экстремальных температур воздуха 518 станций на территории России [4]. Этот массив данных был проверен на качество и подготовлен для использования [5], но его записи на однородность не проверялись. Причины неоднородности данных неоднократно обсуждались сотрудниками института, однако тесты на однородность и вычисления однородных рядов не проводились [6].

Настоящая статья посвящена методам получения однородных данных абсолютной максимальной (T_{a_max}) и минимальной (T_{a_min}) средних месячных температур воздуха за период инструментальных наблюдений на 518 метеорологических станциях России.

Данные и методы

Исходными материалами послужили суточные данные экстремальных температур воздуха (T_{ad_max} — абсолютный максимум температуры воздуха, T_{ad_min} — абсолютный минимум температуры воздуха) за весь период наблюдений (1874–2022 гг.) на каждой из 518 станций. По суточным данным были рассчитаны экстремальные температуры за месяц (T_{am_max} — абсолютный максимум температуры воздуха, T_{am_min} — абсолютный минимум температуры воздуха). Для выполнения гомогенизации данных была проведена оценка набора программ, предложенных ВМО [7, 8]. Наиболее оптимальным на взгляд исследователей оказался пакет RHTests [9]. Эта программа работает в среде R и реализует несколько тестов для обнаружения разрывов, с учётом автокорреляций и расстояния от краёв ряда. В программе RHTests используется корреляция с соседними станциями и метод квантильного согласования. Одной из проблем оценки характеристики

метеорологических данных на огромной территории России являются большие расстояния между станциями. Из 518 станций только 39 % расположены на расстоянии менее 100 км друг от друга. Другой проблемой является различная плотность расположения станций по всей территории. В европейской части России станции расположены более плотно, чем на обширных просторах Сибири и Заполярья [10]. Для решения этих проблем были построены поля экстремальных температур воздуха в различных хронологических интервалах. Работа выполнялась инструментами ArcGIS с использованием кригинга (метод интерполяции) [11]. Такая модель учитывает не только данные пункта наблюдения, но и его весовой вклад в итоговый результат расчёта в зависимости от расстояния между пунктами. В результате были смоделированы карты распределения экстремальных температур воздуха для территории РФ с разрешением примерно 15,66×15,66 км.

Результаты

В ходе работы была выполнена гомогенизация рядов абсолютных месячных температур воздуха (T_{am_max} и T_{am_min}) за весь период наблюдений на каждой станции с помощью пакета программного обеспечения RHtestsV4. Выходные параметры работы этой программы были описаны ранее [10]. В результате настоящего исследования были выявлены станции с нарушениями однородности ряда за месяц (табл. 1). Месячные данные станций, имеющие нарушения однородности рядов, были откорректированы. Получены однородные ряды абсолютного максимума (T_{am_max}) и абсолютного минимума (T_{am_min}) температуры воздуха за месяц. Количество нарушений однородности рядов данных на исследуемых станциях за период наблюдений менялось от нуля до четырёх при годовом абсолютном максимуме (T_{ay_max}) (табл. 2) и от нуля до трёх — при годовом абсолютном минимуме (T_{ay_min}) (табл. 3).

Однородные данные T_{ay_max} без нарушений имеются на 306 станциях (58,9 %). Ряды данных T_{ay_max} на 163 станциях (31,5 %) имеют одно нарушение однородности. На остальных станциях имеются 2 и 3 нарушения, и только на одной станции выявлено 4 нарушения однородности ряда (табл. 2).

Таблица 1

Количество станций с коррекцией $nT_{ам}$ в каждом месяце

Станции	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Кол-во станций $nT_{ам_max}$	118	126	93	108	106	130	114	104	107	124	116	114
Кол-во станций $nT_{ам_min}$	221	218	240	227	244	247	258	241	233	227	230	229

Таблица 2

Количество станций с нарушениями однородности годовых данных абсолютного максимума температуры воздуха ($T_{ам}$)

Количество нарушений однородности	Количество станций	Количество станций, %
0	306	58,9
1	163	31,5
2	44	8,5
3	5	1,0
4	1	0,2

В рядах $T_{ам_min}$ данные 304 станций (58,7 %) не имеют нарушений однородности. Одно нарушение однородности выявлено у 164 станций (31,7 %). Остальные станции имеют 2-3 нарушения (табл. 3).

Таблица 3

Количество станций с нарушениями однородности годовых данных абсолютного минимума температуры воздуха ($T_{ам}$)

Количество нарушений однородности	Количество станций	Количество станций, %
0	304	58,7
1	164	31,7
2	45	8,7
3	5	1,0

Среднемесячные поправки к абсолютному максимуму температуры воздуха ($dT_{ам}$) во все месяцы были отрицательные

и менялись от $-0,17\text{ }^{\circ}\text{C}$ в марте и августе до $-0,31\text{ }^{\circ}\text{C}$ — в феврале (рис. 1). Это говорит о завышенной температуре в неоднородных данных. В то же время поправки к абсолютному минимуму (dTa_{\min}) были положительными в летние месяцы и в июле достигали $+0,28\text{ }^{\circ}\text{C}$.

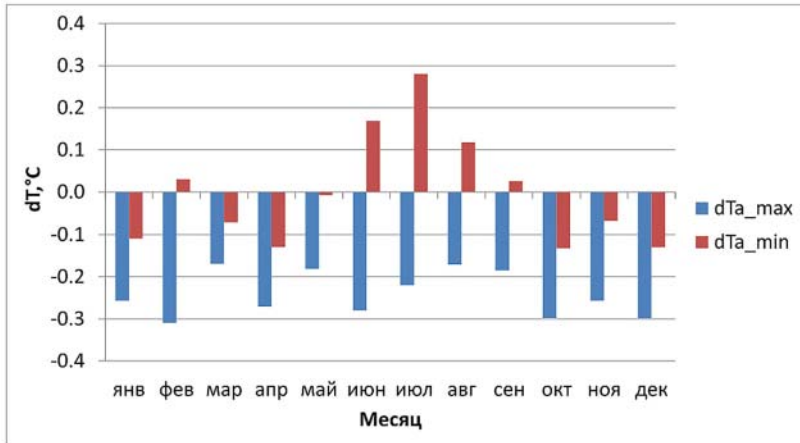


Рис. 1. Поправка к среднемесячному максимуму и минимуму абсолютной температуры воздуха по территории России в среднем за период наблюдений (1874–2022 гг.)

Исследования Kuglitsch и др. [12] показали, что при гомогенизации экстремальных температур в Средиземноморском регионе средняя корректировка летних дневных максимальных температур меняется от $+0,03$ до $+0,19\text{ }^{\circ}\text{C}$. Наиболее значительные средние изменения при гомогенизации были обнаружены как для самого жаркого ($+0,15 \pm 0,66\text{ }^{\circ}\text{C}$), так и для самого холодного дециля ($-0,83 \pm 1,28\text{ }^{\circ}\text{C}$) по сравнению с необработанными данными в центральном Средиземноморье. Для сравнения с этими результатами авторы текущего исследования использовали данные станций Сочи (37099) и Красная Поляна (37107), которые расположены в субтропической климатической зоне, аналогичной Средиземноморью (табл. 4).

Таблица 4

Средняя месячная поправка к экстремальным температурам воздуха (dT_{a_min} и dT_{a_max}) для получения однородного ряда данных для станций Сочи и Красная Поляна

Параметр	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
Сочи													
dT_{a_min}	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-0,7	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
dT_{a_max}	0,0	0,8	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,8	0,0	1,0	0,0	0,0
Красная Поляна													
dT_{a_min}	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,0	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
dT_{a_max}	-1,3	0,0	-0,1	0,0	-0,9	-1,3	0,0	-1,3	0,0	0,0	-1,3	-1,3	0,0

Наибольшая поправка для минимальных температур составляет $-1,7^{\circ}\text{C}$ на станции Красная Поляна. Для максимальных температур поправка меняется от $-1,3$ до 0°C . Станция находится в горах на высоте выше 500 м над у.м. и подвержена некоторому влиянию горного климата.

На станции Сочи, расположенной на побережье моря, поправка для минимальных температур составляет от $-1,5$ до $-0,7^{\circ}\text{C}$. Для максимальных температур поправка на этой станции меняется от 0 до $+1^{\circ}\text{C}$. Полученные результаты удовлетворительны и согласуются с исследованиями в Средиземноморье [12].

На основе полученных результатов были построены карты (рис. 2 и 3), на которых показано распределение станций по территории России с различным количеством нарушений однородности для годовых экстремальных температур T_{ay_max} и T_{ay_min} соответственно. Анализ этих карт показывает, что наибольшее количество нарушений однородности было на труднодоступных станциях (районы Крайнего Севера, горные районы, острова).

В южной части Европейской территории России (ЕТР) увеличение количества нарушений однородности рядов абсолютной температуры воздуха, вероятно, связано с периодами военных действий (Великая Отечественная война), перемещением или реорганизацией станций и т.д.

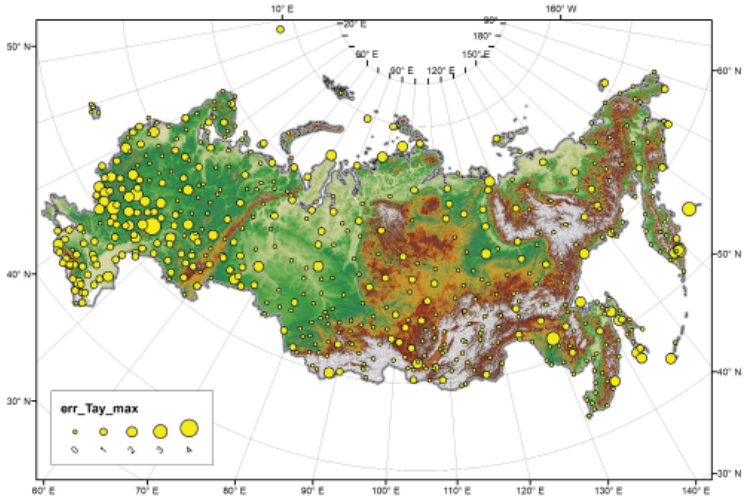


Рис. 2. Количество нарушений однородности ряда абсолютной максимальной температуры воздуха (err_Tay_max) в среднем за год на станциях по территории России

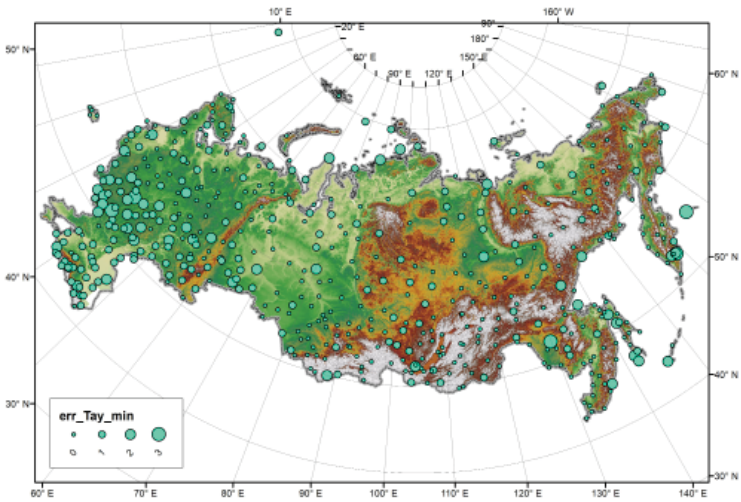


Рис. 3. Количество нарушений однородности ряда абсолютной минимальной температуры воздуха (err_Tay_min) в среднем за год на станциях по территории России

По исходным и гомогенизированным месячным записям были получены годовые экстремальные температуры воздуха для каждой станции. На основе этих данных были построены годовые карты абсолютного максимума температуры для неоднородных ($T_{ay_max_obs}$) и однородных рядов ($T_{ay_max_hgn}$) и карты абсолютного минимума температуры для однородных ($T_{ay_min_obs}$) и неоднородных ($T_{ay_min_hgn}$) рядов (рис. 4).

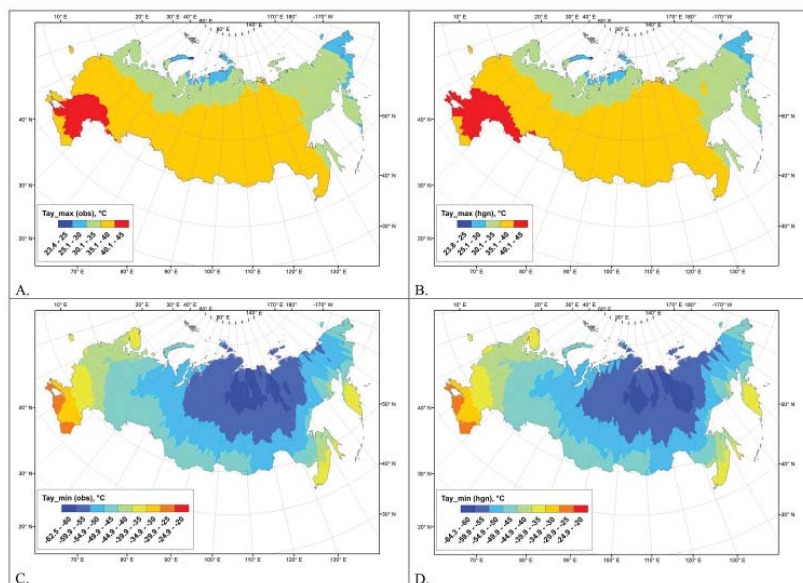


Рис. 4. Годовые экстремальные температуры воздуха:
A. — $T_{ay_max}(obs)$ — абсолютный максимум температуры воздуха (неоднородные данные); B. — $T_{ay_max}(hgn)$ — абсолютный максимум температуры воздуха (однородные данные); C. — $T_{ay_min}(obs)$ — абсолютный минимум температуры воздуха (неоднородные данные); D. — $T_{ay_min}(hgn)$ — абсолютный минимум температуры воздуха (однородные данные)

Сравнительный анализ показывает, что территории с высокими температурами на картах, построенных по однородным данным, занимают большие площади, чем на картах, построенных по неоднородным данным.

Построенные карты поправок абсолютных температур воздуха ($dT_{ay} = T_{ay_obs} - T_{ay_hgn}$) помогли выявить различия их распределения по исследуемой площади для максимальных и минимальных значений (рис. 5).

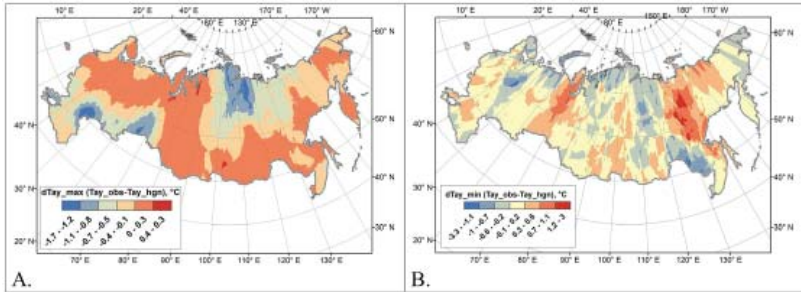


Рис. 5. Распределение поправок для ошибок в неоднородных данных экстремальных годовых температур воздуха на территории России: А. — поправки для абсолютного максимума годовой температуры воздуха (dT_{ay_max}); В. — поправки для абсолютного минимума годовой температуры воздуха (dT_{ay_min})

Рис. 5А характеризует распределение поправок по территории России для абсолютного максимума годовой температуры воздуха (dT_{ay_max}). На этой карте видно, что отрицательные поправки (от $-1,7$ до 0 °С) сконцентрированы на северном побережье Каспийского моря, в устье р. Волга, в южной части Западной Сибири и на севере средней Сибири. На остальной территории распределены положительные поправки (от 0 до $+0,3$ °С).

Рис. 5В характеризует распределение поправок по территории России для абсолютного минимума годовой температуры воздуха (dT_{ay_min}). Поскольку это холодная половина года, а область исследования очень протяжённая и расположена в различных климатических зонах, данная карта показывает большой диапазон и разнообразие концентрации поправок экстремальных температур.

Метод построения карт и их статистические характеристики позволили получить экстремальные значения, а также интервал колебаний ошибки абсолютных температур. Оказалось, что на

смоделированных картах диапазон изменения ошибок был сглажен по сравнению с исходными данными станций (табл. 5). Уменьшился также и диапазон изменения поправок.

Если по данным станций диапазон изменения поправки максимума температуры dT_{ay_max} составляет $6,87\text{ }^{\circ}\text{C}$ (dT_{ay_max} от $-4,142$ до $+2,725\text{ }^{\circ}\text{C}$), то по моделированным картам такой диапазон составляет $2,02\text{ }^{\circ}\text{C}$ (dT_{ay_max} от $-1,678$ до $+0,338\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Диапазон поправки для минимума температуры имеет гораздо большие значения и по данным станций равен $15,23\text{ }^{\circ}\text{C}$ (dT_{ay_min} от $-8,008$ до $+7,217\text{ }^{\circ}\text{C}$), а по картам — $6,37\text{ }^{\circ}\text{C}$ (dT_{ay_min} от $-3,349$ до $+3,020\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Если рассматривать среднюю величину по исследуемой территории, то здесь все варианты поправок отрицательные. Поправки для среднегодовых экстремальных температур воздуха по данным станций меняются от $dT_{ay_max} = -0,241\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $dT_{ay_min} = -0,002\text{ }^{\circ}\text{C}$, а по картам — от $dT_{ay_max} = -0,270\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $dT_{ay_min} = -0,003\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таблица 5

Статистические характеристики среднегодовых поправок к экстремальным температурам воздуха (dT_{ay_max} и dT_{ay_min}) согласно смоделированным картам и по исходным данным станций

Величина поправки	Исходные данные станций		Смоделированные карты	
	dT_{ay_max}	dT_{ay_min}	dT_{ay_max}	dT_{ay_min}
Минимальная	-4,142	-8,008	-1,678	-3,349
Максимальная	2,725	7,217	0,338	3,020
Средняя	-0,241	-0,002	-0,270	-0,003
Диапазон поправок	6,87	15,23	2,02	6,37

Заключение

Территория России охватывает много климатических зон, характеризующихся разнообразием температурных условий. Экстремальные температуры являются граничными параметрами температурного режима воздуха. Гомогенизация данных абсолютных температур воздуха (максимальных и минимальных) показала, что количество станций, имеющих однородные месячные данные

абсолютного максимума температуры воздуха, составляет 58,9 %, в то время как станции с однородными месячными данными абсолютного минимума температуры воздуха составляют 58,7 %.

Метод гомогенизации, используемый в пакете RHtests для коррекции неоднородных записей, является наиболее универсальным и способным адаптироваться к широкому спектру сигналов нарушения однородности ряда. Полученный в результате гомогенизации набор однородных данных среднемесячных экстремальных температур воздуха можно использовать для климатических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Della-Marta P.M., Wanner H. A Method of Homogenizing the Extremes and Mean of Daily Temperature Measurements // J. of Climate. 2006. V. 19, Issue 17. P. 4179–4197. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI3855.1> (дата обращения: 17.04.2024).
2. Yan Z., Jones P.D., Davies T.D., Moberg A., Bergström H., Camuffo D., Cocheo C., Maugeri M., Demarée G.R., Verhoeve T., Thoen E., Barriendos M., Rodríguez R., Martín-Vide J., Yang C. Trends of Extreme Temperatures in Europe and China Based on Daily Observations // Climatic Change. 2002. V. 53. P. 355–392. <https://doi.org/10.1023/A:1014939413284> (дата обращения: 17.04.2024).
3. Xu W., Li Q., Wang X.L., Yang S., Cao L., Feng Y. Homogenization of Chinese daily surface air temperatures and analysis of trends in the extreme temperature indices // J. of Geophys. Res. Atmos. 2013. V. 118. P. 9708–9720. DOI: 10.1002/jgrd.50791 (дата обращения: 17.04.2024).
4. ВНИИГМИ-МЦД // URL: <http://meteo.ru> (дата обращения: 05.03.2024).
5. Разуваев В.Н. Из истории климатических исследований во ВНИИГМИ-МЦД // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. Вып. 177. С. 28–69.
6. Булыгина О. Н., Коршунова Н. Н., Разуваев В. Н. Специализированные массивы данных для климатических исследований // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. Вып. 177. С. 136–148.
7. WMO Commission for Climatology // URL: www.climatol.eu/tt-hom (дата обращения: 12.05.2022).
8. Финаев А.Ф., Разуваев В.Н. Гомогенизация климатических рядов на примере среднемесячной температуры воздуха // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 57–68.
9. Wang X.L., Feng Y. RHtestsV4 User Manual // Climate Research Division, Atmospheric Science and Technology Directorate, Science and Technology Branch, Environment Canada. 29 p. URL: http://etccdi.pacificclimate.org/RHtest/RHtestsV4_UserManual_10_Dec2014.pdf (дата обращения: 17.02.2024).

10. *Финаев А.Ф., Разуваев В.Н.* Оценка результатов гомогенизации данных температуры воздуха для метеорологических станций России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 158–169.

11. *ESRI ArcMap.* Как работает инструмент Кригинг (Kriging). <desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm> (дата обращения: 17.02.2024).

12. *Kuglitsch F.G., Toreti A., Hoxlaki E., Della-Marta P.M., Luterbacher J., Wanner H.* Homogenization of daily maximum temperature series in the Mediterranean // *J. of Geophys. Res.* 2009. V. 114, D15108. P. 1–16. DOI: 10.1029/2008JD011606 (дата обращения: 17.02.2024).

УДК 551.576.1: 551.58

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЧИСЛА ВОССТАНОВЛЕННЫХ ПО ДАННЫМ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ ОБЛАЧНЫХ СЛОЁВ В АТМОСФЕРНОМ СЛОЕ 0–10 КМ

И.В. Черных

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
civ@meteo.ru*

Введение

Облачность является одной из основных компонентов климатической системы. В документах Межправительственной группы экспертов по изменению климата [1] подчёркивается, что облачный покров служит самым мощным и самым изменчивым регулятором радиационного режима атмосферы и подстилающей поверхности. Интенсивность приходящей и уходящей радиации зависит от сезона, времени дня, от форм облаков, от высоты облачности, её балльности, вертикальной мощности, микро- и макроструктуры, оптических свойств [2]. Неопределённость в климатических изменениях облачности остаётся одной из самых сложных проблем в исследованиях изменения климата Земли [3]. В связи с происходящими изменениями климата [4] знания о вертикальной структуре основных аэрологических параметров в атмосфере, параметров восстановленных по радиозондовым профилям температуры и влажности облачных слоёв [5–7] и их долгопериодных изменениях, полученные на основе наблюдений, необходимы для изучения климата атмосферы и его изменений [8–10]. В частности, знания об изменениях вертикальной структуры облачности имеют большое значение для понимания изменения процессов в атмосфере, изменений в переносе влаги в атмосфере и её воздействия на глобальный и региональный климат [11].

Вычисление глобальных климатических характеристик параметров вертикальной макроструктуры облачности невозможно

по данным визуальных наблюдений за облаками, данные инструментальных наземных наблюдений с борта самолёта имеют локальный характер и недостаточную длительность измерений [6, 12–14]. В последние десятилетия появилась информация о вертикальной макроструктуре облаков, полученная с использованием аппаратуры, помещённой на спутниках. С целью лучше охарактеризовать роль облаков в регулировании климата Земли NASA для получения данных о вертикальной структуре облаков в 2006 году были запущены два специализированных спутника CloudSat и CALIPSO (как и было запланировано, работа лидера CALIPSO и радара CloudSat прекратилась в августе и декабре 2023 года соответственно) [11]. Информация о профиле облаков принята в качестве важной климатической переменной в Глобальной системе наблюдения за климатом (ГСНК) Всемирной метеорологической организации (ВМО) [11].

В статье продолжено исследование температурно-влажностного расслоения атмосферы в слое 0–10 км над подстилающей поверхностью земного шара на облачные слои (ОС) и безоблачные прослойки между ними, определённые по радиозондовым профилям температуры и влажности с помощью SE-метода для определения границ и количества облачности [6, 7, 12]. Представлены тренды числа восстановленных облачных слоёв в слое 0–10 км над уровнем земли для различных месяцев, сезонов, для года в целом для земного шара (ЗШ), Северного (СП) и Южного (ЮП) полушарий за период радиозондовых наблюдений 1964–2018 гг. Цель данной статьи и ряда других работ к.ф.-м.н. О.А. Алдухова и автора, например [15], — показать долгопериодные изменения для основных аэрологических величин и параметров восстановленных облачных слоёв в разных слоях атмосферы над территорией земного шара и его разных широтно-долготных зон за один период наблюдений (1964–2018 гг.).

Для достижения этой цели были рассчитаны средние значения числа облачных слоёв, тренды соответствующих аномалий для разных месяцев, сезонов и года в целом для земного шара, Северного и Южного полушарий за период радиозондовых наблюдений 1964–2018 гг.; проведён анализ внутригодовых

изменений их вертикальной структуры; определены интервалы внутрigoдовых изменений рассчитанных статистик.

Расчёты были выполнены совместно с к.ф.-м.н. О.А. Алдуховым.

Данные и методы

При использовании глобальных данных радиозондовых наблюдений для климатических оценок предметом особого внимания являются качество и однородность данных, используемых при расчётах [10, 16]. К источникам возможной неоднородности рядов температуры, полученных по данным радиозондирования, можно отнести недостаточное число точек наблюдения и их неравномерное географическое распределение, смену датчиков, изменение методик, алгоритмов и программ обработки [10, 16, 17]. Исторические данные по влажности являются неоднородными в большинстве стран по следующим причинам: во-первых, в разных странах используются различные датчики [18]; во-вторых, отсутствуют интернациональные стандарты по преобразованию наблюдений за относительной влажностью в дефицит точки росы [19, 20]; в-третьих, проводилась смена датчиков влажности [10, 17]; в-четвёртых, на точность измерения относительной влажности, независимо от модели датчика, оказывает влияние величина относительной влажности, давления и солнечной радиации, а также величина температуры и/или знак градиента температуры [18].

Исследования проведены на основе данных глобального массива результатов радиозондирования атмосферы CARDS (comprehensive aerological reference dataset) [10], дополненных текущими данными, собираемыми с каналов связи в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» [21]. Вычисления выполнены для земного шара, Северного и Южного полушарий для месяцев, сезонов, года в целом за период 1964–2018 гг. Для расчётов были включены только достоверные и восстановленные во время прохождения процедуры контроля значения. Необходимым условием для включения станции в исследование было наличие наблюдений за 15 лет из полного периода наблюдений, включая 2018 год. После нескольких этапов обработки исходных данных по глобальной аэрологической сети — объединения близкорасположенных станций, взаимно заменяемых в

процессе эксплуатации, исключения коротких и очень старых рядов наблюдения — был сформирован массив данных по 774 станциям глобальной аэрологической сети за период 1964–2018 гг.

Выбор периода наблюдений 1964–2018 гг. обусловлен тем фактом, что за более ранний период — конец 1950-х — начало 1960-х годов — однородных данных радиозондовых наблюдений на глобальной аэрологической сети недостаточно для климатических расчётов ввиду ряда причин [12, 16, 18]. При расчётах были использованы данные радиозондовых измерений, проводимых в сроки 0 и 12 ч ВСВ (Всемирное скоординированное время).

Условием для включения месяца в расчёты трендов было наличие 15 измерений за месяц и 15 лет из рассматриваемого 55-летнего периода наблюдений, включая 2018 год.

Ниже под сезонами подразумеваются: зима: декабрь–февраль; весна: март–май; лето: июнь–август; осень: сентябрь–ноябрь.

На основе данных радиозондирования и СЕ-метода определения границ и количества облачности по профилям температуры и влажности [7] получены оценки многолетних средних значений числа восстановленных облачных слоёв и трендов их аномалий для слоёв атмосферы 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км над уровнем земли.

Определение облачных слоёв по вертикальным профилям температуры и влажности с использованием СЕ-метода проводится в два этапа. На первом этапе определяются их границы по вторым производным температуры T и относительной влажности R по высоте вдоль профилей. Идея состоит в том, что особенности скоростей изменения температуры и влажности с высотой могут быть обусловлены изменениями этих параметров при пересечении радиозондом границ облачных слоёв. За критерий существования облачных слоёв приняты условия, которые должны выполняться одновременно:

$$\begin{cases} T''(h) \geq 0, \\ R''(h) \leq 0, \quad h_1 \leq h \leq h_2 \end{cases}$$

где отрезок $[h_1, h_2]$ есть пересечение отрезка $[h_{1,T}, h_{2,T}]$, для которого $T''(h) \geq 0$, и отрезка $[h_{1,R}, h_{2,R}]$, для которого $R''(h) \leq 0$, при этом должно выполняться требование изменения знака

соответствующей второй производной на противоположный в граничных точках отрезков $[h_{1,T}, h_{2,T}]$ и $[h_{1,R}, h_{2,R}]$. Это означает: точки $h_{1,T}$ и $h_{2,T}$ — точки перегиба профиля T , а $h_{1,R}$ и $h_{2,R}$ — точки перегиба профиля R ; также это означает, что это точки локальных экстремумов первых производных T' и R' (максимума R' в точке $h_{1,R}$ и минимума T' в точке $h_{1,T}$ и, наоборот, минимума R' в точке $h_{2,R}$ и максимума T' в точке $h_{2,T}$). Эти условия были определены в результате сравнения профилей температуры и относительной влажности и их вторых производных с результатами наземных наблюдений за облаками [7, 12, 22]. Наилучшие результаты по определению яруса облаков по предсказанной высоте нижней границы облачного слоя h_1 в сравнении с данными наземных наблюдений о высоте нижней границы облаков [22] были получены при определении h_1 именно как максимума $h_{1,T}$ и $h_{1,R}$. Ниже при расчётах статистических характеристик учитывались облачные слои толщиной, определяемой как $h_2 - h_1$, не менее 50 м, что обусловлено точностью передаваемых в аэрологической телеграмме значений температуры и влажности [6, 12, 23]. Для получения непрерывных вторых производных по вертикальному профилю температуры и влажности используется аппроксимация результатов измерений метеорологических величин кубическими сплайнами с нулевыми граничными условиями для вторых производных [24].

На втором этапе для каждого выделенного ОС по значениям температуры и дефицита точки росы на уровне максимальной относительной влажности внутри ОС по кусочно-линейной аппроксимации диаграммы Арабей–Мошникова [7] определяется степень покрытия небосвода облаками по градациям 0–20, 20–60, 60–80, 80–100 % (см. рис. 1 и табл. 1). За количество облаков в нижнем, среднем и верхнем ярусах [25] принимается максимальное количество облаков в облачных слоях, лежащих внутри соответствующих диапазонов высоты 0–2, 2–6 и 6–10 км.

Уточнение применения диаграммы Арабей–Мошникова, состоящее в определении степени покрытия небосвода облаками по значениям температуры и дефицита точки росы именно на уровне максимальной относительной влажности внутри ОС, выделенного согласно указанному выше критерию существования

облачных слоёв, получено на основании сравнения результатов восстановления границ и количества облачности с результатами наземных наблюдений [22]; такое использование диаграммы позволило увеличить число случаев с правильно предсказанным количеством облачности.

Различные аспекты апробации СЕ-метода рассмотрены в [6, 7, 12].

Для исследования особенностей вертикального распределения статистических характеристик числа ОС с учётом количества облачности и слоя атмосферы они были рассчитаны постанционно для ОС с количеством облаков 0–20, 20–60, 60–80, 80–100, 0–100 % поверхности небосвода в слоях атмосферы 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км для месяцев, сезонов и года. При рассмотрении ОС с фиксированным количеством облаков допускалось существование других ОС. Ниже покрытие небосвода облаками менее 0–20 % называется малым, 20–60 % — рассеянным, 60–80 % — разорванным, 80–100 % — сплошным.

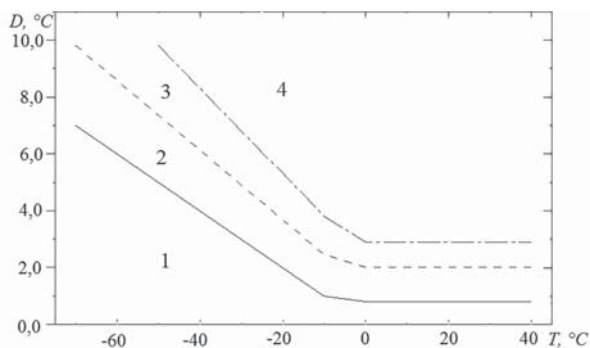


Рис. 1. Кусочно-линейная аппроксимация для диаграммы Арабей–Мошникова определения количества облачности (% покрытия небосвода) по данным радиозондовых наблюдений о дефиците точки росы (D) и температуре (T) [7]: 1 — зона полного насыщения с количеством облачности 80–100 %; 2 — зона неполного насыщения с количеством облачности 60–80 %; 3 — зона частичного насыщения с количеством облачности 20–60 %; 4 — зона сухого воздуха с количеством облачности 0–20 %. Коэффициенты кусочно-линейной аппроксимации приведены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты кусочно-линейной аппроксимации для диаграммы Арабей–Мошникова определения количества облачности по данным радиозондовых наблюдений о дефиците точки росы (D) и температуре (T): $D = aT + b$

Тип линии на рис. 1	$-70\text{ }^{\circ}\text{C} > T \geq -10\text{ }^{\circ}\text{C}$		$0\text{ }^{\circ}\text{C} \geq T > -10\text{ }^{\circ}\text{C}$		$40\text{ }^{\circ}\text{C} \geq T > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	
	a	b	a	b	a	b
—————	-0,1	0	0,02	0,8	0	0,8
-----	-0,1225	1,225	0,045	2,0	0	2,0
-----	-0,15	2,3	0,09	2,9	0	2,9

Тренды были рассчитаны для каждой станции с помощью метода наименьших квадратов. Для определения значимости трендов использовался критерий Стьюдента.

Статистики, полученные для каждой станции, были осреднены с учётом площади влияния станции. Статистики для месяцев и сезонов были двукратно сглажены. Было использовано сглаживание по трём точкам, при котором центральной точке присваивался двойной вес, а двум крайним — единичный вес. Использование сглаженных статистических характеристик позволяет более наглядно представить внутригодовые изменения их вертикальной структуры в изучаемых слоях атмосферы.

Результаты

В табл. 2–4 представлены оценки многолетних средних годовых значений для числа восстановленных по радиозондовым профилям температуры и влажности облачных слоёв, тренды их аномалий, диапазоны внутригодовых изменений многолетних средних месячных значений числа ОС и соответствующих трендов с учётом атмосферного слоя и градации количества облаков для Северного и Южного полушарий и земного шара за период 1964–2018 гг.

Таблица 2

Многолетние средние годовые значения числа восстановленных по радиозондовым профилям температуры и влажности облачных слоёв (n), тренды их аномалий (tr, n за десятилетие) для атмосферных слоёв 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км над уровнем земли с учётом градации количества облачности для территории Северного полушария, диапазоны (Δ) внутригодовых изменений многолетних средних месячных значений числа облачных слоёв и соответствующих трендов, число наблюдений (N , млн). 1964–2018 гг.

Градация количества облачности, % покрытия небосвода	Среднее, n	tr, n за десятилетие	$\Delta_{\text{средние}}, n$	Δ_{tr}, n за десятилетие	N , млн
0–10 км					
0–20	4,1	0,030	4,05–4,21	0,027–0,033	15,7
20–60	1,5	0,005	1,49–1,52	0,004–0,006	8,0
60–80	1,2	0,002	1,19–1,21	0,002–0,003	4,5
80–100	2,8	0,016	2,68–2,95	0,016–0,017	13,2
0–100	6,4	0,043	6,33–6,55	0,037–0,046	18,5
6–10 км					
0–20	1,9	0,009	1,90–2,00	0,008–0,010	12,1
20–60	1,3	0,002	1,24–1,28	0,002–0,003	4,1
60–80	1,1	0,002	1,09–1,10	0,001–0,002	2,40
80–100	1,7	0,009	1,67–1,80	0,008–0,010	6,3
0–100	2,3	0,014	2,25–2,40	0,012–0,015	18,2
2–6 км					
0–20	2,3	0,016	2,25–2,35	0,013–0,018	14,2
20–60	1,2	0,003	1,18–1,20	0,002–0,003	3,5
60–80	1,1	0,001	1,07–1,08	0,001	2,2
80–100	1,7	0,007	1,63–1,69	0,006–0,008	8,5
0–100	2,8	0,019	2,66–2,95	0,016–0,021	19,0
0–2 км					
0–20	1,6	0,006	1,60–1,62	0,006–0,007	10,0
20–60	1,1	0,002	1,14–1,15	0,002	3,4
60–80	1,0	0,001	1,03–1,04	0,001	1,6
80–100	1,6	0,006	1,58–1,64	0,006–0,007	10,2
0–100	2,1	0,009	2,10–2,13	0,009	18,1

Примечание: тренды с доверительной вероятностью менее 95 % отмечены курсивом.

Таблица 3

Многолетние средние годовые значения числа восстановленных по радиозондовым профилям температуры и влажности облачных слоёв (n), тренды их аномалий (tr , n за десятилетие) для атмосферных слоёв 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км над уровнем земли с учётом градации количества облачности для территории Южного полушария, диапазоны (Δ) внутригодовых изменений многолетних средних месячных значений числа облачных слоёв и соответствующих трендов, число наблюдений (N , млн). 1964–2018 гг.

Градация количества облачности, % покрытия небосвода	Среднее, n	tr , n за десятилетие	Δ средние, n	Δ_{tr} , n за десятилетие	N , млн
0–10 км					
0–20	4,5	0,028	4,50–4,60	0,026–0,029	2,8
20–60	1,5	0,005	1,47–1,56	0,004–0,005	1,4
60–80	1,2	0,004	1,19–1,20	0,004	0,6
80–100	2,7	0,023	2,60–2,81	0,022–0,024	2,1
0–100	6,9	0,042	6,83–6,99	0,039–0,046	3,1
6–10 км					
0–20	2,0	0,010	1,98–2,05	0,010	2,3
20–60	1,3	0,003	1,24–1,27	0,003–0,004	0,6
60–80	1,1	0,003	1,09–1,10	0,003	0,3
80–100	1,8	0,013	1,72–1,80	0,012–0,014	0,8
0–100	2,4	0,015	2,35–2,46	0,014–0,015	3,0
2–6 км					
0–20	2,4	0,013	2,43–2,45	0,012–0,013	2,5
20–60	1,2	0,003	1,18–1,23	0,003–0,004	0,6
60–80	1,1	0,002	1,07–1,08	0,002	0,3
80–100	1,7	0,011	1,69–1,78	0,011	1,3
0–100	3,0	0,016	2,89–3,04	0,015–0,017	3,1
0–2 км					
0–20	1,7	0,007	1,69–1,72	0,006–0,007	1,9
20–60	1,1	0,002	1,14–1,15	0,002	0,7
60–80	1,0	0,001	1,03–1,04	0,001	0,2
80–100	1,6	0,008	1,57–1,62	0,007–0,008	1,7
0–100	2,3	0,010	2,26–2,28	0,010–0,011	3,1

Примечание: тренды с достоверной вероятностью менее 95 % отмечены курсивом.

Таблица 4

Многолетние средние годовые значения числа восстановленных по радиозондовым профилям температуры и влажности облачных слоёв (n), тренды их аномалий (tr , n за десятилетие) для атмосферных слоёв 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км над уровнем земли с учётом градации количества облачности для территории земного шара, диапазоны (Δ) внутригодовых изменений многолетних средних месячных значений числа облачных слоёв и соответствующих трендов, число наблюдений (N , млн). 1964–2018 гг.

Градация количества облаков, % покрытия небосвода	Среднее, n	tr , n за десятилетие	Δ средние, n	Δtr , n за десятилетие	N , млн
0–10 км					
0–20	4,2	0,024	4,25–4,36	0,021–0,026	15,4
20–60	1,5	0,004	1,51–1,52	0,003–0,004	7,7
60–80	1,2	0,003	1,19–1,20	0,003	4,1
80–100	2,8	0,017	2,67–2,88	0,016–0,019	12,3
0–100	6,6	0,036	6,59–6,65	0,033–0,038	17,7
6–10 км					
0–20	2,0	0,008	1,98–2,00	0,007–0,009	12,2
20–60	1,3	0,002	1,24–1,27	0,002–0,003	3,7
60–80	1,1	0,002	1,09–1,10	0,002	2,1
80–100	1,7	0,010	1,68–1,80	0,009–0,011	5,5
0–100	2,4	0,013	2,33–2,39	0,012–0,014	17,3
2–6 км					
0–20	2,3	0,013	2,31–2,38	0,012–0,014	13,9
20–60	1,2	0,003	1,19–1,20	0,002–0,003	3,4
60–80	1,1	0,001	1,07–1,08	0,001	2,0
80–100	1,7	0,008	1,68–1,70	0,007–0,009	7,7
0–100	2,9	0,016	2,83–2,98	0,015–0,017	18,1
0–2 км					
0–20	1,6	0,006	1,64–1,66	0,006	10,0
20–60	1,1	0,002	1,14–1,15	0,002	3,6
60–80	1,0	0,001	1,03–1,04	0,001	1,5
80–100	1,6	0,006	1,59–1,61	0,006	9,8
0–100	2,2	0,008	2,16–2,19	0,008–0,009	17,4

Примечание: тренды с доверительной вероятностью менее 95 % отмечены курсивом.

Таблица 5

Изменения числа облачных слоёв, n , за 55-летний период наблюдений — 1964–2018 гг. — для атмосферных слоёв 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км над уровнем земли с учётом градации количества облачности для территории земного шара, Северного и Южного полушарий

Градация количества облачности, % покрытия небосвода	Изменения числа облачных слоёв, n		
	Северное полушарие	Южное полушарие	Земной шар
0–10 км			
0–20	0,165	0,154	0,132
20–60	0,028	0,028	0,022
60–80	0,011	0,022	0,017
80–100	0,088	0,127	0,094
0–100	0,237	0,231	0,198
6–10 км			
0–20	0,050	0,055	0,044
20–60	0,011	0,017	0,011
60–80	0,011	0,017	0,011
80–100	0,050	0,072	0,055
0–100	0,077	0,083	0,072
2–6 км			
0–20	0,088	0,072	0,072
20–60	0,017	0,017	0,017
60–80	0,006	0,011	0,006
80–100	0,039	0,061	0,044
0–100	0,105	0,088	0,088
0–2 км			
0–20	0,033	0,039	0,033
20–60	0,011	0,011	0,011
60–80	0,006	0,006	0,006
80–100	0,033	0,044	0,033
0–100	0,050	0,055	0,044

Рис. 2–4 демонстрируют характер внутригодовых изменений многолетних средних значений числа восстановленных облачных слоёв с разным количеством облачности в разных атмосферных слоях и трендов соответствующих аномалий средних значений числа облачных слоёв, рассчитанных для каждого месяца и сезона для Северного и Южного полушарий и земного шара. Статистики для месяцев и сезонов были двукратно сглажены. Было использовано

сглаживание по трём точкам. В изучаемых слоях атмосферы для обоих полушарий и земного шара тренды аномалий средних значений числа ОС с количеством облаков 0–20, 20–60, 80–100, 0–100 % покрытия небосвода были определены с доверительной вероятностью не менее 95 %, на рисунках они отмечены квадратом с крестом.

На рис. 2–4: а, б — для покрытия небосвода 0–100 %; в, г — 0–20 %; д, е — 20–60 %; ж, з — 60–80 %; и, к — 80–100 %; чёрные линии — для слоя 0–2 км, красные линии — 2–6 км; голубые линии — 6–10 км; зелёные линии — 0–10 км над уровнем земли; сезоны: I — зима (декабрь–февраль); II — весна (март–май); III — лето (июнь–август); IV — осень (сентябрь–ноябрь); квадратом с крестом отмечены тренды с доверительной вероятностью не менее 95 %.

Для числа ОС с количеством облаков 0–100 % покрытия небосвода анализ результатов показал, что:

- средние значения числа ОС и тренды их аномалий зависят от яруса облачности: для каждого месяца (сезона) и года они максимальны для среднего яруса и минимальны — для нижнего яруса для обоих полушарий и земного шара;
- для Северного и Южного полушарий в каждом изучаемом атмосферном слое многолетние средние месячные (сезонные) значения числа ОС и тренды соответствующих аномалий различаются мало;
- максимальные тренды аномалий средних сезонных значений числа ОС в слоях атмосферы 2–6, 6–10 и 0–10 км определены в тёплый сезон.

Согласно расчётам изменения среднегодовых значений числа ОС с количеством облаков 0–100 % покрытия небосвода в слоях 0–2, 2–6, 6–10 и 0–10 км для Северного и Южного полушарий и земного шара за 1964–2018 годы составили 0,050; 0,105; 0,077; 0,237 *n*; 0,055; 0,088; 0,083; 0,231 *n* и 0,044; 0,088; 0,072; 0,198 *n*.

Анализ результатов с учётом количества облаков показал, что для изучаемых слоёв атмосферы над Северным и Южным полушариями и земным шаром средние многолетние значения числа ОС для всех месяцев, сезонов, года и тренды соответствующих аномалий зависят от количества облаков: для малооблачных и сплошных ОС они существенно больше, чем для ОС рассеянной и разорванной облачности.

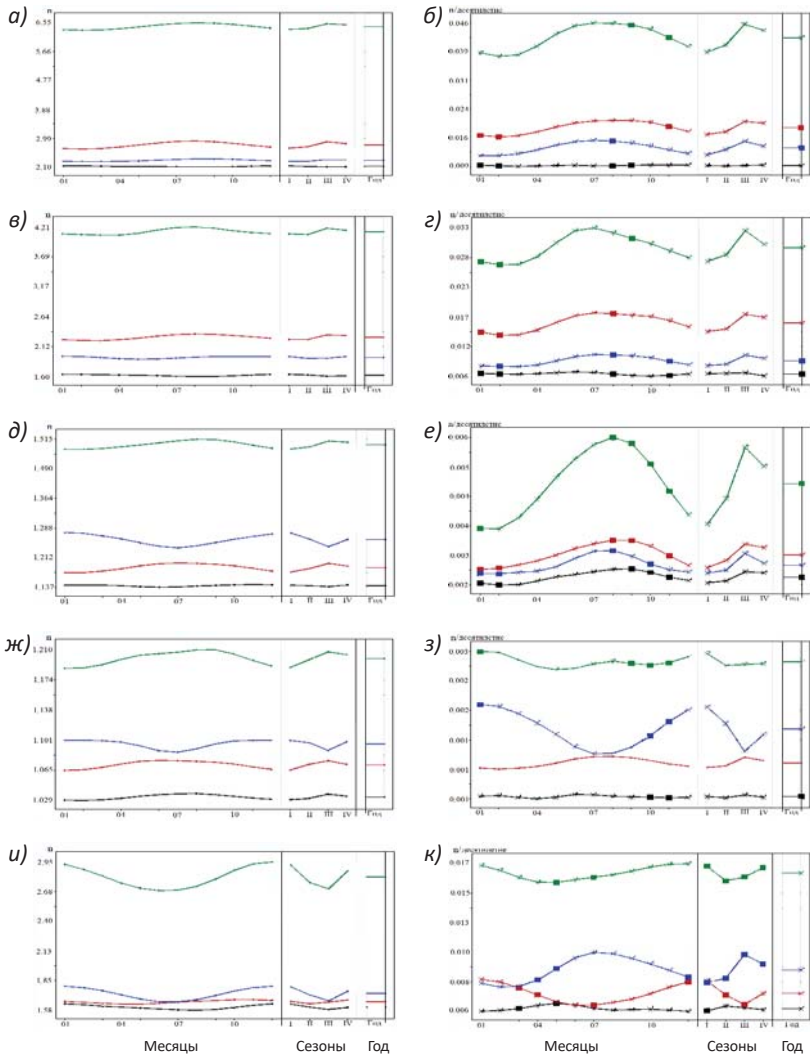


Рис. 2. Многолетние средние значения числа восстановленных по радиозондовым профилям температуры и влажности облачных слоёв (а, в, д, ж, и; n) и тренды аномалий средних значений числа облачных слоёв (б, г, е, з, к; n за десятилетие) с разным количеством облачности в различных атмосферных слоях для каждого месяца, сезона и за год, рассчитанные по данным радиозондирования за 1964–2018 гг. для Северного полушария.

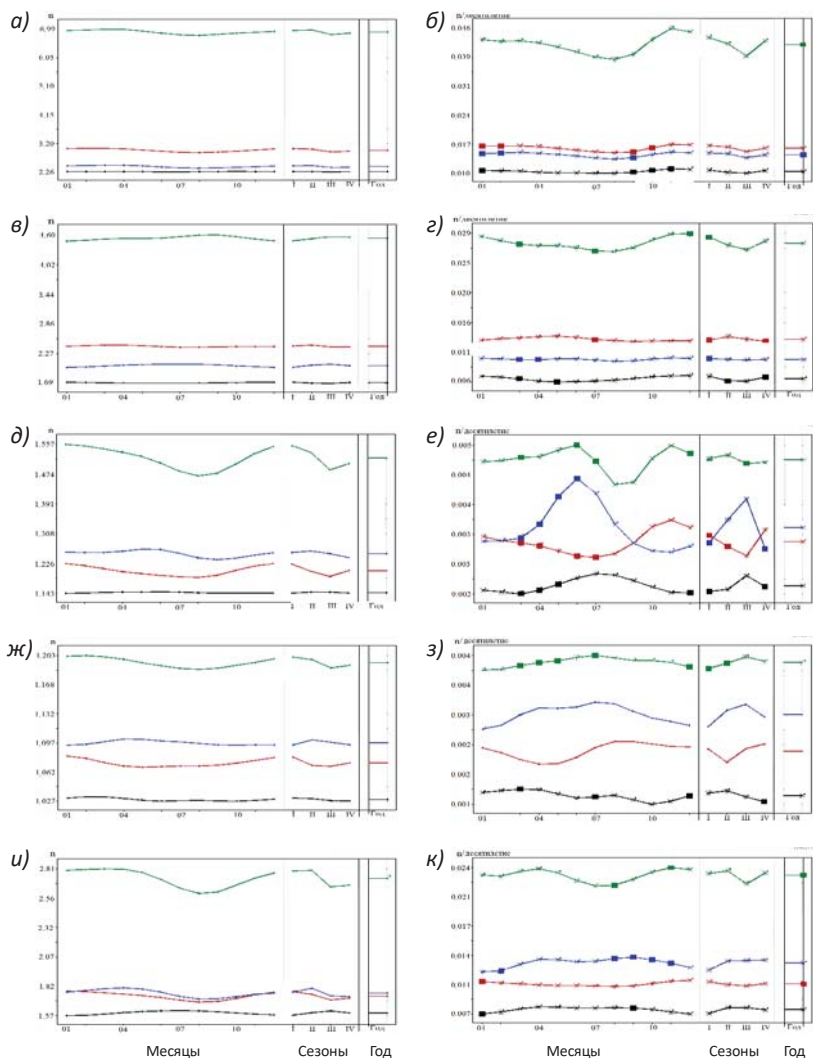


Рис. 3. Многолетние средние значения числа восстановленных по радиозондовым профилям температуры и влажности облачных слоёв (а, в, д, ж, и; n) и тренды аномалий средних значений числа облачных слоёв (б, г, е, з, к; n за десятилетие) с разным количеством облачности для каждого месяца, сезона и за год, рассчитанные по данным радиозондирования за 1964–2018 гг. для Южного полушария.

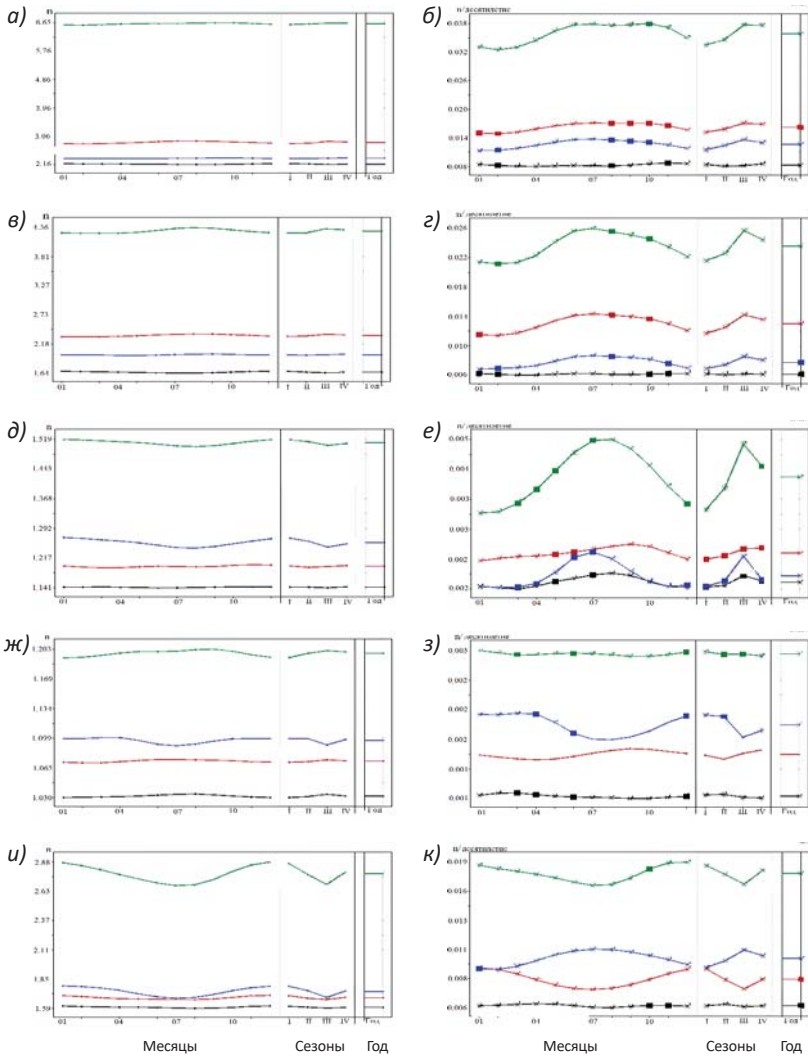


Рис. 4. Многолетние средние значения числа восстановленных по радиозондовым профилям температуры и влажности облачных слоёв (а, в, д, ж, и; n) и тренды аномалий средних значений числа облачных слоёв (б, г, е, з, к; n за десятилетие) с разным количеством облачности в разных атмосферных слоях для каждого месяца, сезона и за год, рассчитанные по данным радиозондирования за 1964–2018 гг. для земного шара.

Заключение

Для Северного и Южного полушарий, земного шара представлены новые знания о вертикальной макроструктуре числа восстановленных облачных слоёв, а именно о внутригодовых изменениях соответствующих многолетних средних значений различного временного масштаба осреднения (месяца, сезона) и трендов соответствующих аномалий в атмосферном слое до высоты 10 км, на основе данных радиозондовых измерений за 1964–2018 годы и использования СЕ-метода определения границ и количества облаков по профилям температуры и влажности.

Анализ расчётов, выполненных на основе глобальных массивов результатов радиозондирования за 1964–2018 гг. показал, что вертикальная макроструктура средних значений числа облачных слоёв, линейных трендов их аномалий неоднородна в атмосферном слое 0–10 км над уровнем подстилающей поверхности для земного шара, для Северного и Южного полушарий.

Представленные оценки средних многолетних значений числа ОС различного масштаба осреднения согласуются с данными самолётного зондирования атмосферы, радаров, с оценками, полученными с использованием свободных аэростатов и по данным радиозондирования. В частности, по данным самолётного зондирования [13] примерное постоянство распределения расслоённости облаков в течение года отмечено А.М. Барановым и А.М. Боровиковым; по результатам исследований Л.П. Упоровой, число облачных слоёв может достигать 8 слоёв. Слоистая структура атмосферы, в которой зоны высокой и низкой относительной влажности чередуются с ростом высоты, их количество может достигать 10–12, была зарегистрирована с использованием свободных аэростатов при помощи аттестованных прецизионных малоинерционных приборов М.Б. Фридзоном [14]. По данным радиозондирования с использованием для определения облачных слоёв некоторого критического значения влажности их число достигало 5 слоёв, а по данным приблизительно синхронных измерений радаров — 4 слоя [26]. Различия в оценках числа ОС могут быть обусловлены различиями методик определения облачных слоёв и расчёта, периодов наблюдений, периодичности и регулярности наблюдений, региона исследования [13, 27].

К возможным причинам определённых изменений числа ОС, восстановленных по вертикальным радиозондовым профилям температуры и влажности, следует отнести зафиксированные по данным наблюдений климатические изменения температуры и влажности на уровне земли и в атмосфере [4], повторяемости различных форм облачности [28].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Climate Change 1995. The Science of Climate Change // IPCC. Cambridge: University Press, 1996. 572 p.*
2. *Марчук Г.И., Кондратьев К.Я., Козодеров В.В., Хворостьянов В.И. Облака и климат. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 512 с.*
3. *Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // IPCC. U.K. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 996 p.*
4. *IPCC 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change /Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.) // IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151 p.*
5. *Алдухов О.А., Черных И.В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 1: Контроль качества и обработка данных. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2013. 306 с.*
6. *Черных И.В., Алдухов О.А. Об определении вертикального распределения облачных слоёв по данным радиозондирования атмосферы // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2004. Т. 40, № 1. С. 45–59.*
7. *Chernykh I.V., Eskridge R.E. Determination of cloud amount and level from radiosonde soundings // J. Appl. Meteorol. 1996. V. 35. P. 1362–1369.*
8. *Черных И.В., Алдухов О.А. Долгопериодные оценки характеристик вертикального распределения облачных слоёв по данным радиозондирования атмосферы // Метеорология и гидрология. 2016. № 4. С. 5–17.*
9. *Черных И. В., Алдухов О.А. Оценки числа облачных слоёв по данным радиозондирования атмосферы за 1964–2014 гг. на российских станциях // Метеорология и гидрология. 2018. № 3. С. 29–39.*
10. *Eskridge R.E., Alduchov O.A., Chernykh I.V. et al. A comprehensive aerological reference dataset (CARDS): rough and systematic errors // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1995. V. 76. P. 1759–1775.*
11. *Stephens G., Winker D., Pelon J. et al. CLOUDSAT and CALIPSO within the A-TRAIN ten years of actively observing the earth system // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2018. V. 99. P. 569–581.*
12. *Алдухов О.А., Черных И.В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 2: Восстановленные облачные слои. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2013. 152 с.*
13. *Дубровина Л.С. Облака и осадки по данным самолётного зондирования. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 216 с.*

14. Фридзон М.Б. Методология радиозондирования атмосферы и достоверность измерений вертикальных профилей температуры и влажности до высот 35–40 км: автореф. дис. на соискание учёной степени доктора техн. наук. М., 2004. 35 с.

15. Алдухов О.А., Черных И.В. Сезонные и географические особенности вертикальной структуры трендов температуры в атмосфере Земли (в слое 0–30 км), оценённые по данным радиозондирования // Фундаментальная и прикладная климатология. 2023. Т. 9, № 4. С. 482–505. doi: 10.21513/2410-8758-2023-4-482-505.

16. Стерин А.М. О чувствительности оценок трендов температуры тропосферы и нижней стратосферы по данным радиозондирования. 1: Выбор массива данных, длины ряда и методов анализа // Метеорология и гидрология. 2004. № 5. С. 21–36.

17. Gaffen D.J. Historical Changes in Radiosonde Instruments and Practices // Instruments and Observing Methods. 1993. Rep. N 50. Geneva, WMO. 123 p.

18. Зайцева Н.А. Аэрология. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 325 с.

19. Alduchov O.A., Eskridge R.E. Improved Magnus form approximation of saturation vapor pressure // J. Appl. Meteorol. 1996. V. 35. P. 601–609.

20. Garand L., Grassotti C., Halle J. et al. On differences in radiosonde humidity-reporting practices and their implications for numerical weather prediction and remotes sensing // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1992. V. 73. P. 1417–1423.

21. Руденкова Т.В. Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 174. С. 41–63.

22. NCDC. TD-3280 Surface Airways Hourly. Internal Report of the National Climatic Data Center. NCDC. 1991. 40 p.

23. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 4: Аэрологические наблюдения на станциях. Ч. 3а: Температурно-ветровое зондирование атмосферы системой «Метеорит» - РКЗ. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 256 с.

24. Де Бор К. Практическое руководство по сплайнам. М.: Радио и связь. 1985. 304 с.

25. World Meteorological Organization. International Cloud Atlas. Geneva: WMO, 1956. 72 plates. 62 p.

26. Zhang J., Li Z., Chen H. et al. Validation of radiosonde-based cloud layer detection method against a ground-based remote sensing method at multiple ARM sites // J. Geophys. Res. Atmos. 2013. V. 118. P. 846–858.

27. Черных И.В., Алдухов О.А. Долгопериодные оценки числа облачных слоёв по данным радиозондирования атмосферы за 1964–2017 гг. в разных в широтных зонах // Метеорология и гидрология. 2020. № 4. С. 18–32.

28. Sun B., Groisman P.Y., Mokhov I.I. Recent changes in cloud-type frequency and inferred increases in convection over the United States and the former USSR // J. Climate. 2001. V. 14. P. 1864–1880.

УДК 551.465

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЧЁРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

А.М. Булыгин¹, О.Г. Вишневу²

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
¹ bam524@mail.ru, ² vishniovoleg@gmail.com*

Введение

Глобальное потепление климата сказывается на изменчивости гидрологического режима любого водного объекта, Чёрное море — не исключение. Рост температуры приземного воздуха, зафиксированный с середины восьмидесятых годов прошлого столетия, неминуемо привёл к соответствующему отклику термического режима океанов и морей. Температура поверхностного слоя, фактически — температура верхнего перемешанного слоя, является важнейшей гидрологической характеристикой, во многом определяющей процессы, происходящие в деятельном слое моря. Для Чёрного моря, в котором активная биологическая жизнь заперта в верхнем 150-метровом аэробном слое, это влияние особенно значимо. В последние годы аэробный слой в Чёрном море вследствие роста вертикальной устойчивости за счёт роста температуры ВКС уменьшается [1, 2]. Как следствие, мониторинг изменчивости ТПМ оказывается крайне важной задачей — не только как параметра теплового состояния деятельного слоя моря, но и как значимого фактора, определяющего биопродуктивность Чёрного моря [3].

Спутниковая система мониторинга открывает возможность непрерывного наблюдения за изменениями, происходящими в море, анализ которых позволяет оперативно обнаруживать опасные тенденции изменений отдельных гидрометеорологических параметров, в частности — температуры поверхности по всей акватории моря.

Материалы и методы

В работе были использованы временные ряды среднемесячных и среднегодовых значений ТПМ за 1982–2023 годы. Эти ряды получены из находящейся в открытом доступе базы данных обработанных спутниковых измерений ТПМ ресурса Copernicus Marine Service Европейского аэрокосмического агентства [4]. Набор данных представляет собой последовательные временные ряды ТПМ с 1 января 1982 года по 31 декабря 2023 года. Данные состоят из ежедневных (ночных) интерполированных спутниковых измерений ТПМ с пространственным разрешением $0,05^\circ$. Спутниковые измерения ТПМ получены с помощью инфракрасных датчиков серии AVHRR, (A)ATSR и SLSTR.

На основе этих данных путём прямого осреднения были получены ряды среднемесячных и среднегодовых значений ТПМ по всей акватории Чёрного моря и по его отдельным районам — северного, западного, центрального и восточного. Указанные районы представлены на рис. 1. Также был рассчитан средний многолетний сезонный ход ТПМ по всей акватории моря и по выделенным районам. Тренды ТПМ были рассчитаны методом линейной регрессии.



Рис. 1. Районы, по которым проводилось осреднение

Межсезонная изменчивость ТПМ

На рис. 2 показан сезонный ход ТПМ за четыре периода, начиная с 1982 и до 2023 года. Из графика видно, что за последние 40 лет среднемесячные значения ТПМ увеличились. При этом повышение температуры происходило неравномерно. В период с 1992 по 2002 год повышение наблюдается главным образом в летние месяцы, особенно в июле и августе, где средняя ТПМ была на 0,9 °С выше, чем за тот же период предыдущего десятилетия. В зимний период повышение ТПМ было незначительным и составляло порядка 0,1 °С. В последние два десятилетия ситуация меняется: наибольший рост среднемесячной ТПМ отмечается в холодное время года, а также в мае; наименьший — в августе и октябре. В целом наиболее значительное повышение ТПМ произошло в период с 2002 по 2011 год. Исключение составляет весенний период, где наибольший рост ТПМ пришёлся на последнее десятилетие. Важно также отметить постепенное снижение темпа роста ТПМ.

Кривая годового хода сохраняет свой вид для всех проанализированных периодов. Максимальных значений величина ТПМ достигает в августе. В последние десятилетия минимальные значения ТПМ в Чёрном море наблюдаются в феврале. Сказывается

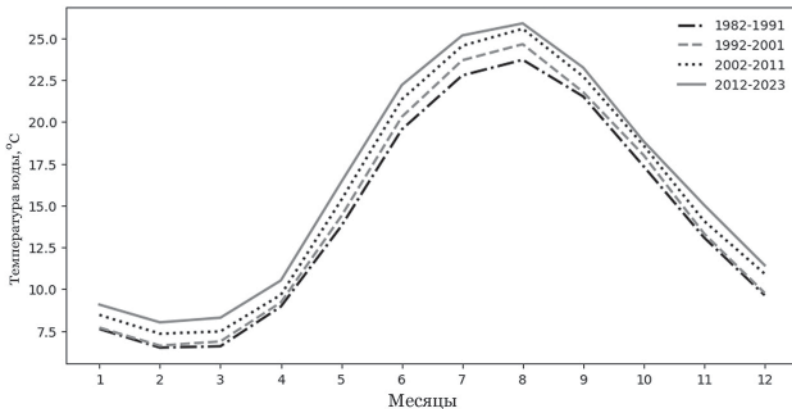


Рис. 2. Сезонный ход температуры поверхности (всё море) по четырём периодам: с 1982 по 1991, с 1992 по 2001, с 2002 по 2011 и с 2012 по 2023 гг.

малое количество холодных зим. В частности, за последние 10 лет лишь одна зима в Черноморском регионе может быть оценена как «условно холодная» [1], все остальные — аномально тёплые. В то же время в период с 1982 по 1991 год холодные зимы наблюдались регулярно. Продолжительность периода отрицательных значений температуры приземного воздуха была больше. Именно поэтому в тот период минимальные значения ТПМ часто наблюдались в марте. Сезонный ход ТПМ вычислялся по морю в целом и по четырём районам (рис. 3).

По выделенным районам Чёрного моря средний годовой ход ТПМ за выбранные периоды по большей части повторяет общий ход ТПМ по всему морю. Однако проявляются и некоторые особенности. Так, в восточной части моря (рис. 3Б) в период 1992–2002 гг. в летний сезон наблюдалось наибольшее повышение ТПМ по сравнению с другими районами моря. Рост среднемесячной ТПМ за август превысил $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Близкий по значению рост ТПМ в той же части моря наблюдался в период 2012–2023 гг., но уже в мае, июне и октябре. В тот же период в западной и северной частях моря (рис. 3А, В) зимой происходило даже небольшое уменьшение ТПМ по сравнению с предыдущим десятилетием. Наиболее значительное повышение средних значений ТПМ в северной части моря (рис. 3В) происходило в период 2002–2011 гг. В течение этого промежутка времени в мае, июне, августе и декабре рост средней ТПМ составил более $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. В центральной части моря среднемесячных значений ТПМ (рис. 3Г) в целом повторяет ход ТПМ для моря в целом.

Межгодовая изменчивость ТПМ

На рис. 4 представлен график среднегодовых значений ТПМ в период с 1982 по 2023 год, а также линии линейного тренда для четырёх периодов и за весь период в целом. График показывает, что с первой половины 90-х годов средние значения ТПМ возрастают, что согласуется с результатами и выводами, полученными ранее другими исследователями. Важно также, что между собой хорошо согласуются результаты, в основе которых лежали расчёты, выполненные на основе данных, получаемых с различных наблюдательных платформ [5, 6].

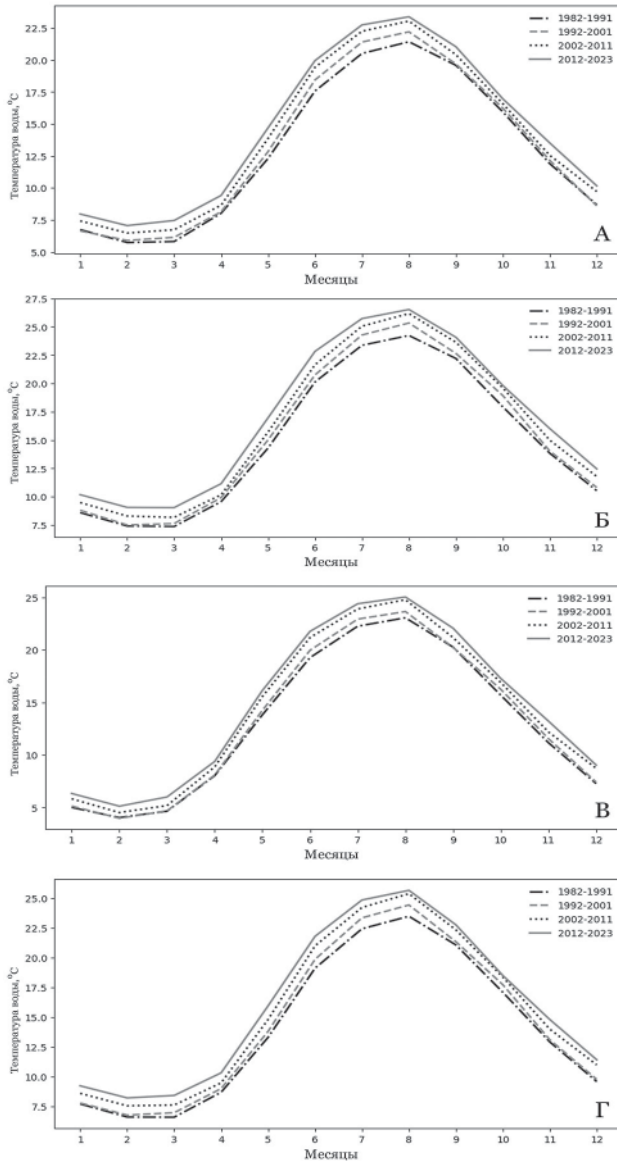


Рис. 3. Сезонный ход ТПМ Чёрного моря: А — западная, Б — восточная, В — северная, Г — центральная части моря. Периоды: 1982–1991, 1992–2001, 2002–2011, 2012–2023 гг.

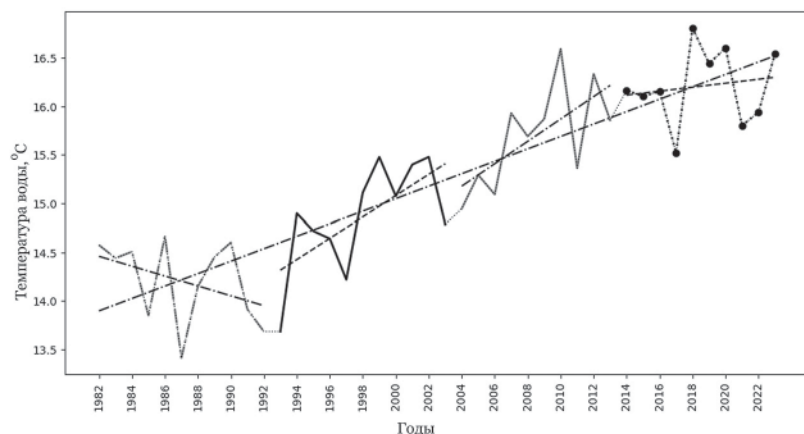


Рис. 4. ТПМ (всё море) по четырём периодам (с 1982 по 1992, с 1993 по 2003, с 2004 по 2014 и с 2015 по 2023 гг.) с трендами по каждому периоду и с общим трендом по всему периоду (с 1982 по 2023 г.).

$$Tr_{1982-1992} = -0,051 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{год}; \quad Tr_{1993-2003} = 0,109 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{год};$$

$$Tr_{2004-2014} = 0,108 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{год}; \quad Tr_{2015-2023} = 0,025 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{год}.$$

Линейные тренды многолетней изменчивости ТПМ в Чёрном море до 2013 и 2015 годов включительно исследовались в [7, 8]. Отмечаются положительные значения линейного тренда на горизонтах 0, 50, 100, 200 и 500 метров. Вычисленное значение тренда ТПМ на горизонте 0 метров за период с 1982 по 2023 год, полученное в рамках настоящей работы, составило $0,064 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{год}$. При этом, как было отмечено выше, температура на нулевом горизонте за период в 41 год изменялась неравномерно как по времени, так и по пространству. В течение 80-х и в начале 90-х годов прошлого века наблюдался даже отрицательный тренд с величиной минус $0,051 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{год}$. Период, начиная с 1993 и по 2003 год, характеризуется наибольшим повышением ТПМ. Величина тренда за этот период равна $0,109 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{год}$. Далее происходит постепенное уменьшение величины тренда. В период с 2004 по 2014 год величина тренда равнялась $0,108 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{год}$, в период с 2015 по 2023 год величина тренда составила $0,025 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{год}$.

Особенно характерны различия в темпе потепления между западным и восточным районами моря. В 1993–2014 гг. в

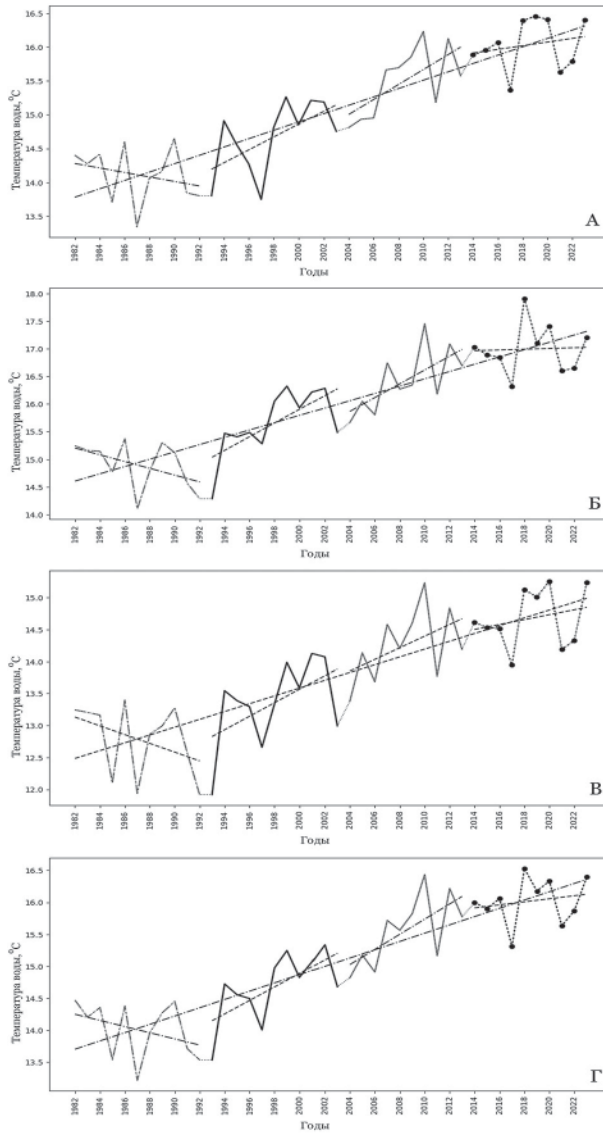


Рис. 5. ТПМ. Чёрное море: А — западная, Б — восточная, В — северная, Г — центральная части моря. Четыре периода: с 1982 по 1992, с 1993 по 2003, с 2004 по 2014, с 2015 по 2023 гг. с линейными трендами по каждому и с трендом по всему периоду

восточном районе моря потепление происходило быстрее, чем в остальных районах (рис. 5Б). Но также в восточной части моря в 2015–2023 гг. наблюдается наименьшая величина тренда, равная $0,007$ °C/год, в то время как в западной части моря величина тренда равнялась $0,027$ °C/год (рис. 5А), в северной — $0,038$ °C/год (рис. 5В). В центральной части моря (рис. 5Г) величины тренда близки к значениям тренда по морю в целом. Другими словами, в последние годы темп потепления снизился в наиболее тёплом восточном районе моря, в то время как в наиболее холодной северной и западной частях претерпел хоть и значительное, но меньшее изменение.

Заключение

В результате анализа межгодового и межсезонного хода ТПМ было выявлено повышение ТПМ начиная с первой половины 1990-х годов. В то же время была отмечена неравномерность роста ТПМ в различных районах Чёрного моря и в разные временные промежутки.

Наибольший темп роста ТПМ наблюдался в период 2004–2013 гг., для которого величина линейного тренда была максимальной по сравнению с другими рассматриваемыми периодами. В северной мелководной части Чёрного моря наблюдалась другая картина: в этом районе наибольшая величина линейного тренда пришлась на период с 1993 по 2003 год. В последующий период наблюдается значительное уменьшение величины линейного тренда ТПМ, что указывает на снижение темпа разогрева поверхностного слоя воды в этой части Чёрного моря.

Уменьшение скорости роста среднегодовых значений ТПМ происходит неравномерно в разных частях моря. Максимальное уменьшение скорости роста зафиксировано в восточной — самой тёплой — части моря. Здесь величина линейного тренда, рассчитанного за период с 2015 по 2023 год составила всего $0,007$ °C/год. Заметим, что в предыдущий период величина тренда ТПМ в этом районе была максимальной среди всех районов моря и составляла $0,125$ °C/год.

За период с 2015 по 2023 год скорость роста среднегодовых значений температуры воды в поверхностном слое уменьшилась во всех выделенных районах Чёрного моря. Это, безусловно, положительная тенденция, если говорить о влиянии термического режима

на биоэкологию Чёрного моря. Повторим, максимум уменьшения зафиксирован в восточной части моря. Тем не менее, знак тренда всё ещё остаётся положительным для всех районов моря. Заметим, что в этот же период наибольший темп роста среднегодовых значений ТПМ наблюдается в северной части Чёрного моря.

Повышение среднемесячных значений ТПМ наблюдалось в течение всего рассматриваемого периода (с 1982 г.). В первое десятилетие средние значения ТПМ росли, главным образом в летнее время. В то же время зимой средние значения ТПМ в некоторых районах моря даже понижались. В последующее время ситуация качественно изменилась. Начиная с 1993 года наблюдался только рост среднемесячных значений. Если акцентировать внимание на последнем проанализированном периоде, то наибольший рост в 2012–2023 годах приходится на весну и конец осени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бюллетень гидрометеорологического состояния Чёрного и Азовского морей в 2022 году* / Под ред. А.М. Булыгина. М., 2023. 197 с.
2. *Булыгин А.М и др.* Новая география Чёрного моря. Калуга: «Наша полиграфия», 2023. 207 с.
3. *Полонский А.Б., Котолупов А.А.* Долгопериодная изменчивость растворённого кислорода и температуры верхнего слоя вод Чёрного моря // *Океанология*. 2019. Том 59, № 1. С. 22–32.
4. *Copernicus Marine Data Store*. <https://data.marine.copernicus.eu/> (дата последнего обращения: 11.04.2024).
5. *Костяной А.Г., Терзиев Ф.С., Гинзбург А.И., Заклинский Г.В., Филиппов Ю.Г., Лебедев С.А., Незлин Н.П., Шеремет Н.А.* Южные моря // *Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации*. Том II: Последствия изменения климата. М.: Росгидромет, 2008. С. 149–167.
6. *Подымов О.И., Зацепин А.Г., Очередник В.В.* Рост солёности и температуры в деятельном слое северо-восточной части Чёрного моря с 2010 по 2020 год // *Морской гидрофизический журнал*. 2021. Т. 37, № 3. С. 279–287. doi: 10.22449/0233-7584-2021-3-279-287/ (дата последнего обращения: 01.09.2024).
7. *Полонский А.Б., Шокурова И.Г., Белокопытов В.Н.* Десятилетняя изменчивость температуры и солёности в Чёрном море // *Морской гидрофизический журнал*. 2013. № 6. С. 27–41.
8. *Miladinova S., Stips A., Garcia-Gorriz E., Macias Moy D.* Black Sea thermohaline properties: Long-term trends and variations // *J. Geophys. Res. Oceans*. 2017. V. 122(7). P. 5624–5644, doi: 0.1002/2016JC012644/ (дата последнего обращения: 20.08.2024).

УДК 551.465

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОХАЛИННОГО РЕЖИМА АЗОВСКОГО МОРЯ В ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

**А.А. Воронцов¹, А.М. Булыгин²,
С.А. Баталкина³, Г.И. Нефёдова⁴**

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,

¹ av10921@meteo.ru, ² bam524@mail.ru,

³ slim@meteo.ru, ⁴ gin@meteo.ru

Введение

Термохалинный режим Азовского моря в течение последних десятилетий в полной мере соответствует происходящим современным климатическим изменениям.

Для исследования характера изменений гидрометеорологического режима Азовского моря проанализированы изменения базовых параметров морской среды — температуры и солёности. Характерной особенностью Азовского моря является его мелководность, поэтому нередко наблюдается термохалинная квазиоднородность, особенно в переходные периоды — от зимы к лету и от лета к зиме, когда происходит усиление ветров, что интенсифицирует вертикальное перемешивание вод [1].

Среднегодовые значения температуры и солёности морской воды составляют для открытого моря 18,1 °С и 9,8 ‰, для прибрежной зоны — 12,6 °С и 8,7 ‰ соответственно.

Исходные данные

В настоящей работе использованы данные наблюдений на прибрежных гидрометеорологических станциях Азовского моря (Керчь, Опасное, Таганрог, Ейск, Темрюк, Приморско-Ахтарск, Тамань) и экспедиционные данные океанографических наблюдений на судах в открытом море за последние десятилетия [2, 3].

Расположение ГМС показано на рис. 1.



Рис. 1. Схема расположения ГМС на побережье Азовского моря

Карты освещённости данными океанографических экспедиционных наблюдений за температурой и солёностью морской воды по акватории Азовского моря за весь период наблюдений показаны на рис. 2 и 3.

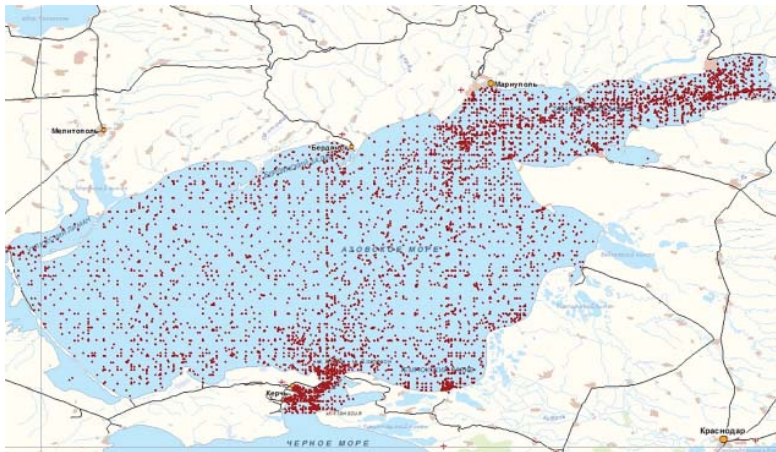


Рис. 2. Схема расположения станций, по данным которых рассчитаны режимные характеристики температуры морской воды

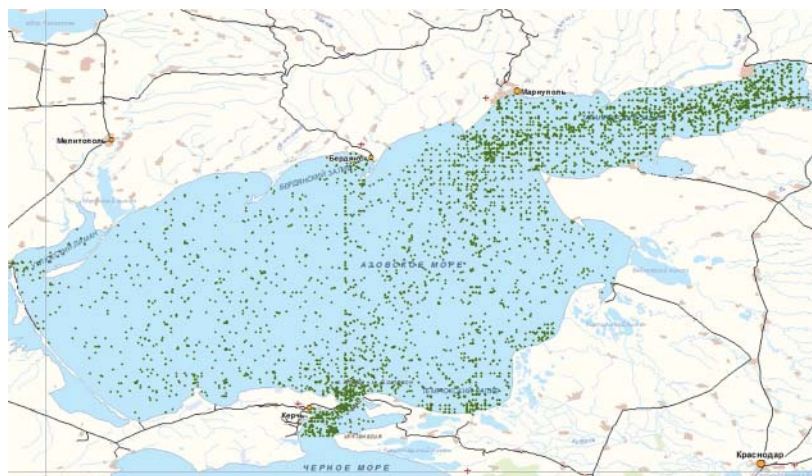


Рис. 3. Схема расположения станций, по данным которых рассчитаны климатические характеристики солёности морской воды

Оценка климатических значений температуры и солёности морской воды в открытом море была выполнена по проконтролированному массиву океанографических данных. При этом исходные данные не фильтровались и не «взвешивались». Средние значения вычислялись по всему объёму наблюждённых данных. Следует отметить, что максимальное количество данных наблюдений в открытом море приходится на конец прошлого столетия. Данные наблюдений на ГМС в основном взяты за период с 1977 года, на отдельных станциях есть ряды наблюдений, начиная с 1924 года.

Термохалинный режим Азовского моря

Основные параметры гидрологического режима Азовского моря обусловлены его мелководностью, стоком больших и малых рек, водообменом с Чёрным морем и метеоусловиями [4].

Мелководность моря и динамическое воздействие атмосферы формируют влияние метеопараметров, в основном ветра, что обуславливает достаточно однородную структуру вертикального распределения температуры воды. Речной сток, приток

черноморских вод, соотношение режимов осадков и испарения обуславливают вертикальное и горизонтальное распределение солёности морской воды.

Надо отметить, что гидрометеорологические условия Азовского моря были исследованы достаточно подробно в прежние годы [4–8].

Однако современное глобальное потепление оказывает существенное влияние на гидрометеорологический режим всех морей и океанов. Азовское море не исключение.

Вначале рассмотрим термический режим моря.

Температура воды летом на поверхности в среднем составляет 23–24 °С. В зимний период средние значения меняются от 0 °С на северо-востоке моря до 3 °С — на юге.

Как отмечалось выше, многолетняя среднегодовая температура воды на поверхности моря равна 12,6 °С. Распределение температуры по вертикали неодинаково в разные сезоны: осенью и зимой она повышается с глубиной, весной и летом картина прямо противоположная. Разность средних температур поверхности и дна достигает 6 °С.

Карта среднегодовалого распределения температуры поверхностного слоя вод Азовского моря в зимний период показана на рис. 4, а на рис. 5 показано распределение температуры поверхностного слоя в летний период.

Многолетняя динамика температуры воды по акватории моря в целом как на поверхности (рис. 6), так и в придонном слое (рис. 7) характеризуется своим повышением (коэффициент линейного тренда положителен и лежит в интервале 0,078–0,095).

Приведённые характеристики графиков (рис. 6 и 7) позволяют выделить как минимум два интервала: 1946–1966 гг. и 1966 г. – настоящее время, которые характеризуются разными по знаку трендами изменчивости температуры воды.

В первом — наблюдалась тенденция понижения температуры воды и уравнение линейного тренда можно записать как $y = -0,2427x + 17,975$, а во втором — $y = 0,1221x + 14,442$. Отметим также, что в целом за весь представленный период наблюдается рост температуры воды, другими словами — в течение

последних 60–70 лет температура воды в Азовском море неуклонно повышается.



Рис. 4. Распределение среднегогодовой температуры воды ($^{\circ}\text{C}$) по акватории Азовского моря в зимний период



Рис. 5. Распределение среднегогодовой температуры воды ($^{\circ}\text{C}$) по акватории Азовского моря в летний период

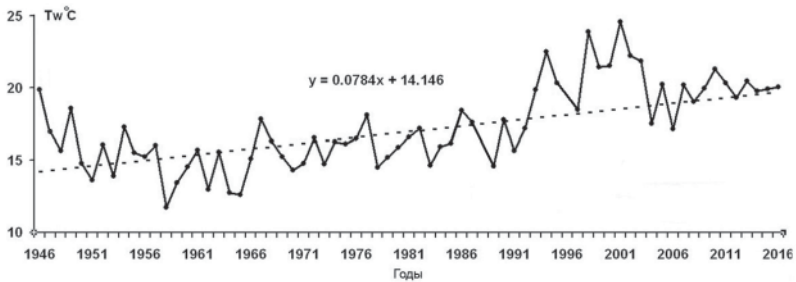


Рис. 6. Временной ход среднегодовой температуры морской воды (°C) на поверхности

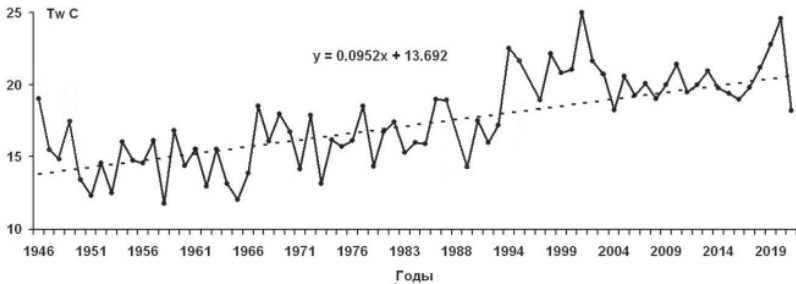


Рис. 7. Временной ход среднегодовой температуры морской воды (°C) у дна

График годового хода температуры воды (рис. 8) смещён несколько вправо и имеет более плавный переход между холодным и тёплым сезонами, чем переход от тёплого сезона к холодному. Максимум температуры отмечается в июле-августе, минимум — в феврале, что не противоречит полученным ранее оценкам.

Рассматривая данные по открытому морю за последний тридцатилетний период (1991–2020 гг.), в качестве климатологических стандартных норм можно отметить, что в летние месяцы температура воды стала выше, чем за весь период наблюдений, а в зимние месяцы — ниже, хотя среднегодовые значения за многолетний период (1991–2020 гг.), равные 12,85 °C, несколько выше средних за весь период (12,63 °C).

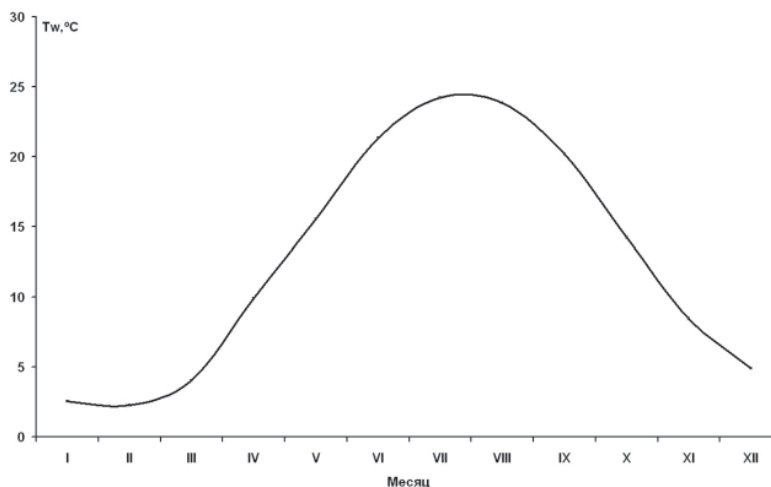


Рис. 8. Годовой ход среднемесячной температуры морской воды (°C)

Среднемесячные значения средних температур воды, рассчитанные за различные периоды, представлены в табл. 1.

Там же в качестве примера приведены характеристики годового хода температуры воды на ГМС Приморско-Ахтарск.

Таблица 1

Характеристики годового хода температуры воды T_w (°C) в Азовском море

Месяц	Средняя T_w (°C) за многолетний период в открытом море	Средняя T_w (°C) за период 1991–2020 гг. в открытом море	Средняя T_w (°C) за многолетний период на ГМС Приморско- Ахтарск
I	2,54	1,90	0,93
II	2,27	1,99	1,04
III	4,05	4,73	3,99
IV	9,93	10,60	11,14
V	15,55	14,88	17,94
VI	21,35	21,65	22,70
VII	24,20	24,51	24,89
VIII	23,85	24,42	24,10
IX	20,18	20,92	18,89
X	14,22	14,44	12,43
XI	8,49	10,06	5,93
XII	4,93	4,06	1,96

В мелководных прибрежных районах средняя температура воды зимой оказывается ниже, чем в открытом море, а летом за счёт более интенсивного прогревания — выше.

Анализ характеристик температуры воды в прибрежных районах (табл. 2) последнего тридцатилетнего периода (1991–2020 гг.) и за весь период (1977–2023 гг.) показывает, что тенденция потепления видна и здесь: аномалии температуры воды на выбранных ГМС все положительные и колеблются в пределах от 0,10 до 0,45 °С.

Таблица 2

**Среднегодовые характеристики температуры воды T_w (°С)
на ГМС Азовского моря**

Наименование ГМС	1991–2020 гг.	1977–2023 гг.	Аномалии
Керчь	13,56	13,21	0,35
Опасное	13,48	13,03	0,45
Таганрог	11,95	11,82	0,13
Ейск-порт	12,54	12,34	0,20
Приморско-Ахтарск	12,42	12,32	0,10
Темрюк-порт	13,24	13,13	0,11
Тамань	13,52	13,23	0,29

В прибрежных районах температура воды также неуклонно повышается, в качестве примера на рис. 9 показан график временного хода среднегодовой температуры воды на станции Ейск. За последние 100 лет тренд положителен. Тенденция повышения температуры морской воды с годами усиливается, и в последние 30 лет в современный климатический период положительный тренд усилился практически на порядок (рис. 10).

Характеристики линейного тренда в прибрежных районах Азовского моря на ряде станций изменялись в пределах от 0,0225 до 0,0860.

Солёность вод является ключевым гидрохимическим и экологическим фактором для любого водоёма, особенно на юге страны.

Солёность Азовского моря начали изучать ещё в конце XIX столетия, но закономерности динамики и прогноз изменения её режима всегда будут актуальными.

Средняя солёность Азовского моря, полученная на основе данных океанографических наблюдений, лежит в пределах 11–12 ‰.

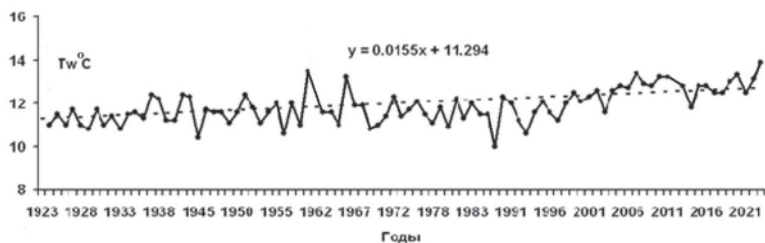


Рис. 9. Временной ход среднегодовой температуры морской воды (°C) на ГМС Ейск за период 1923–2023 гг.

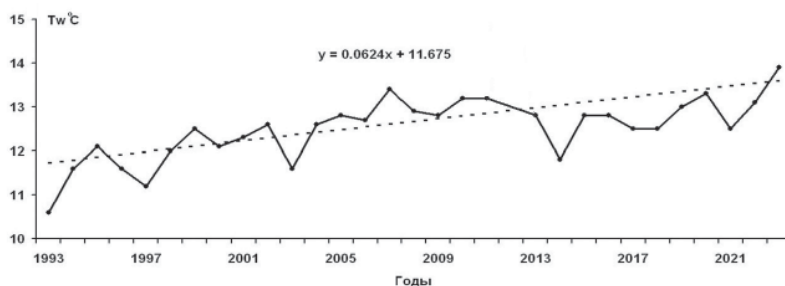


Рис. 10. Временной ход среднегодовой температуры морской воды (°C) на ГМС Ейск за период 1993–2023 гг.

Пространственное распределение солёности характеризуется наличием значительных горизонтальных градиентов. Наиболее ярко они проявляются во фронтальных зонах вблизи Керченского пролива, а также в районе Таганрогского залива, где более всего сказывается влияние стока Дона. Амплитуда сезонных колебаний солёности лежит в пределах 1 ‰.

Карта среднемноголетнего распределения солёности поверхностного слоя вод Азовского моря в зимний период показана на рис. 11.

Характерной особенностью является минимум солёности на северо-востоке моря (эффект распреснения донской водой) и максимум — в районе Керченского пролива (влияние поступающей через пролив более солёной черноморской воды).

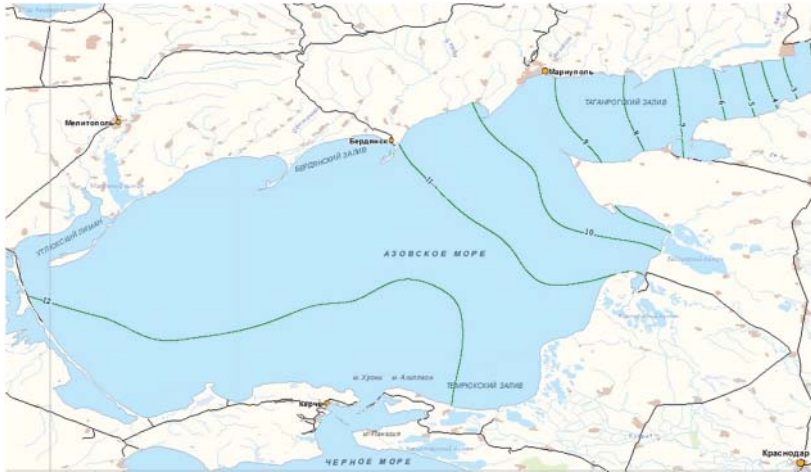


Рис. 11. Распределение среднегодовых значений солёности (%) по акватории Азовского моря зимой

Карта среднегодового распределения солёности поверхностного слоя вод Азовского моря летом приведена на рис. 12.

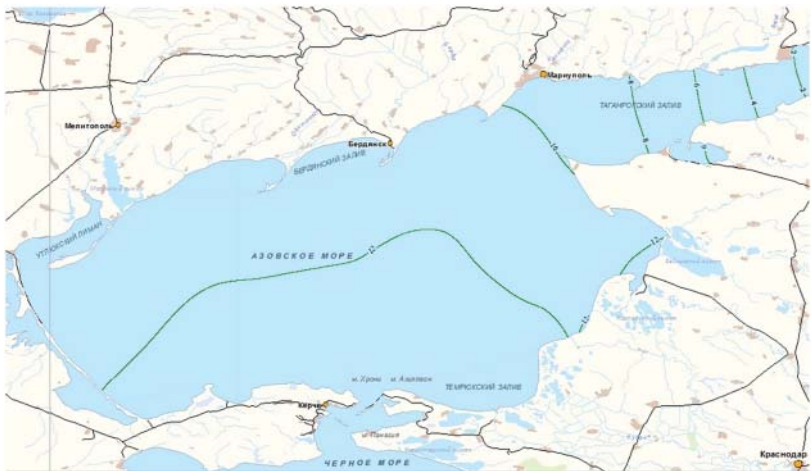


Рис. 12. Распределение среднегодовых значений солёности (%) по акватории Азовского моря в летний период

График многолетней изменчивости средних по акватории значений солёности (рис. 13) иллюстрирует периоды значительного осолонения и периоды распреснения вод Азовского моря.



Рис. 13. Временной ход солёности морской воды (‰) на 0 м

Выделяемые периоды показывают не только тенденции изменчивости, но и темп происходивших изменений. Рис. 14 демонстрирует значительный положительный тренд с коэффициентом, равным 0,1246, в период осолонения с 1947 по 1976 год.

Рис. 15 иллюстрирует характеристики периода распреснения вод моря в период с 1976 по 2003 год. Отметим, что, начиная с 2003 года, вновь начался период осолонения в Азовском море. Заметим также, что современный период осолонения морской воды характеризуется весьма значительным положительным трендом с коэффициентом, равным 0,7132. График временного хода среднегодовых значений солёности морской воды по акватории Азовского моря в целом, начиная с 2003 года, показан на рис. 16.

Увеличение солёности в основном связано с уменьшением стока рек в Азовское море (в первую очередь Дона и Кубани).

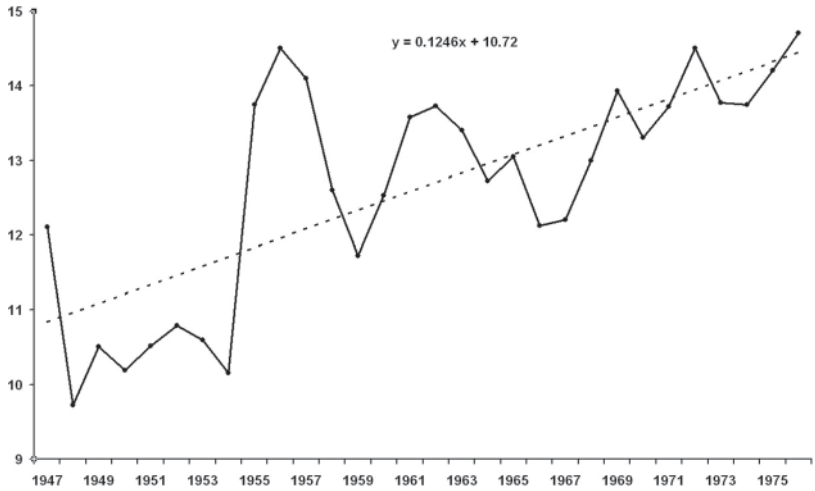


Рис. 14. Временной ход солёности морской воды (‰) на 0 м Азовского моря в период осолонения

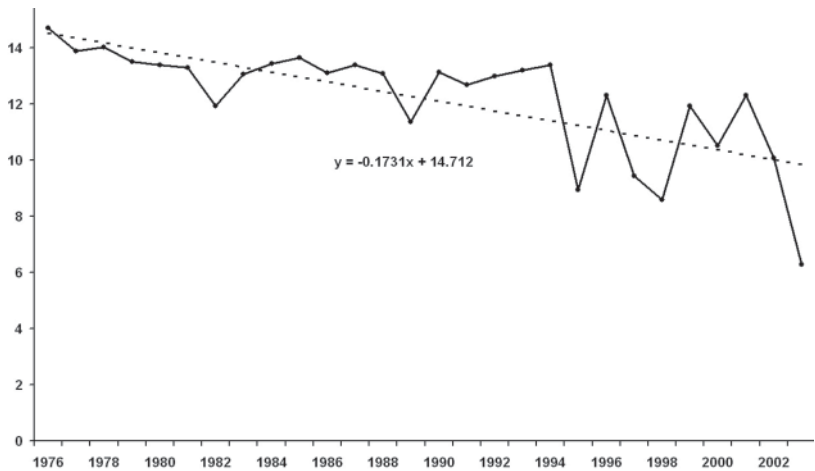


Рис. 15. Временной ход солёности морской воды (‰) на 0 м Азовского моря. Период распреснения (1976–2003 гг.)

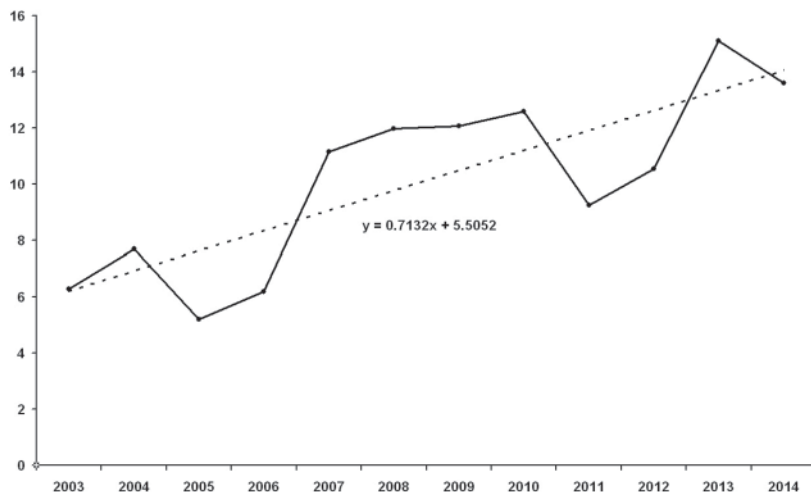


Рис. 16. Временной ход солёности морской воды (‰) на 0 м Азовского моря

Однако речной сток не вносит 100 % вклад в рост солёности. Существенное влияние оказывает изменчивость атмосферных процессов над морем, в частности уменьшение количества осадков при увеличении испаряемости с поверхности, вызванной существенным ростом приземной температуры воздуха. Определённое влияние может оказывать также изменение режима водообмена с Чёрным морем, увеличение притока более солёных черноморских вод.

Сезонные различия поля солёности в поверхностном слое носят в основном количественный характер [9]. В прибрежной зоне прослеживается такая же тенденция, что и в открытом море.

График изменения среднегодовых значений солёности воды в береговой зоне показан на рис. 17, на котором для примера взяты данные гидрометеорологической станции Темрюк за период 1993–2023 гг.

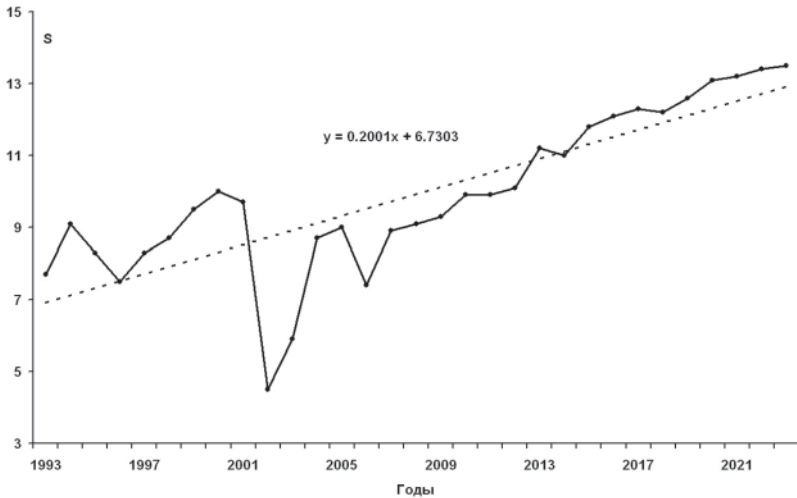


Рис. 17. Изменчивость среднегодовых значений солёности (‰). Азовское море, ГМС Темрюк (1993–2023 гг.)

Заключение

Проведённый анализ изменений термохалинного режима Азовского моря, как по данным прибрежных гидрометеорологических станций, так и по результатам экспедиционных океанографических исследований в открытом море, позволяет выявить устойчивый рост значений температуры и солёности воды в Азовском море на протяжении последних нескольких десятилетий. Подобные оценки получены также в [10, 11]. Тем не менее при анализе данных за более длительный срок выделяется несколько различных периодов.

Согласно данным наблюдений, как в открытой, так и в прибрежных частях Азовского моря, в термическом режиме, начиная с середины тридцатых годов и до девяностых годов прошлого столетия отмечалось небольшое уменьшение среднегодовых значений температуры воды. В дальнейшем и до настоящего времени включительно — более существенный по величине тренда рост.

В изменчивости солёности Азовского моря очевиден рост солёности начиная с середины прошлого столетия и примерно

до середины семидесятых годов, затем — период распреснения вод до 2003 года. Далее, после 2003 года, вплоть до настоящего времени — рост солёности воды возобновился.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. М.: МГУ, 1982. 146 с.
2. Воронцов А.А., Баталкина С.А., Нефёдова Г.И. Специализированная база данных по гидрометеорологическим условиям прибрежной зоны морей России [электронный ресурс] / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023623536 от 19.10.2023 года.
3. Воронцов А.А., Нефёдова Г.И., Баталкина С.А. База океанографических данных по морям РФ для оценки современного климата [электронный ресурс] / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 202362334 от 04.10.2023 года.
4. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. V: Азовское море. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 237 с.
5. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Т. 3: Азовское море. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 218 с.
6. *Climatic Atlas of the Sea of Azov 2008* / G. Matishov, S. Levitus. NOAA Atlas NESDIS 65, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 2008. 148 p.
7. Ильин Ю.П. и др. / Ю.П. Ильин, В.В. Фомин, Н.Н. Дьяков, С.Б. Горбач. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 1: Азовское море. МЧС и НАН Украины, МО УкрНИГМИ. Севастополь, 2009. 400 с.
8. Атлас климатических изменений в больших морских экосистемах Северного полушария (1878–2013). Регион 1: Моря Восточной Арктики. Регион 2: Чёрное, Азовское и Каспийское моря / Г.Г. Матишов, С.В. Бердников, А.П. Жичкин, П.Р. Макаревич, С.Л. Дженюк, В.В. Кулыгин, Н.А. Яицкая, В.В. Поважный, И.В. Швердяев, С.В. Кумпан, И.А. Третьякова, А.Е. Цыганкова. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2014. 256 с.
9. Дьяков Н.Н., Горбач С.Б., Фомин В.В., Ильин Ю.П. Современная термохалинная структура вод Азовского моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное исследование ресурсов шельфа. Севастополь: МО УкрНИГМИ, 2006. Вып. 14. С. 215–224.
10. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Гаргопа Ю.М. Климатогенные изменения экосистем южных морей в условиях антропогенных воздействий // Известия РАН. Сер. Географическая. 2008. № 3. С. 26–34.
11. Бердников С.В., Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В. Новое состояние гидрологического режима Азовского моря в XXI веке // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2022. Т. 503, № 1. С. 65–70.

УДК 551.465

ВЕТРО-ВОЛНОВОЙ РЕЖИМ РОССИЙСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЁРНОГО МОРЯ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД

А.А. Воронцов¹, С.А. Баталкина², Г.И. Нефёдова³

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
¹ av10921@meteo.ru, ² slim@meteo.ru, ³ gin@meteo.ru*

Введение

На фоне всеобщего потепления климата на протяжении последних десятилетий отмечают различные тенденции других метеорологических и гидрологических характеристик [1–3].

В работах, посвящённых исследованию климата на региональном уровне, всё чаще встречается рассмотрение проблематики климатических изменений непосредственно в морской природной среде, а также на прибрежных территориях. Чёрное море не является исключением, и поскольку Черноморский регион приобретает весьма важное значение для нашей страны, то для него проводятся многочисленные исследования, в том числе климатического характера.

Тёплые зимы в Черноморском регионе становятся новой климатической нормой. Глобальное потепление климата привело к изменению самих гидрометеорологических характеристик черноморского региона.

Знание характеристик волнения всегда было необходимо для судоходства и портовых служб. И поскольку ветровое волнение играет значительную роль не только в открытом море, но и в прибрежной полосе, нами было принято решение о проверке изменения волновых характеристик и связанных с ними характеристик ветра в последние десятилетия.

Цель настоящей статьи попытаться дополнить знание и понимание закономерностей климатической изменчивости волнения и ветра в прибрежной зоне Чёрного моря в современный климатический период.

Исходные данные

Для выполнения настоящей работы были использованы данные наблюдений на прибрежных гидрометеорологических станциях (ГМС) Чёрного моря (Евпатория, Ялта, Феодосия, Новороссийск, Туапсе, Сочи — расположение показано на рис. 1) за период с 1977 по 2024 год [4].

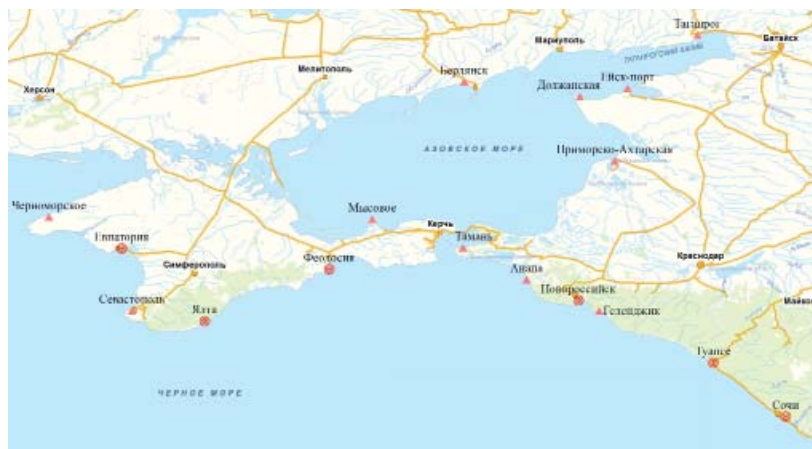


Рис. 1. Расположение ГМС на побережье российского сектора Чёрного моря (кружками с точкой обозначены станции, по которым проводились расчёты)

Необходимо отметить, что наиболее надёжные измерения волновых характеристик, а также скоростей и направления ветра дают морские прибрежные станции и посты, что обеспечивается регулярным тарированием приборов и профессиональной подготовкой наблюдателей.

Для оценки изменчивости характеристик ветра и волнения на побережье российского сектора Чёрного моря по данным российских гидрометеорологических станций были посчитаны различные статистические характеристики для всего доступного периода наблюдений для современных климатических периодов (1981–2010 и 1991–2020 гг.) и за последние десятилетия (2001–2010, 2011–2020 гг.).

Отметим, что все статистические оценки по гидрометеорологическим параметрам волнение и ветер были получены в соответствии с рекомендациями Всемирной метеорологической организации (ВМО) по климатическому обслуживанию [5].

Ветровой режим

Распределение ветра по градациям скорости, оценённые по базе данных на основе выбранных гидрометеорологических станций (рис. 1), свидетельствует о наиболее характерном для прибрежных территорий Чёрного моря режиме слабых ветров (табл. 1).

Таблица 1

Характерная повторяемость средней скорости ветра (м/с) на побережье Чёрного моря за многолетний период (%)

Градации скорости ветра, м/с	Повторяемость скорости ветра, %
0,0–0,0	4,5
1,0–2,0	60,9
3,0–4,0	26,3
5,0–6,0	7,0
7,0–8,0	1,2
9,0–10,0	0,1
11,0–12,0	0,1

На большей части побережья преобладает ветер слабее 3 м/с. Значительную, но меньшую повторяемость имеют ветры со скоростями в диапазоне 3–4 м/с.

Преобладающее направление ветра на побережье — северные румбы, однако немало ветров западных и южных.

В летние месяцы скорости ветра в целом уменьшаются, такое положение иллюстрируется рис. 2 и 3.

Для демонстрации факта изменения средних скоростей ветра взяты характерные для Крымского побережья данные наблюдений на гидрометеорологической станции Евпатория для зимнего (рис. 2) и летнего (рис. 3) многолетних периодов, для побережья Краснодарского края взяты данные наблюдений на гидрометеорологической станции Туапсе для зимнего (рис. 4) и летнего (рис. 5) многолетних периодов.

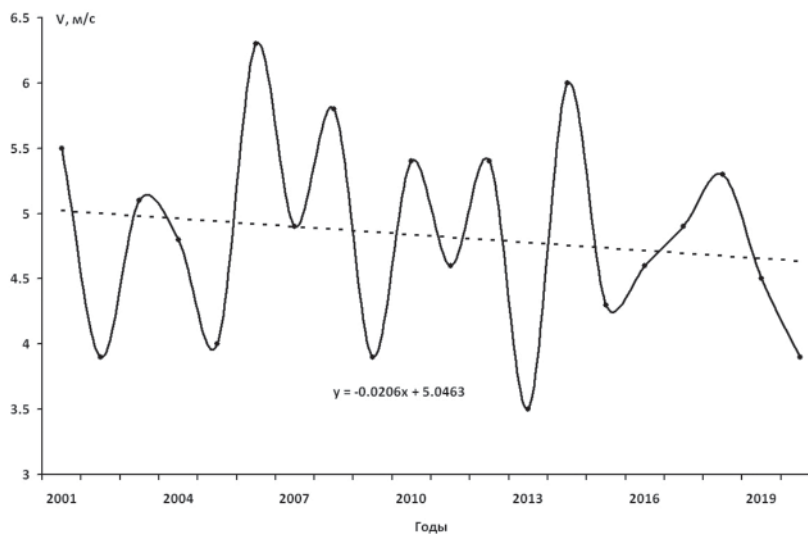


Рис. 2. График временного хода средней скорости ветра на ГМС Евпатория в зимний период

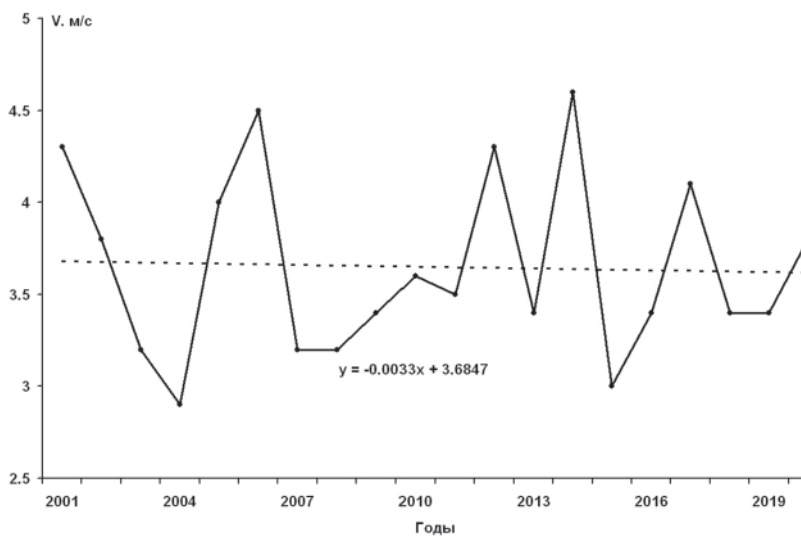


Рис. 3. График временного хода средней скорости ветра на ГМС Евпатория в летний период

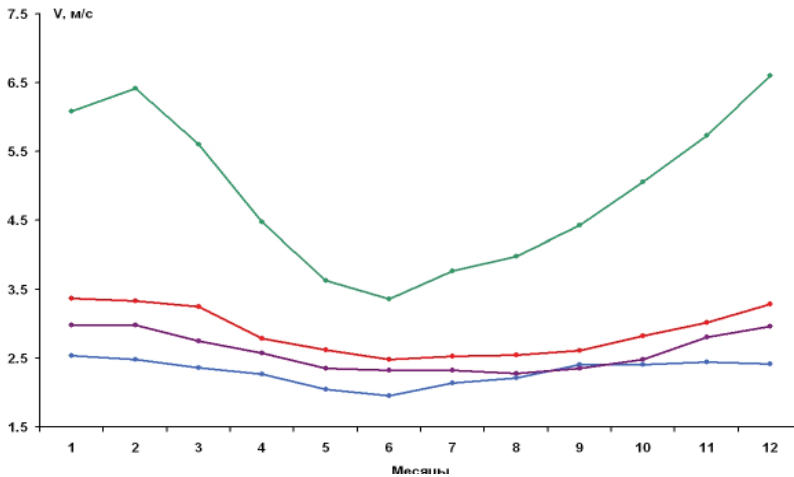


Рис. 4. График многолетнего годового хода средней скорости ветра (м/с) на ГМС (синий цвет — Ялта, красный — Феодосия, зелёный — Новороссийск, фиолетовый — Сочи)

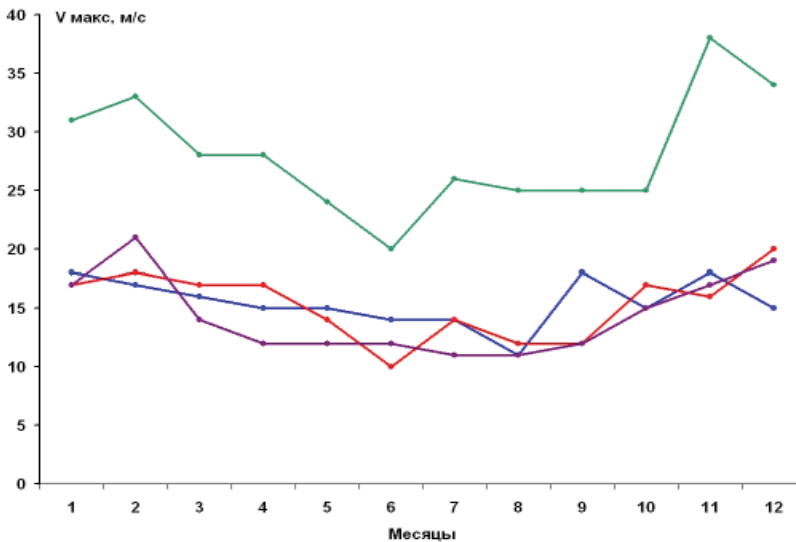


Рис. 5. График многолетнего годового хода максимальной скорости ветра (м/с) на ГМС (синий цвет — Ялта, красный — Феодосия, зелёный — Новороссийск, фиолетовый — Сочи)

Анализ графиков как зимнего, так и летнего периода позволяет сделать вывод о наличии тенденции к уменьшению средних скоростей ветра в прибрежной зоне Чёрного моря в последние десятилетия.

Так, на ГМС Евпатория коэффициент линейного тренда отрицателен и равен $-0,0206$ для зимы и $-0,0033$ — для лета.

На ГМС Туапсе аналогичный вид: коэффициент линейного тренда также отрицателен и равен $-0,0638$ для зимы и $-0,0486$ — для летнего периода многолетнего года.

Следует также отметить, что, несмотря на средние небольшие скорости ветра, на побережье Чёрного моря наблюдаются и значительные максимальные скорости ветра в порывах (до 34 м/с в зимний период и до 26 м/с — летом; такие значения скорости ветра зафиксированы на станции Новороссийск, где может основной вклад в характеристику скорости ветра вносить бора).

Все указанные значения скорости ветра по гидрометеорологическим станциям приведены далее в табл. 2.

Для скоростей ветра в прибрежной зоне характерным является хорошо выделяемый годовой ход [6, 7].

Наибольшие скорости ветра на береговых гидрометеорологических станциях наблюдаются в зимний период (более 30 м/с), наименьшие (12 – 26 м/с) — летом (табл. 2).

Таблица 2

Сезонная статистика скорости ветра (м/с) за период 1981–2010 гг.

ГМС	Сезон	Средняя скорость ветра	Максимальная скорость ветра
Евпатория	Зима	4,77	21,0
Новороссийск	Зима	6,37	34,0
Сочи	Зима	2,98	21,0
Туапсе	Зима	4,55	19,0
Феодосия	Зима	3,33	20,0
Ялта	Зима	2,48	18,0
Евпатория	Лето	3,47	16,0
Новороссийск	Лето	3,70	26,0
Сочи	Лето	2,31	12,0
Туапсе	Лето	2,54	15,0
Феодосия	Лето	2,52	14,0
Ялта	Лето	2,10	14,0

На рис. 4 показан годовой ход средней скорости ветра за многолетний период, а на рис. 5 — максимальной скорости ветра (порывов). Такое поведение скоростей ветра присуще всем станциям российского сектора Черноморского побережья.

Волнение, как связанный процесс с ветром, также подвержено тем же тенденциям, как и ветер.

И если средняя высота волн, как правило, практически находится в пределах полуметра (табл. 3, исключение — станция Туапсе, на которой средняя высота волн равна 0,78 м), то наблюдаемый максимум по всем гидрометеорологическим станциям побережья Чёрного моря лежит в пределах 3–5 метров.

Таблица 3

**Статистика высот волн (м) на Черноморском побережье
за многолетний период**

ГМС	Средняя высота волн	Максимальная высота волн
Евпатория	0,41	5,0
Ялта	0,53	3,0
Феодосия	0,33	3,0
Новороссийск	0,49	4,0
Туапсе	0,78	5,0
Сочи	0,49	3,0

В зимний период волнение усиливается, как и скорость ветра. Преобладающими (80–95 % от всех данных) становятся высоты волн в пределах 0–1,5 метра.

Летом высоты волн уменьшаются до 0–0,5 м (исключение составляет восточная часть российского сектора Черноморского побережья — данные по гидрометеорологическим станциям Туапсе и Сочи с высотами порядка 0–1 м).

Сводные характеристики преобладающего волнения в прибрежной зоне приведены в табл. 4.

Оценки линейных трендов в многолетних изменениях среднемесячных средних и максимальных высот волн для зимнего и летнего периодов приведены на рис. 6 и 7 (для примера показаны характеристики по данным гидрометеорологической станции Евпатория).

Отметим, что для последних десятилетий в прибрежной зоне Чёрного моря характерно уменьшение высот волн.

Таблица 4

Преобладающие высоты волн (м) в различные сезоны в различных районах Чёрного моря (российский сектор)

ГМС	Сезон	Градации высот волн, м	Число случаев, %
Евпатория	Зима	0,0–1,0	88
	Лето	0,0–0,5	92
Ялта	Зима	0,0–1,5	95
	Лето	0,0–0,5	97
Феодосия	Зима	0,0–1,0	98
	Лето	0,0–0,5	98
Новороссийск	Зима	0,0–1,5	87
	Лето	0,0–0,5	93
Туапсе	Зима	0,0–1,5	77
	Лето	0,0–1,0	89
Сочи	Зима	0,0–1,0	89
	Лето	0,0–1,0	99

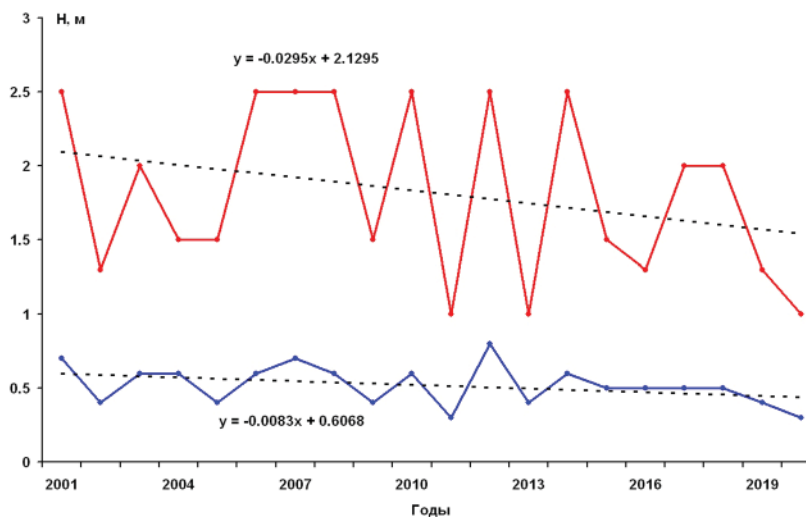


Рис. 6. График многолетнего годового хода высот волн на ГМС Евпатория в зимний период (синий цвет — средние значения, красный — максимальные)

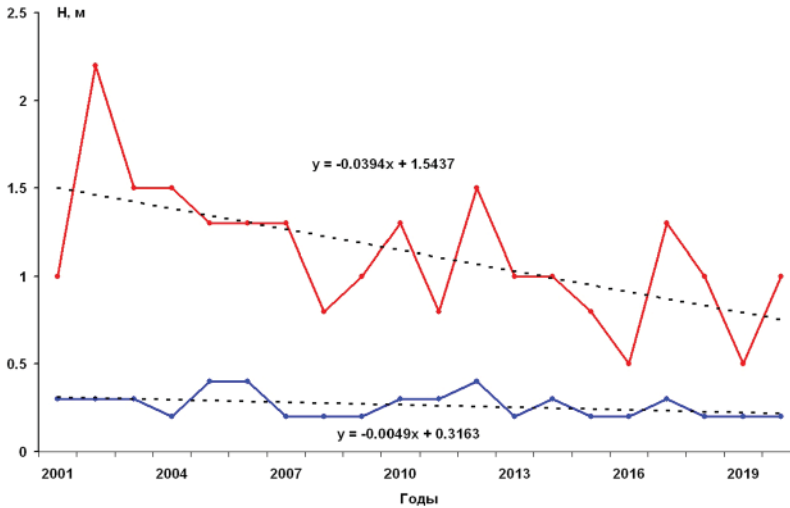


Рис. 7. График многолетнего годового хода высот волн на ГМС Евпатория летом (синий цвет — средние значения, красный — максимальные)

В зимний период отрицательный линейный тренд равен $-0,0083$ для средних высот волн и $-0,0285$ — для максимальных высот волн (для примера показаны характеристики среднего и максимального волнения по данным гидрометеорологической станции Евпатория).

Летом (характеристики волнения на ГМС Евпатория) отрицательный линейный тренд равен $-0,0049$ для средних высот волн и $-0,0394$ — для максимальных значений высот волн.

Для высот волн, так же, как и для скоростей ветра в прибрежной зоне российского сектора Черноморского побережья, характерен хорошо выраженный годовой ход. Наибольшие высоты волн наблюдаются зимой, а наименьшие — в летний период.

На рис. 8 показан годовой ход средних высот волн на черноморских станциях за многолетний период, а на рис. 9 — максимальных высот волн, что наблюдается на всех станциях российского сектора Черноморского побережья.

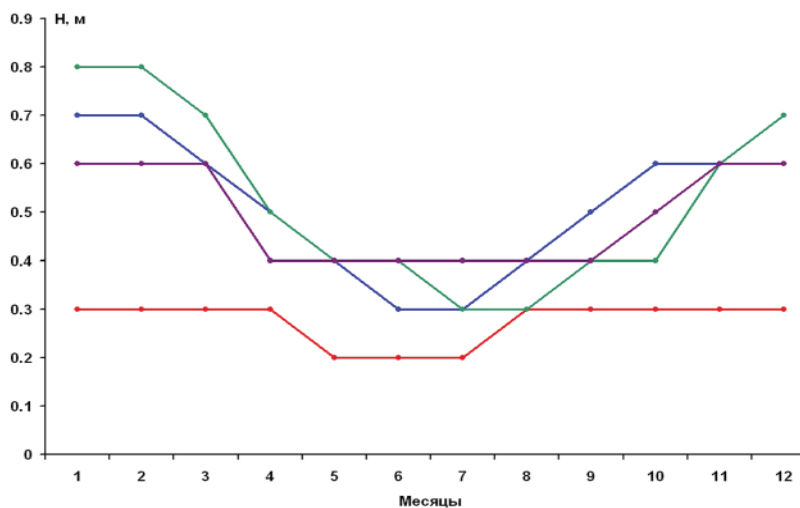


Рис. 8. График многолетнего годового хода средней высоты волн (м) на ГМС (синий цвет — Ялта, красный — Феодосия, зелёный — Новоросийск, фиолетовый — Сочи)

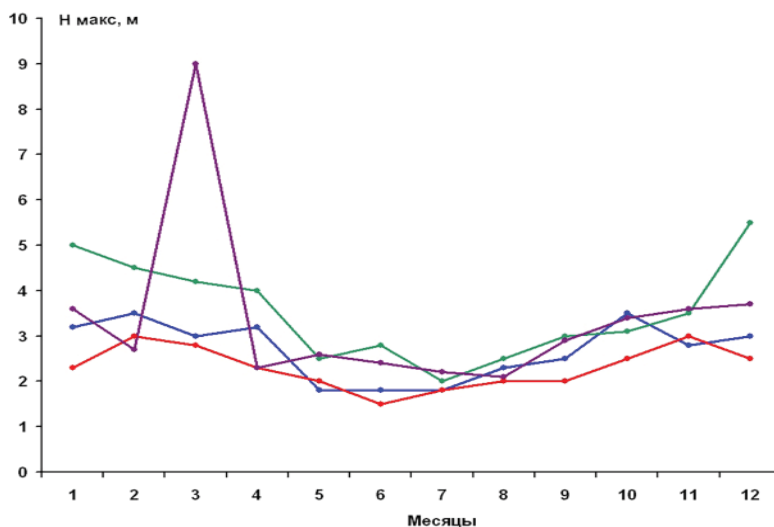


Рис. 9. График многолетнего годового хода максимальной высоты волн (м) на ГМС (синий цвет — Ялта, красный — Феодосия, зелёный — Новоросийск, фиолетовый — Сочи)

Выводы

В результате проведённой работы по многолетним данным получены среднегодовые и среднесезонные характеристики высот волн, а также скоростей ветра для российского побережья Чёрного моря.

Основной особенностью климатической изменчивости скорости ветра является тенденция уменьшения средних скоростей ветра в прибрежной зоне Чёрного моря в последние десятилетия.

Волнение, как связанный с ветром процесс, в основном повторяет тенденцию уменьшения своих характеристик, в первую очередь — высот волн. Отрицательные временные тренды характерны как для скорости ветра, так и для высот волн, причём в летний сезон эта тенденция проявляется более значимо.

В абсолютном выражении в летний сезон уменьшение высот волн составляет 0,5–1,0 см/год, в зимний сезон это уменьшение составляет 0–0,5 см/год. Этому соответствует снижение средних скоростей ветра от 0,01 до 0,08 м/с/год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дивинский В.В., Кубряков А.А., Косьян Р.Д.* Межгодовая изменчивость параметров режима ветра и волнения Чёрного моря // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 4. С. 367–382.
2. *Белокопытов В.Н.* Климатические изменения гидрологического режима Чёрного моря: дис. на соискание учёной степени доктора географических наук. Севастополь: МГИ, 2017. 377 с.
3. *Булыгин А.М., Грузинов В.М., Воронцов А.А., Дьяков Н.Н., Проценко С.А.* Новая география Чёрного моря. Обнинск: Артифекс, 2023. 208 с.
4. *Воронцов А.А., Баталкина С.А., Нефедова Г.И.* Специализированная база данных по гидрометеорологическим условиям прибрежной зоны морей России [электронный ресурс] / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023623536 от 19.10.2023 года.
5. *Руководящие указания ВМО по расчёту климатических норм* // ВМО. 2017. № 1203. 32 с.
6. *Добровольский А.Д., Залогин Б.С.* Моря СССР. М.: МГУ, 1982. 146 с.
7. *Справочные данные по режиму ветра и волнения Балтийского, Северного, Чёрного, Азовского и Средиземного морей.* СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2006. 451 с.

УДК 004.6:551.5:004.9

ФОРМИРОВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ДЕТАЛЬНЫХ МЕТАОПИСАНИЙ ЯОД-ОБЪЕКТОВ ХРАНЕНИЯ ЕГФД

Н.Ю. Михеев

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
mikheevn@meteo.ru*

Введение

В рамках работы над темой НИТР 2.6 Росгидромета «Развитие и модернизация технологий ведения (включая технологии обеспечения пользователей) Единого государственного фонда данных (ЕГФД) о состоянии окружающей среды, её загрязнении» ВНИИГМИ-МЦД ведёт разработку нескольких программных продуктов, предназначенных для работы с электронными файлами данных ЕГФД.

За годы работы с данными, хранящимися в ЕГФД, во ВНИИГМИ-МЦД сформировалось понимание, что есть необходимость рассматривать их как Большие Данные (BigData). В особенности с этой точки зрения следует рассматривать наиболее ценную и уникальную часть данных — электронные данные первичных наблюдений.

Информация общего назначения относится к федеральным информационным ресурсам в области гидрометеорологии и смежных с ней областях. Информация ЕГФД является открытой и общедоступной, за исключением информации, отнесённой законодательством Российской Федерации к категории информации ограниченного доступа [1]. Самыми объёмными архивами первичных наблюдений ЕГФД являются архивы приземных метеорологических наблюдений. Эти данные преобразованы в Режимно-справочный банк данных (РСБД). Основным источником информации в РСБД являются файлы данных в формате Языка описания данных (ЯОД), которые помещаются в каталожную

структуру, используемую для ведения РСБД. Таким образом, структура РСБД представляет собой дерево каталогов со своими ветвями, представленными в виде подкаталогов. За годы работы было накоплено большое количество файлов данных [2]. Так, например, суммарное количество файлов данных РСБД по приземной метеорологии превышает 102 тыс. шт., которые в совокупности занимают более 200 Гб дискового пространства. При этом конечные пользователи, в числе которых специалисты различных направлений гидрометеорологии, не могут знать, с какими проблемами в этих файлах могут столкнуться, пока не начнут непосредственную работу с хранимыми в них данными.

В связи с этим появилась идея создать систему, которая позволит конечным пользователям узнать состояние данных в конкретных файлах перед тем, как начать с ними работать, будь то отсутствующие измерения или иные проблемы. Таким разрабатываемым программным продуктом и является подсистема формирования и хранения метаописаний файлов данных Росгидромета ЯОД-формата. Более того, в рамках опытной эксплуатации данной подсистемы уже была сформирована база данных метаописаний массива РСБД ТМС, который является самым объёмным. На основе этой базы проводятся исследования, предварительные результаты которых и представлены в данной статье для более комплексного представления состояния и полноты этого массива данных, а также разработки технологий исправления ошибок и повышения достоверности электронных файлов первичных наблюдений ЕГФД.

1. Метаописания данных

Метаданные — описательная информация о структуре и содержании данных, а также приложений и процессов, которые манипулируют данными. Метаданные раскрывают сведения о признаках и свойствах, характеризующих какие-либо сущности, позволяющие автоматически искать и управлять ими в больших информационных потоках.

Под метаописанием в рамках данной работы, с учётом особенностей видов хранения, подразумевается информация о документе, как единице хранения, общая информация о времени

наблюдений и платформе наблюдений, на которой они были произведены, а также информация о разного рода ошибках и пропусках этих наблюдений [3].

Общая схема метаописания включает в себя 4 блока информации о файле:

- характеристики файла — описание файла как единицы хранения, включающее в себя его название, даты создания и последнего изменения, размер, хэш и прочую подобную информацию;
- временные параметры — даты начала и окончания наблюдений, хранящихся в файле, а также количество сроков наблюдения;
- характеристики платформы — информация о платформе или платформах наблюдения, представленных в данном файле;
- информация об ошибках — информация о каждой конкретной ошибке/искажении в файле, её тип, где она расположена и как её искать.

Физически метаописания хранятся в реляционной базе данных. На данный момент её предполагаемая структура выглядит таким образом (рис. 1):

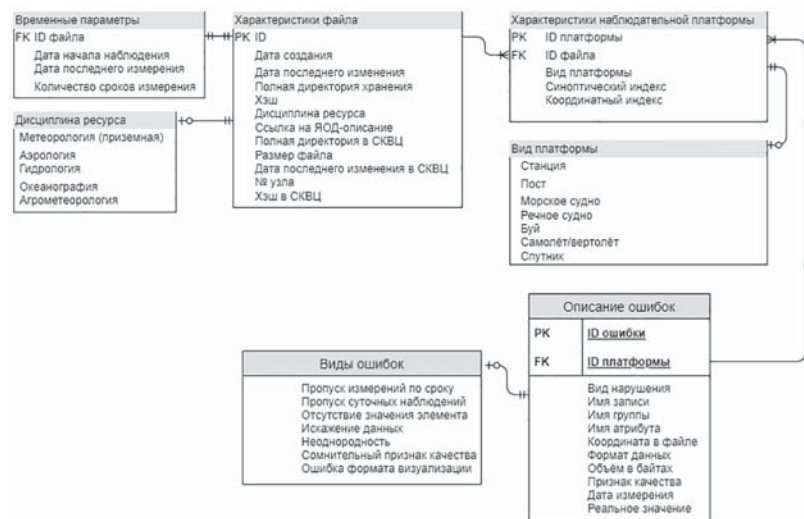


Рис. 1. База данных метаописаний

Она имеет четыре содержательные таблицы (характеристики файла, временные параметры, характеристики наблюдательной платформы, описание ошибок) и три справочные (дисциплина ресурса, вид платформы, виды ошибок). Структура получается древовидной: основная таблица «характеристики файла» хранит информацию о файле с данными как единице хранения. С ней, в зависимости от типа файла, связаны либо один, либо несколько кортежей таблицы «характеристики наблюдательной платформы». Далее с каждым кортежем, т.е. с каждой наблюдательной платформой внутри каждого файла связан набор кортежей в таблице «описание ошибок». Таблица «временные параметры» стоит несколько в стороне от описанного выше, так как информация, хранящаяся в ней, достаточно важная, чтобы внести её в базу данных мета-описаний, однако не имеет тесной связи с остальными таблицами.

На данный момент подсистема определяет следующий перечень недостатков в файлах наблюдений:

- Отсутствие значения элемента — на месте наблюдения в файле стоит константа отсутствия. Зачастую такие элементы идут в паре с признаками качества, указывающими на причину, по которой отсутствует наблюдение (указанные ниже признаки качества актуальны для массива ТМС) [4]:

- 4 — значение элемента забраковано программами контроля;
- 5 — значение элемента отсутствует по причине отсутствия (дефекта) прибора или самого метеопараметра;
- 6 — значение элемента забраковано на станции;
- 7 — значение элемента отсутствует, так как регистрация метеопараметра на данной станции проводится не должна.

Однако по факту константы отсутствия имеются и у элементов, не имеющих признаков качества:

- Пропуск наблюдений по сроку — у всех элементов, относящихся к сроку, в данных стоит константа отсутствия.

- Сомнительный признак качества — элемент, признак качества которого не гарантирует достоверность наблюдения:

- 3 — значение элемента сомнительно;

- 8 — признак неполного ряда. Расчётное значение элемента получено по неполному ряду наблюдений.
- Ошибка формата визуализации — каждый элемент ЯОД описания содержит в себе формат хранения, указывающий на то, в каком виде наблюдение хранится в файле, и формат визуализации, который указывает на то, как должно выглядеть реальное значение. Данная ошибка возникает, когда указанное в формате визуализации количество байт, отведённое на реальное значение, меньше необходимого, из-за чего используемые во ВНИИГМИ-МЦД программные комплексы, работающие с такими файлами, не в состоянии корректно отобразить реальное значение.

2. Результаты первичного анализа

После формирования базы данных метаописаний РСБД ТМС был произведён первичный анализ состояния данных этого массива, заключающийся в построении ряда графиков и гистограмм.

В первую очередь была рассмотрена динамика количества ошибок формата визуализации в данных, поступивших от разных УГМС Росгидромета (рис. 2 и 3).

В случаях, когда реальное значение не помещается в отведённое ему форматом количество знаков, программы отображают



Рис. 2. Пример гистограммы ошибок формата визуализации за декаду 2003–2012 гг.



Рис. 3. Пример гистограммы ошибок формата визуализации за декаду 2013–2022 гг.

его как один нечитаемый символ. Обычно это встречается у отрицательных значений вещественных чисел, отражающих характеристики наблюдений.

Следует учесть, что наличие обильного количества этих ошибок (в том числе в признаках качества) может косвенно указывать на некие сдвиги или искажения в самих данных. Как пример, в рамках автоматизированного поиска этих ошибок были найдены несколько станций с необычно большим их количеством. После ручного изучения конкретного места было обнаружено, что в конце этой записи ещё раз присутствует кусок из начала этой же записи.

Говоря о пропусках наблюдений, следует отметить, что основная цель хранения информации о них в том, чтобы люди могли увидеть, в каком состоянии находятся интересующие их наблюдения до того, как начнут работать непосредственно с данными. Кроме того, это можно использовать для ретроспективного обзора состояния данных: например, чтобы посмотреть, как в каждой декаде (10 лет) менялось количество пропущенных наблюдений в каждом управлении гидрометеорологической службы (УГМС) (рис. 4 и 5), с учётом причин их отсутствия, которые выражаются через признак качества (описание значения признаков качества было представлено в предыдущем разделе).

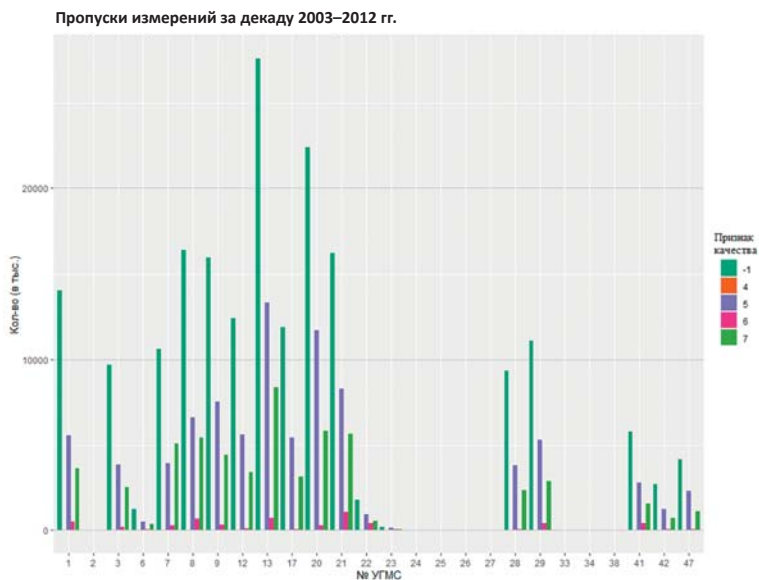


Рис. 4. Гистограмма пропусков измерений за декаду 2003–2012 гг.

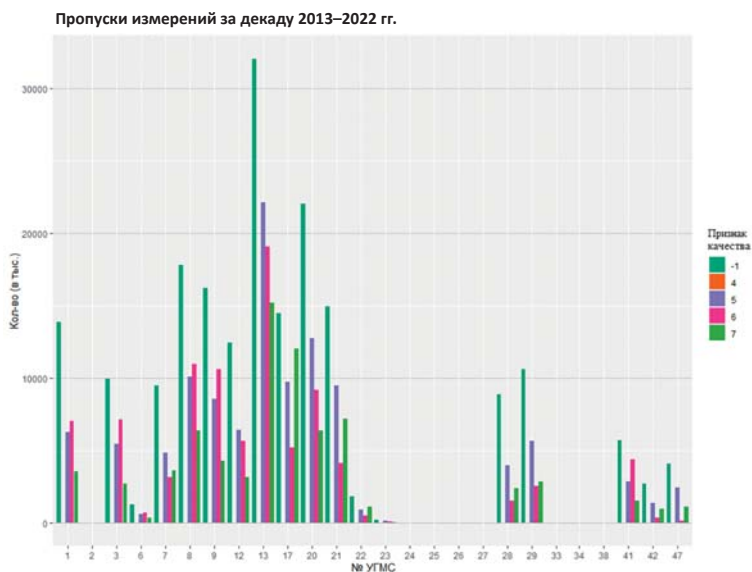


Рис. 5. Гистограмма пропусков измерений за декаду 2013–2022 гг.

Так, благодаря сформированной базе, было обнаружено, что за последнюю декаду, разительно увеличилось количество наблюдений, забракованных на самих станциях.

Другим вариантом использования данных подсистемы ФХМ является возможность визуализировать динамику изменения количества пропусков для каждого УГМС (рис. 6) или станции от 1984 года по сей день. (рис. 6).

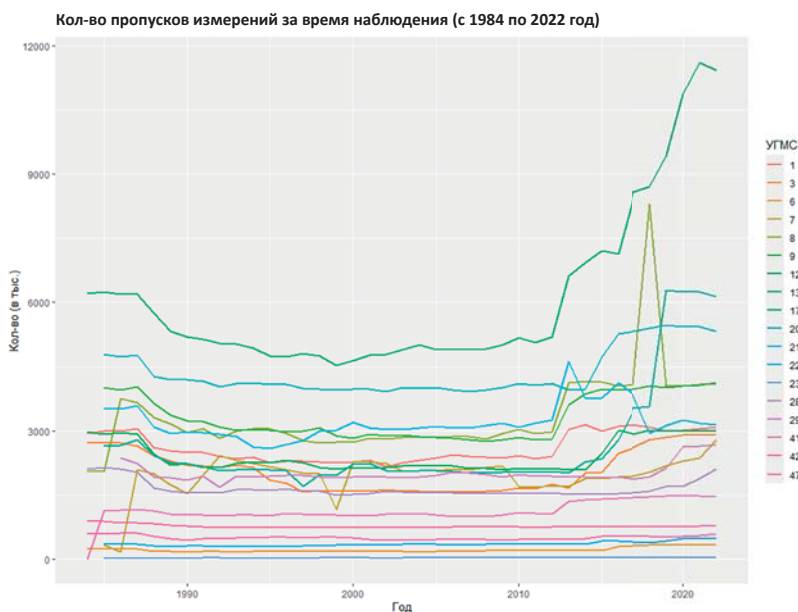


Рис. 6. Графики отсутствия измерений за время наблюдения (с 1984 по 2022 год)

Стоит уточнить, что подсистема автоматизированной информационной системы обработки режимной информации (АИСОРИ) ФХМ не способна представлять информацию в виде представленных выше графиков. Однако с её помощью можно получить выборки данных, по которым можно проводить подобные исследования и/или визуализации, используя сторонние инструменты; например, имеющиеся в данной работе графики были построены с помощью языка программирования R.

Заключение

Учитывая объёмы хранимых во ВНИИГМИ МЦД гидрометеорологических данных, была сформулирована необходимость создания подсистемы АИСОРИ формирования и хранения метаописаний файлов данных, чтобы была возможность понимать их состояние без необходимости погружаться непосредственно в сами файлы данных. В рамках опытной эксплуатации была сформирована база данных метаописаний массива РСБД ТМС, который состоит из 3831 файла с бинарным представлением информации, в совокупности занимающие порядка 30 гигабайт.

Версия подсистемы АИСОРИ ФХМ, описываемая в данной статье, является первым шагом к созданию инструментов хранения информации о содержании первичных данных наблюдений ЕГФД. В будущем она может предоставить помощь в подготовке данных для исследований, основывающихся на архивных данных, в том числе если они будут рассматриваться как Большие Данные. Также за счёт собственных данных инструмент позволит просматривать целые архивы наблюдений на предмет пропусков данных и иных описываемых ошибок, в том числе конкретно по станциям или УГМС в рамках конкретных временных промежутков.

С помощью подсистемы ФХМ, находящейся в опытной эксплуатации, уже получилось просмотреть все файлы ТМС на наличие ошибок формата визуализации, которые до этого искали в ручном режиме, а также посмотреть динамику отсутствия наблюдений по каждому УГМС. При дальнейшем развитии подсистемы также будут описываться такие явления, как выбросы или неоднородности наблюдений, чтобы можно было предметно посмотреть, являются ли подобные значения достоверными, получены ли в результате опечатки на самой станции или получились из-за повреждения самих данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ведение ЕГФД, архивация данных, обслуживание данными и информацией ЕГФД. Сведения о составе Госфонда Росгидромета [электронный ресурс].* Режим доступа: <http://old.meteo.ru/egfd/142-about-egfd> (дата обращения: 24.05.2024).

2. *Отчёт* ВНИИГМИ-МЦД о научно-исследовательской работе «Развитие и модернизация технологий ведения (включая технологии обеспечения пользователей) Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении» за 2020 год // Тема НИТР 2.6, Тема ВНИИГМИ-МЦД 17.11.

3. *Колесников Е.В., Михеев Н.Ю.* Технологии формирования базы данных детальных метаописаний объектов хранения ЕГФД // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 125–143.

4. *Научно-исследовательский отчёт* ВНИИГМИ-МЦД «Архив ТМС. Текущая метеорологическая информация станций. Описание архива» / Под ред. Н.П. Ковалёва. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1987.

УДК 551.501.771

ИЗМЕНЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ЗА ПЕРИОД 1966–2023 ГГ.

В.Н. Кузнецова¹, Н.В. Швець²

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
¹ kuznezova@meteo.ru, ² schvets@meteo.ru*

Введение

Климатические пояса России — уникальное явление. Ни одна другая страна не может похвастаться подобным разбросом климатических условий. Этому феномену способствует огромная территория, неоднородность расположения водоёмов, перепады высот и широкое разнообразие рельефа: от высочайших Кавказских гор до равнин, лежащих ниже уровня моря, а также влияние Арктики, Атлантического и Тихого океанов.

Карта климатических поясов России включает пять основных типов с севера на юг: арктический, субарктический, умеренный, муссонный и субтропический [1].

Почти вся Европейская территория России (ЕТР) лежит в поясе климата умеренных широт.

Она расположена преимущественно на Восточно-Европейской равнине, занимает она примерно 2,5 тыс. км как с севера на юг, так и с запада на восток [2]. Природный ландшафт меняется от ледяной тундры — на севере до степной зоны — на юге. Лишь небольшая территория Кавказа и Крыма относятся к субтропическому климатическому поясу.

Огромные площади, относящиеся к каждому поясу, и разнообразия климатических условий в пределах этих площадей, делят каждый тип климата на несколько подтипов с устоявшимся температурным и влажностным режимом, и имеющие общие закономерности в условиях радиационного режима и атмосферной циркуляции.

Основные климатообразующие факторы Европейской территории России связаны с особенностями её местоположения: близость тёплого Атлантического океана и холодного побережья Арктики и связанная с ними циклоническая деятельность. Они оказывают существенную роль на климат ЕТР. Любые изменения состояния океана и изменение атмосферной циркуляции регулируют перенос тепла и влаги на европейский континент, сильно меняя погодные условия.

Вследствие наличия обширных водных пространств Атлантики на западе, на севере — морей Северного ледовитого океана, на востоке — азиатского континента и в связи с особенностями атмосферной циркуляции: преобладанием в умеренных широтах западных и юго-западных ветров и различиях в характере подстилающей поверхности создаётся значительная неоднородность в распределении метеорологических элементов и типов растительности. Кроме того, важнейшим климатообразующим фактором внутриконтинентальной огромной Европейской территории России является изменение свойств воздушных масс (трансформация) под влиянием многообразной подстилающей поверхности [2].

Выбор средств классификации климата и районирования при глобальных климатологических исследованиях, особенно при осреднении, позволяет выделить оптимальные районы, имеющие общие черты климата. Нами за основу районирования были взяты получившая наибольшее признание на территории России классификация Алисова (учитывающая особенности радиационного режима и циркуляции атмосферы) в сочетании с районированием Каминского А.А. [3] по дневной относительной влажности воздуха с учётом типа подстилающей поверхности.

Проведённые нами ранее исследования изменений относительной влажности воздуха [4, 5] с использованием климатического районирования Алисова показали зависимость этих изменений относительной влажности в большей степени от типа подстилающей поверхности в сочетании с природно-климатическими зонами. В результате проведённого анализа для Европейской территории России выделено пять основных климатических районов, каждый из которых имеет свои специфические черты [5]. Карта-схема этих районов представлена на рис. 1.

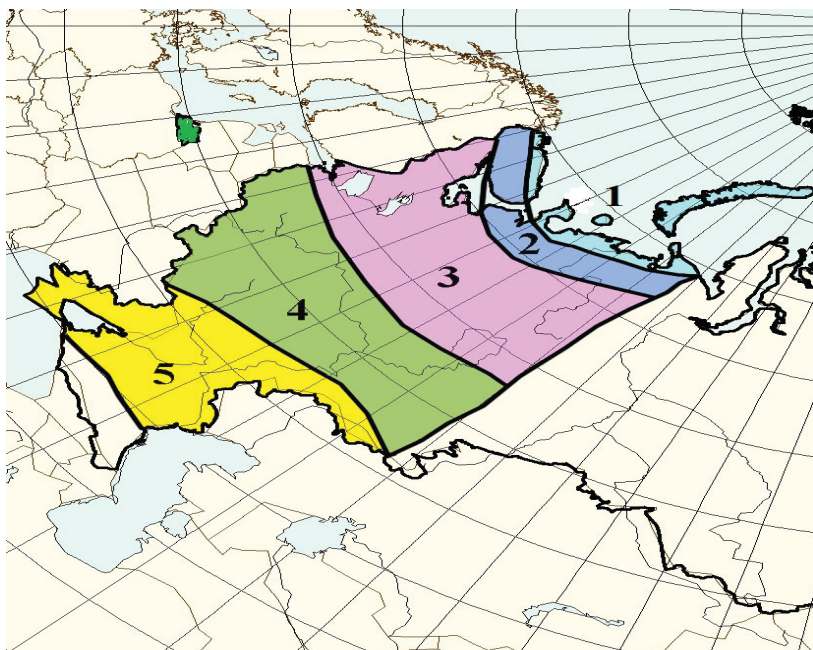


Рис. 1. Карта-схема основных природно-климатических районов Европейской территории России для исследования относительной влажности воздуха: 1 — муссонный арктический; 2 — район льдов и ледяной тундры; 3 — тайга; 4 — лесостепи, 5 — степи (горные районы не учитывались — они требуют отдельного анализа). Выбор станций внутри района осуществлялся по той же методике, что и в [5] — по типу годового хода, свойственному данному району. Выбирались станции, имеющие типичный для каждого района свой годовой ход относительной влажности воздуха.

Предметом данного исследования является относительная влажность воздуха (f), представляющая собой отношение фактической упругости водяного пара (e) к максимальной упругости водяного пара (E) (насыщающей упругости) при той же температуре воздуха, выраженное в процентах (%):

$$f = e/E.$$

Целью настоящей работы является анализ изменения относительной влажности воздуха по полученным ранее основным

природно-климатическим районам на Европейской территории России [5]. Расчёт проводился для центральных месяцев сезонов, поскольку ввиду запаздывания годового хода элемента из-за широты местности центральный месяц сезона более точно характеризует возможные изменения элемента в сезоне.

Данные и методы

Для исследования изменений режима влажности исходным материалом послужил базовый массив относительной влажности воздуха (f), представляющий собой постанционнные ряды среднемесячных значений относительной влажности воздуха. Для расчёта использовались данные 570 станций за период 1966–2023 гг., равномерно расположенных на Европейской территории России. Вся информация проконтролирована и соответствует требованиям, предъявляемым к данным в задачах исследования изменения климата [6]. Базовый массив был дополнен ввиду редкой сети северными станциями, входящими в арктический и субарктический пояс. Они относятся к району Арктики, исследованию которого уделяется в настоящее время особое внимание. Добавленные станции позволили выделить для анализа дополнительный отдельный район — это район льдов и ледяной тундры (ЛТ), находящийся в районе 65-й параллели на Европейской территории России. Данный район имеет особенный годовой ход относительной влажности воздуха с 2 максимумами: весной и осенью, которые связаны со стабильно низкими температурами арктического климатического пояса. Значительное количество осадков при невысокой температуре и значительной облачности приводит к высокой относительной влажности в этом районе [2].

Оценка изменения влажности воздуха получена на основе анализа линейных трендов, характеризующих среднюю скорость изменения исследуемой величины.

Исследование изменения влажности проводилось путём эмпирико-статистического анализа временных рядов среднемесячной относительной влажности воздуха. Расчёт статистических характеристик и коэффициентов линейного тренда проводился на

основе специально разработанного авторского пакета программ и программы «Excel». Тренды рассчитывались по уравнению линейной регрессии [7]: значимость коэффициентов линейного тренда оценивалась по критерию Стьюдента [7]. Для исключения влияния годового хода в исследованиях изменений влажности использовались не сами среднемесячные значения, а их аномалии (Δf). Для расчёта аномалий (отклонений наблюдаемых значений от «нормы») в качестве «нормы», использовались обновлённые нормы за период 1981–2010 гг., поскольку, как отмечено в [8], за три последних тридцатилетия нормы изменились и больше подходят для оперативной оценки аномальности текущей погоды и целей мониторинга климата последних десятилетий.

Результаты

По временным рядам пространственно осреднённых аномалий относительной влажности воздуха (Δf) были рассчитаны для года и для центральных месяцев сезонов тренды относительной влажности воздуха (%/10 лет) за период с 1966 по 2023 год, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты линейных трендов аномалий среднемесячной относительной влажности воздуха (Δf), осреднённых по квазигодородным климатическим районам ЕТР за период 1966–2023 гг. (%/10 лет) для центральных месяцев сезонов и за год в целом

Районы	январь	апрель	июль	октябрь	Год
1	-0,1	+0,5*	-0,3*	+0,3*	-0,0
2	+0,4*	-0,2	+0,2	+0,6*	+0,2
3	+0,6*	-1,0*	+0,0	+0,2	0,0
4	+0,7*	-1,6*	-0,7*	-0,5*	-0,4*
5	+0,7*	-0,8*	-1,1*	-0,6*	-0,5*

Примечание: красным шрифтом выделены положительные значения коэффициента линейного тренда; * помечены тренды, значимые при заданном 5 %-ном уровне значимости.

При оценке тренда важно также получить оценку его значимости, т.е. установить насколько существенен его вклад в изменчивость случайного процесса. В данной работе рассчитанный

критерий Стьюдента сравнивался с его критическим значением на 5 %-ном уровне значимости.

На рис. 2–6 представлены распределения линейных трендов (прямой чёрной линией) и временные ряды осреднённых аномалий относительной влажности воздуха (синей линией) для центральных месяцев сезонов по районам основных природно-климатических зон европейской части России.

В январе почти на всей континентальной Европейской территории России прослеживается увеличение аномалий среднемесячных значений относительной влажности воздуха: коэффициенты линейного тренда доходят до $+0,7\%/10$ лет, причём почти везде они статистически значимы. Возможно, это связано с повышением зимней температуры [9, 10] и увеличением количества оттепелей [11], эти факторы приводят к увеличению концентрации водяного

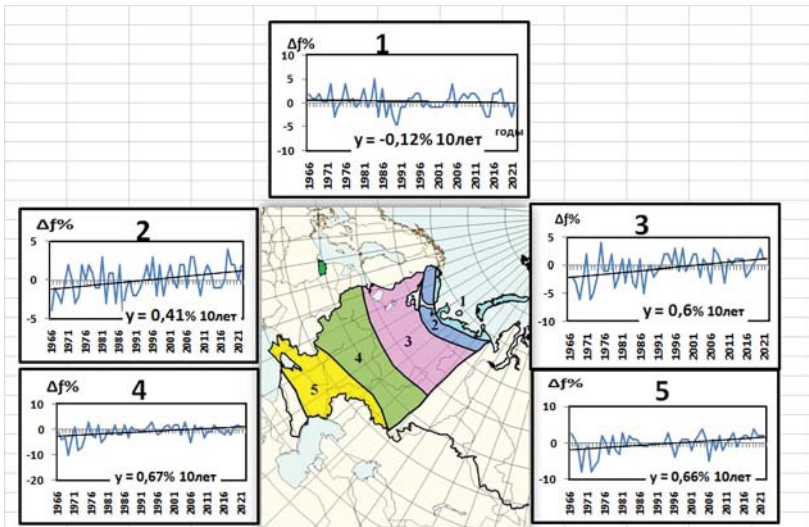


Рис. 2. Тренды ($\%/10$ лет) и временные ряды аномалий, осреднённые по территории квазиоднородных климатических районов на Европейской территории России, январской относительной влажности воздуха за период с 1966 по 2023 год: 1 — муссонный арктический (МТ) район; 2 — район льдов и ледяной тундры (ЛТ); 3 — тайга (сюда относятся широколиственные и смешанные леса) (Т); 4 — лесостепи (ЛСС); 5 — степи (С) [5].

пара в воздухе. Уменьшение влажности отмечается лишь на арктических прибрежных и островных территориях ЕТР с муссонным характером погоды (район 1), но тренд здесь мал и незначим.

В апреле (см. табл. 1 и рис. 3) наблюдается противоположная картина: почти на всей территории европейской России отмечается уменьшение относительной влажности воздуха. Здесь статистически значимые коэффициенты линейного тренда составляет от $-1,6\%/10$ лет в лесостепных районах ЕТР (район 4) до $-0,16\%/10$ лет — на севере ЕТР (район 2), что связано с резким повышением температуры воздуха в апреле и малым содержанием водяного пара после зимнего вымораживания [9, 12]. Увеличение аномалий относительной влажности воздуха отмечается лишь на побережье и островах Северного Ледовитого океана (район 1) — значимый тренд здесь составляет $+0,5\%/10$ лет.

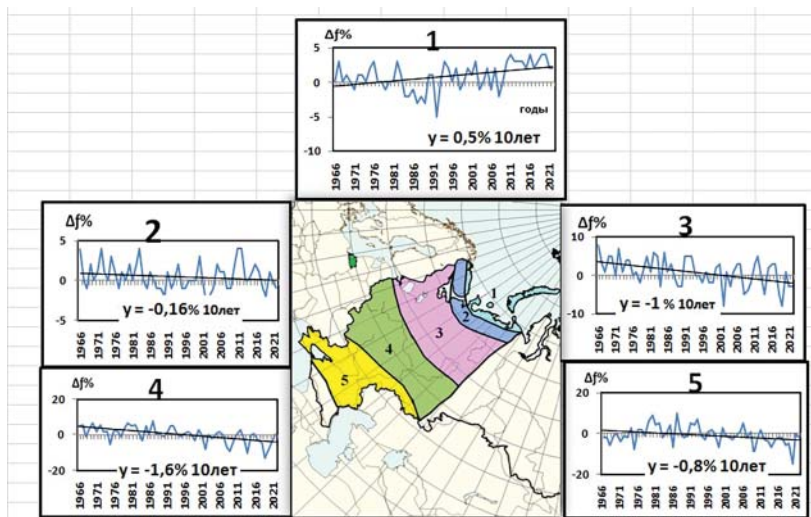


Рис. 3. Тренды ($\%/10$ лет) и временные ряды аномалий, осреднённые по территории квазиоднородных климатических районов на Европейской территории России апрельской относительной влажности воздуха за период с 1966 по 2023 год: 1 — муссонный арктический (МТ) район; 2 — район льдов и ледяной тундры (ЛТ); 3 — тайга (сюда относятся широколиственные и смешанные леса) (Т); 4 — лесостепи (ЛСС); 5 — степи (С) [5].

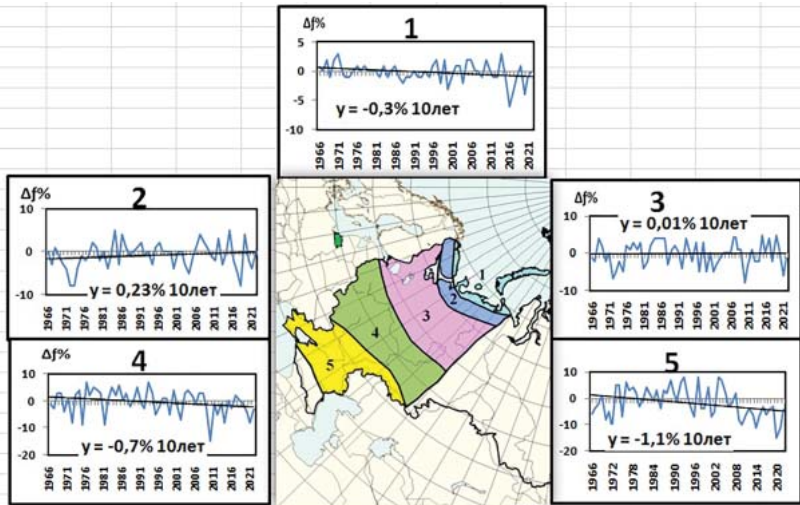


Рис. 4. Тренды (% /10 лет) и временные ряды аномалий, осреднённые по территории квазиоднородных климатических районов на Европейской территории России июльской относительной влажности воздуха за период с 1966 по 2023 год: 1 — муссонный арктический (МТ) район; 2 — район льдов и ледяной тундры (ЛТ); 3 — тайга (сюда относятся широколиственные и смешанные леса) (Т); 4 — лесостепи (ЛСС); 5 — степи (С) [5].

Похожая картина наблюдается в июле — уменьшение влажности наблюдается на большей части ЕТР (районы 1, 4, 5): значимые отрицательные тренды составляют от -1,1 до -0,3 %/10 лет. Небольшой рост влажности отмечается лишь на севере Европейской территории России (районы 2 и 3), однако здесь тренды незначимы.

В октябре (рис. 5) на большей части Европейской территории России (районы 1–3) отмечен рост аномалий влажности: значимые тренды составляют от +0,22 до +0,6 %/10 лет. Лишь в районах лесостепей (район 4) и степей (район 5) наблюдается уменьшение аномалий влажности, значимые коэффициенты линейного тренда составляют -0,5 %/10 лет (район 4) и -0,6 %/10 лет (район 5).

В целом за год (см. рис. 6, табл. 1) изменения аномалий относительной влажности по районам на Европейской территории

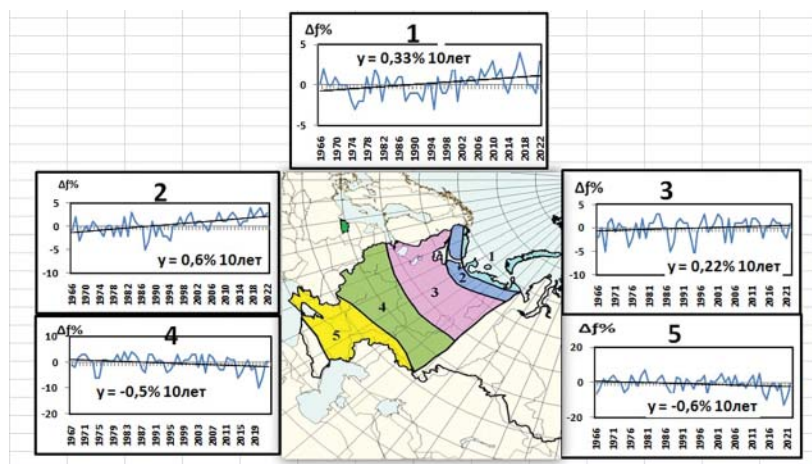


Рис. 5. Тренды (% /10 лет) и временные ряды аномалий, осреднённые по территории квазиоднородных климатических районов на европейской территории России октябрьской относительной влажности воздуха за период с 1966 по 2023 год: 1 — муссонный арктический (МТ) район; 2 — район льдов и ледяной тундры (ЛТ); 3 — тайга (сюда относятся широколиственные и смешанные леса) (Т); 4 — лесостепи (ЛСС); 5 — степи (С) [5].

России несущественны, сами значения близки к климатическим нормам, тенденции малы и незначительны: коэффициенты линейного тренда в основном в пределах $\pm 0,01$ – $0,2$ % за 10 лет, но они статистически незначимы. Лишь в районах лесостепей и степей (районы 4 и 5) отмечено уменьшение влажности: здесь значимые тренды составляют $-0,35$ и $-0,54$ %/10 лет соответственно.

Помимо анализа трендов за период 1966–2023 гг., представляет интерес исследование изменения влажности за последние десятилетия по другим критериям.

В качестве меры интенсивности происходящих изменений относительной влажности воздуха последних десятилетий использовались разности (Δ) средних месячных значений относительной влажности по районам за два одинаковых сравниваемых периода: 1П — 1966–1994 гг. и 2П — 1995–2023 гг. (табл. 2)

Сравнение средних месячных значений относительной влажности по районам за два одинаковых сравниваемых периода:

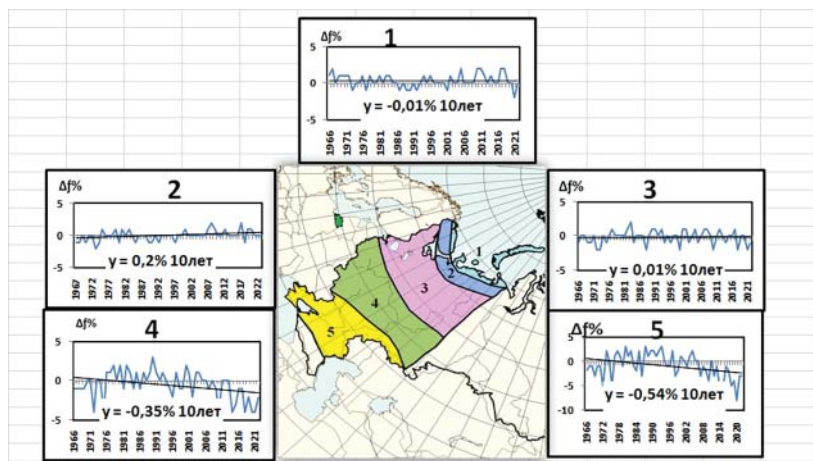


Рис. 6. Тренды (% /10 лет) и временные ряды аномалий, осреднённые по территории квазиоднородных климатических районов на Европейской территории России годовой относительной влажности воздуха за период с 1966 по 2023 год: 1 — муссонный арктический (МТ) район; 2 — район льдов и ледяной тундры (ЛТ); 3 — тайга (сюда относятся широколиственные и смешанные леса) (Т); 4 — лесостепи (ЛСС); 5 — степи (С) [5].

1П (первый период) — 1966–1994 гг. и 2П (второй период) — 1995–2023 гг. и анализ разницы между ними (Δ) ($\Delta = 2П - 1П$) показывает, что зимой (декабрь, январь, февраль), за последний период (1995–2023 гг.) влажность увеличилась во всех районах ЕТР. Весной, наоборот, практически во всех районах, кроме района 1 (островные и прибрежные станции) наблюдается уменьшение среднемесячных значений относительной влажности за последний период — разницы (Δ) отрицательные почти во все месяцы сезона. Аналогичная тенденция наблюдается летом — разницы отрицательны почти на всей ЕТР (районы 1, 3, 4, 5) и только в районе 2 отмечается увеличение среднемесячных значений относительной влажности за второй период (1995–2023 гг.). Осенью выделяется большая часть территории ЕТР — это побережье Арктики (район 1), район льдов и ледяной тундры (район 2) и район тайги (район 3), где отмечается увеличение среднемесячных значений относительной влажности за последний период — 1995–2023 гг.

Исключение составляют районы степей и лесостепей (районы 4 и 5), где, наоборот, во все месяцы сезона наблюдается уменьшение влажности. Видно, что в целом динамика изменения влажности, выявленная с помощью тренд-анализа и с использованием временных периодов, отражает общие тенденции изменения влажности. Анализируя разности (Δ) средних месячных значений относительной влажности по районам за два одинаковых сравниваемых периода, можно видеть, что последний период вносит более существенный вклад в тенденции изменения влажности для большинства районов Европейской территории России.

Таблица 2

**Разность (Δ) средних месячных значений относительной влажности воздуха по районам за два одинаковых сравниваемых периода:
1П — 1966–1994 гг. и 2П — 1995–2023 гг. ($\Delta = 2П - 1П$)**

Район	Период	Месяцы											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1П	83,0	82,7	82,9	82,6	85,3	87,7	88,9	89,9	88,7	85,8	84,9	84,0
	2П	83,3	83,3	83,5	84,5	85,7	87,8	88,1	89,2	88,2	86,7	85,4	84,3
	Δ	0,3	0,6	0,6	1,9	0,4	0,1	-0,8	-0,7	-0,5	0,9	0,5	0,3
2	1П	82,8	82,4	80,1	74,1	70,9	68,9	72,9	79,3	83,5	85,6	86,4	84,5
	2П	84,3	83,1	78,7	73,6	70,1	69,7	73,4	79,9	83,5	87,9	88,1	86,0
	Δ	1,5	0,7	-1,4	-0,5	-0,8	0,8	0,5	0,6	0,0	2,3	1,7	1,5
3	1П	83,6	81,7	77,5	71,1	64,3	68,5	74,2	78,7	83,4	85,3	87,5	85,8
	2П	85,4	82,9	76,1	67,6	64,4	69,0	73,5	78,6	83,0	86,3	88,3	86,8
	Δ	1,8	1,2	-1,4	-3,5	0,1	0,5	-0,7	-0,1	-0,4	1,0	0,8	1,0
4	1П	83,3	81,1	79,5	71,2	61,9	68,7	72,8	73,4	76,9	81,2	86,5	85,5
	2П	84,6	81,7	75,5	65,6	62,3	67,6	70,0	71,0	76,1	80,3	85,6	86,0
	Δ	1,3	0,6	-4,0	-5,6	0,4	-1,1	-2,8	-2,4	-0,8	-0,9	-0,9	0,5
5	1П	83,3	81,6	80,2	68,1	60,1	62,2	60,8	60,4	65,8	74,8	84,5	85,8
	2П	84,5	81,9	76,5	65,0	61,2	58,8	56,8	54,9	63,5	74,2	82,6	85,3
	Δ	1,2	0,3	-3,7	-3,1	1,1	-3,4	-4,0	-5,5	-2,3	-0,6	-1,9	0,5

Примечание: красным шрифтом выделены положительные значения разностей средних месячных значений относительной влажности, синим — отрицательные значения.

Выводы

Таким образом, анализ изменений относительной влажности воздуха на ЕТР как с помощью линейного тренда (1966–2023 гг.), так и методом разности за сравниваемые периоды (1966–1994 гг.) и (1995–2023 гг.) выявил некоторые региональные и сезонные особенности.

Годовые изменения влажности в природно-климатических районах ЕТР незначительны — тренд-анализ не показал чётких закономерностей годовых изменения влажности за период 1966-2023 гг., отмечены незначительные как положительные, так и отрицательные тенденции, свидетельствующие о том, что годовые значения относительной влажности воздуха близки к норме почти на всей территории, кроме степных и лесостепных районов ЕТР (районы 4 и 5), где отмечается отрицательный значимый тренд.

Если рассматривать картину изменения влажности в целом по районам, то в районе льдов и ледяной тундры ЕТР (район 2) прослеживается чёткая картина увеличения влажности: положительные тренды наблюдаются во все сезоны, кроме весны, при этом последние десятилетия вносят более существенный вклад в эту тенденцию (см. табл. 2).

Тайга (район 3) европейской части России показывает неоднородный характер изменения влажности по сезонам: зимой наблюдается тенденция увеличения влажности, а весной — её уменьшение. В остальные сезоны в тайге существенных изменений в режиме влажности нет, значения близки к норме, а тренды малы и незначимы.

В районах, находящихся под влиянием Северной Арктики (район 1), уменьшение влажности наблюдается летом, когда отмечается рост температуры [13, 14], а увеличение — весной и осенью (увеличение влагосодержания за счёт таяния ледников летом [4] и понижение температуры — осенью).

Особо следует отметить районы степей и лесостепей (районы 4 и 5), а это более половины всей Европейской территории России, где во все сезоны, кроме зимы, и за год в целом отмечается уменьшение относительной влажности воздуха: тренды здесь значимы во всех центральных месяцах сезонов и составляют от -1,6 до -0,35 %/10 лет (см. табл. 1).

Если рассматривать в целом всю Европейскую территорию России и выявленные сезонные тенденции, то здесь следует отметить зиму и весну, когда чётко наблюдаются определённые закономерности в изменениях относительной влажности воздуха на территории. Зимой отмечается увеличение влажности почти на

всей Европейской территории России, кроме побережья Арктики, весной — её уменьшение. Линейный тренд за летний и осенний сезоны показал неодинаковый характер изменения этого параметра по районам.

Таким образом на основе результатов анализа получены новые данные пространственно-временных особенностей изменений относительной влажности воздуха на ЕТР. Показано, что климат становится более изменчив, а распределение трендов влажности воздуха неоднородны в пространстве и во времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Матвеев Л.Т.* Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 751 с.
2. *Алисов Б.П. и др.* Курс климатологии. Часть 3. Л.: Гидрометеоиздат, 1954. 320 с.
3. *Дроздов О.А. и др.* Климатология. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. С. 568.
4. *Кузнецова В. Н., Швець Н.В.* Анализ изменчивости режима влажности на территории России за последние десятилетия // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 182. С. 129–141.
5. *Кузнецова В. Н., Швець Н.В.* Некоторые сезонные особенности изменений относительной влажности воздуха в различных природно-климатических зонах России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 189. С. 220–232.
6. *Трофименко Л.Т., Шевченко Н.Н.* Анализ полей асимметрии и эксцессов как средство контроля качества архивных данных // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1985. Вып. 116. С. 67–77.
7. *Пановский Г.А., Брайер Г.В.* Статистические методы в метеорологии // Л.: Гидрометеоиздат, 1972. С. 125–135.
8. *Коршунова Н.Н., Швець Н.В.* Изменение норм основных климатических параметров на территории России за последние десятилетия // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. Вып. 178. С. 11–24.
9. *Шерстюков Б.Г., Салугашвили Р.С.* Новые тенденции в изменениях климата Северного полушария в последнее десятилетие // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 175. С. 43–51.
10. *Шерстюков Б.Г.* Сезонные особенности изменения климата за 1976–2011 гг. // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2012. Вып. 176. С. 3–12.
11. *Коршунова Н.Н., Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Давлетшин С.Г.* Оценка экстремальности температурного режима и режима осадков для территории РФ и её регионов // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 20–30.

12. *Мамонтов Н.В.* Статистические характеристики относительной влажности воздуха в различные часы суток на территории СССР // М.: Гидрометеоиздат, 1982. 225 с.

13. *Алдухов О.А., Черных И.В.* Долгопериодные изменения температурно-влажностного режима в нижней тропосфере над Арктическим регионом России по данным радиозондирования // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 90–104.

14. *Воронцов А.А.* Климатические изменения в термическом режиме прибрежных районов арктических морей в последние десятилетия // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 51–58.

УДК 004.6:551.5:004.9

ПРОГРАММА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПЛЮВИОГРАФА «REGEN-PLUV»

Л.О. Перетьяко¹, Н.В. Швець²

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
¹ peretyatkol@meteo.ru, ² schvets@meteo.ru*

Введение

В настоящее время, когда изменение глобального климата становится всё более очевидным, возрастает интерес к климатическим характеристикам, в частности к такой характеристике, как интенсивность осадков за различные интервалы времени. Данные об интенсивности дождей находят своё применение как в исследованиях режима увлажнения, так и для расчёта разнообразных специализированных показателей для нужд различных областей экономики. Для этого необходимы данные pluвиографа за более полные и продолжительные периоды наблюдений.

В Госфонде ВНИИГМИ-МЦД накоплена достаточная база данных об интенсивности осадков на технических носителях [1]. В [2] подробно описаны две структуры записи (PLUV и REGEN), которые содержат исходные и обработанные данные наблюдений pluвиографа соответственно. Данные pluвиографа представлены в архиве в двух типах записей. Одна из них — PLUV — содержит исходные данные — результаты наблюдений, полученные на станциях, на которых установлен pluвиограф и для тех месяцев, в которые выпадали осадки.

Данные за сутки содержат ежечасные значения количества зарегистрированных pluвиографом осадков на окончание каждого 10-минутного интервала. В каждой записи, кроме основных ключевых элементов (год, месяц, координатный номер станции, тип записи), содержатся сведения о количестве часовых интервалов с данными о дожде, о значениях дней с дождём, о номерах

часовых интервалов в дне с дождём, о количестве осадков за каждый часовой интервал с дождём.

Второй тип записи — REGEN — содержит обработанные данные плювиографа. Каждая отдельная запись содержит сведения об одном дожде и имеет переменную длину, которая определяется количеством интервалов равной интенсивности дождя, число которых может достигать четырёхсот. Количество экземпляров записей типа REGEN определяется количеством дождей за месяц, зарегистрированных стационарным прибором.

Записи REGEN и PLUV может не быть по причине отсутствия плювиографа или из-за того, что на станции в течение месяца не было дождей с количеством осадков 2,5 мм и более. В [2] даётся более полное описание обеих структур записи.

Как и вся режимная метеорологическая информация, данные плювиографа хранятся в сформированных архивных файлах в языке описания гидрометеорологических данных (ЯОД) [3].

1. Постановка задачи

Как было отмечено выше, исследователям и разработчикам специализированных характеристик необходимы разнообразные данные об интенсивности осадков. В одном случае — это данные об интенсивностях по каждому дождю. При решении других задач требуется знать максимальные месячные интенсивности осадков. Для расчёта вероятностных характеристик требуются ранжированные ряды и т.д.

Однако громоздкость данных наблюдений плювиографа, например, один дождь в записи REGEN может содержать до 400 интервалов постоянной интенсивности, вызывает сложности в их восприятии и обработке. Также в определённом смысле это затрудняло доступ к данным, хранившимся в архиве TMS.

В связи с этим была поставлена задача по упрощению доступа к данным плювиографа. Для решения поставленной задачи необходимо было создать программное средство обработки данных плювиографа, создающее на выходе следующий набор файлов в требуемом формате:

- интенсивность осадков для каждого дождя за 10- минутный интервал времени;
- максимальная интенсивность осадков за 10- минутный интервал времени и сумму осадков за 1 час дождя;
- интенсивность осадков за интервал времени от одной до девяти минут;
- максимальная интенсивность осадков за интервалы времени 20, 30, 40, 50, 60 минут каждого месяца;
- скользящие средние суммы осадков за интервалы времени 20, 30, 40, 50, минут каждого дождя;
- скользящие средние суммы осадков за интервалы времени в 1, 2, 3 часа каждого дождя.

2. Исходные данные

Исходные данные для работы программы получаются путём выполнения соответствующих запросов (AQL-запросов) в системе АИСОРИ-Вебрь.

На рис. 1–4 представлены тексты запросов для выборки данных из архива TMS и примеры результатов их выполнения.

```

WAL (32000) CHAR;
IN: STREAM(R) TMS;
  PORTION RECORDS;
RECORDS NAT;
  WAL = ГОД          FC(4),    // Год
        МЕСЯЦ       FC(2),    // Месяц
        СТАНЦИЯ     FC(7);    // Станция
RBODY REGEN;
  WAL = НДЖ         FC(3),    // Номер дождя
        СЧИНТ       FC(3),    // Счетчик периодов с равной интенсивностью
        ОСАДЧИСР    FC(2),    // День начала дождя
        ОСАДЧИСК    FC(2),    // День окончания дождя
        ОСАДЧИСК.Q  FC(1),    // Признак качества к обеим датам
        ОСАДВРЕМ    FC(5,2),  // Время начала дождя, часы, мин.
        ОСАДПРОД    FC(7,2);  // Продолжительность дождя, часы, мин.
GROUP INT;
  WAL =
  ОСАВКПИ          FC(6,2),  // Время оконч. периода пост. интенсивности
  ОСАВКПИ.Q        FC(1),    // Признак качества
  ОСАИНТИР         FC(6,2),  // Средняя интенсивность за период
  ОСАИНТИР.Q       FC(1);    // Признак качества
END INT;
END REGEN;
END RECORDS;

```

Рис. 1. Запрос на выборку данных записи REGEN

1986	6	4164450	9	3	27	28	0	17.55	1.03	18.20	0	0.04	0	18.40	0	0.07	0	18.58	0	0.04	0
1986	7	4164450	1	2	18	18	0	13.45	3.45	16.20	0	0.02	0	17.30	0	0.01	0				
1986	7	4164450	2	2	24	25	0	17.15	1.35	18.40	0		6	18.50	0	0.00	0				
1986	7	4164450	3	2	25	25	0	21.05	0.40	21.40	0		6	21.45	0	0.00	0				
1986	7	4164450	4	3	27	27	0	17.05	0.25	17.10	0	0.96	0	17.20	0	0.25	0	17.30	0	0.01	0
1986	7	4164450	5	5	30	30	0	19.55	1.00	20.20	0	0.01	0	20.30	0	0.17	0	20.40	0	0.81	0
1986	8	4164450	1	4	19	19	0	18.10	1.30	18.40	0	0.01	0	19.10	0	0.06	0	19.30	0	0.04	0
1986	9	4164450	1	3	6	6	0	13.25	0.25	13.30	0	0.12	0	13.40	0	0.30	0	13.50	0	0.18	0
1986	9	4164450	2	4	27	27	0	1.40	2.40	2.00	0	0.04	0	3.40	0	0.01	0	4.00	0	0.04	0
1986	10	4164450	1	3	2	2	0	23.00	5.50	0.20	0	0.01	0	2.20	0	0.02	0	4.50	0	0.01	0

Рис. 2. Пример данных по запросу записи REGEN

```

WA1 (32000) CHAR;
IN: STREAM(R) TMS;
PORTION RECORDS.PLUV.ЧАСДЖ.ЧАСК;
RECORDS NAT;
WA1 = ГОД FC(4), // Год
      МЕСЯЦ FC(2), // Месяц
      СТАНЦИЯ FC(7); // Станция
RBODY PLUV;
WA1 = СЧЧАСД FC(3); // Сч.часов с дождем
GROUP ЧАСДЖ;
WA1 = КЧАСД FC(3), //
      ДЕНЬ FC(2), // День месяца
      НЧАС FC(2), // N часа в дне
      МИННАЧ FC(2), // Минуты начала дождя
      МИНКОН FC(2); // Минуты окончания
GROUP ЧАСК;
WA1 = КЧАС FC(1), //
      ОСКОЛ FC(6,1), // К-во осадков на конец 10-минутки
      ОСКОЛ.Q FC(1); //
END ЧАСК;
END ЧАСДЖ;
END PLUV;
END RECORDS;

```

Рис. 3. Запрос на выборку данных записи PLUV

1997	7	4304760	17	15	24	6	45	1	5												
1997	7	4304760	17	15	24	6	45	2	5												
1997	7	4304760	17	15	24	6	45	3	5												
1997	7	4304760	17	15	24	6	45	4	5												
1997	7	4304760	17	15	24	6	45	5	0.9	0											
1997	7	4304760	17	15	24	6	45	6	2.1	0											
1997	7	4304760	17	16	24	7		1	2.7	0											
1997	7	4304760	17	16	24	7		2	3.5	0											
1997	7	4304760	17	16	24	7		3	4.0	0											
1997	7	4304760	17	16	24	7		4	4.3	0											
1997	7	4304760	17	16	24	7		5	5.7	0											
1997	7	4304760	17	16	24	7		6	7.2	0											
1997	7	4304760	17	17	24	8		10	1	7.3	0										
1997	7	4304760	17	17	24	8		10	2	5											
1997	7	4304760	17	17	24	8		10	3	5											
1997	7	4304760	17	17	24	8		10	4	5											
1997	7	4304760	17	17	24	8		10	5	5											
1997	7	4304760	17	17	24	8		10	6	5											
1997	8	4304760	11	1	5	8	45	1	5												
1997	8	4304760	11	1	5	8	45	2	5												
1997	8	4304760	11	1	5	8	45	3	5												
1997	8	4304760	11	1	5	8	45	4	5												
1997	8	4304760	11	1	5	8	45	5	0.6	0											
1997	8	4304760	11	1	5	8	45	6	3.5	0											
1997	8	4304760	11	2	5	9		30	1	8.0	0										
1997	8	4304760	11	2	5	9		30	2	6											
1997	8	4304760	11	2	5	9		30	3	11.7	0										
1997	8	4304760	11	2	5	9		30	4	5											
1997	8	4304760	11	2	5	9		30	5	5											
1997	8	4304760	11	2	5	9		30	6	5											

Рис. 4. Пример данных по запросу записи PLUV

3. Описание программы

Разработанная программа «REGEN-PLUV» предназначена для обработки данных архива TMS, хранящихся в записях REGEN и PLUV.

Программа «REGEN-PLUV» реализована на языке программирования C++ с использованием библиотеки Qt [4] и фреймворка Qt Creator [5], предназначенная для работы в операционной системе Windows.

Программа «REGEN-PLUV» предоставляет следующие функциональные возможности:

- возможность обработки файла или папки файлов;
- обработка данных записей REGEN или PLUV;
- выделение ошибочных данных в отдельные файлы.

4. Интерфейс пользователя

На рис. 5 представлено окно программы «REGEN-PLUV». В разделе «Меню» в подразделе «AQL-запросы» приведены тексты запросов (рис. 1 и 3).

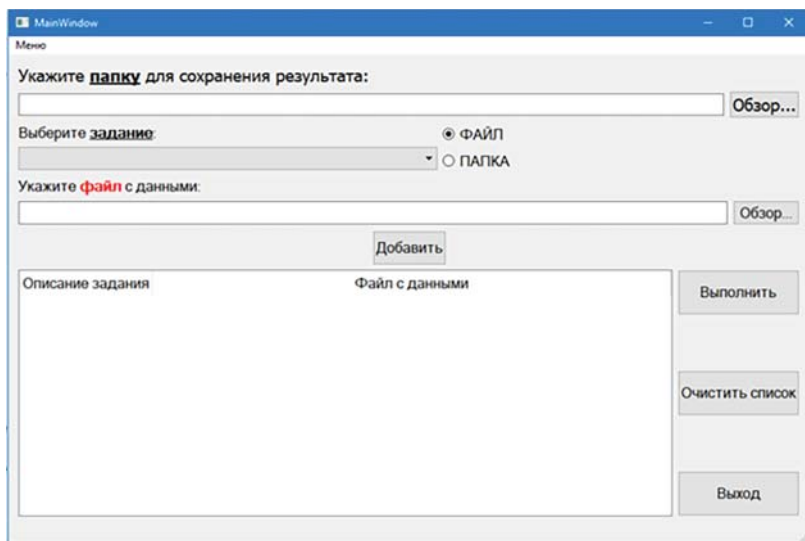


Рис. 5. Окно программы REGEN-PLUV

Для работы программы пользователю необходимо:

- указать директорию папки, где будут размещены результаты обработки данных;
- выбрать задание — тип обрабатываемых данных (REGEN или PLUV);
- указать файл или папку с данными, соответствующими выбранному заданию;
- нажать кнопку «Добавить», чтобы добавить файл(ы) в список заданий;
- нажать кнопку «Выполнить», чтобы начать обработку данных.

На рис. 6 представлено окно программы во время обработки данных.

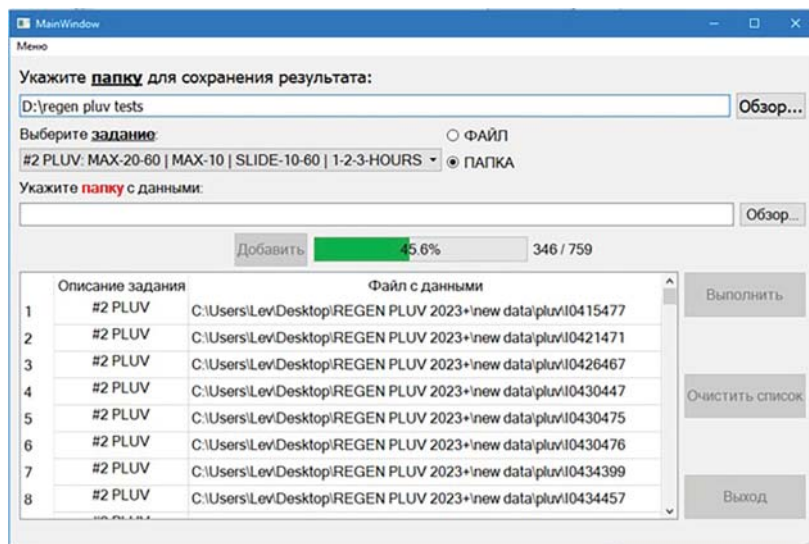


Рис. 6. Пример окна во время обработки файлов с данными

По завершению конвертации появляется информирующее окно (рис. 7). При закрытия этого окна открывается директория с результатами.

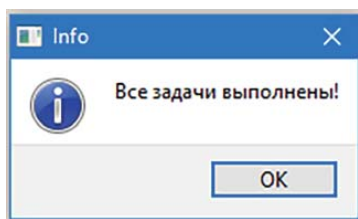


Рис. 7. Информационное окно

5. Алгоритм получения дождей из записи PLUV

Выделение дождей, относящихся к одному месяцу каждого года каждой станции, из входных данных записи PLUV (рис. 4) выполняется циклически в N этапов.

На первом этапе выполняется считывание первой строки, относящейся к текущему дождю. В строке все множественные пробелы заменяются на одиночные, а отсутствующие значения минут начала и конца дождя, а также интенсивности, заменяются специальными константами отсутствия (необходимы для последующей обработки). Данная обработка строки применяется к каждой последующей считанной строке. Также на этом этапе запоминаются станция, год и месяц.

На втором этапе выполняется циклическое чтение строк с проверкой следующих условий на каждой итерации:

- произошёл ли переход на другой месяц, год или станцию;
- закончился ли текущий дождь;
- перешёл ли текущий дождь на следующий месяц или год;
- закончился ли файл.

Если выполнилось только условие об окончании дождя, то данные о нём сохраняются и второй этап продолжается для следующего дождя. При выполнении какого-либо другого условия данные о дожде сохраняются и второй затем завершается. Затем цикл повторяется.

6. Результаты обработки

В результате работы программы «REGEN-PLUV» создаётся набор файлов, зависящий от выбранной задачи. Файлы с

результатами содержат записи постоянной длины. В качестве примера на рис. 8–10 приведены результаты обработки записи типа REGEN. В случае отсутствия данных в столбце ставится точка.

Файл с интенсивностью осадков для каждого дождя за 10-минутный интервал времени (рис. 8) имеет следующую структуру: год, месяц, станция, номер дождя, день начала дождя, день окончания дождя, интенсивность, признак качества.

1988	5	4363221	1	3	3	0.05	1
1988	5	4363221	1	3	3	0.01	1
1988	5	4363221	1	3	3	0.07	1
1988	5	4363221	1	3	3	0.10	1
1988	5	4363221	1	3	3	0.15	1
1988	5	4363221	1	3	3	0.09	1
1988	5	4363221	1	3	3	0.06	1
1988	5	4363221	1	3	3	0.09	1
1988	5	4363221	1	3	3	0.03	1
1988	5	4363221	1	3	3	0.08	1
1988	5	4363221	1	3	3	0.03	1
1988	5	4363221	1	3	3	0.05	1
1988	5	4363221	1	3	3	0.01	1
1988	5	4363221	2	4	4	0.02	1
1988	5	4363221	2	4	4	0.03	1
1988	5	4363221	2	4	4	0.02	1
1988	5	4363221	2	4	4	0.00	1
1988	5	4363221	3	12	13	0.03	1
1988	5	4363221	3	12	13	0.02	1
1988	5	4363221	3	12	13	0.03	1
1988	5	4363221	3	12	13	0.05	1
1988	5	4363221	3	12	13	0.01	1
1988	5	4363221	3	12	13	0.02	1
1988	5	4363221	3	12	13	0.01	1
1988	5	4363221	5	25	26	0.02	1
1988	5	4363221	5	25	26	0.01	1
1988	5	4363221	5	25	26	0.02	1
1988	5	4363221	5	25	26	0.03	1
1988	5	4363221	5	25	26	0.01	1
1988	5	4363221	6	27	28	0.01	1
1988	5	4363221	6	27	28	0.03	1
1988	5	4363221	6	27	28	0.01	1

Рис. 8. Интенсивность осадков для каждого дождя за 10-минутный интервал времени

Файл с максимальными интенсивностями осадков за интервал времени от одной до девяти минут каждого дождя (рис. 9) имеет следующую структуру: станция, год, месяц, день начала дождя, день окончания дождя, интенсивность, признак качества.

4363221	1988	5			.	.	1
4363221	1988	6	14	14	3	0.23	1
4363221	1988	6	4	4	7	0.36	1
4363221	1988	7	7	7	3	0.07	1
4363221	1988	7	7	7	8	0.06	1
4363221	1988	8	16	17	1	0.10	1
4363221	1988	8	21	21	2	0.05	1
4363221	1988	8	20	20	7	0.01	1
4363221	1988	8	20	20	9	0.10	1
4363221	1988	9	1	1	4	0.28	1
4363221	1988	10			.	.	1
4363221	1989	5	20	20	2	0.05	1
4363221	1989	5	27	27	9	0.14	1
4363221	1989	6	15	16	2	0.05	1
4363221	1989	6	18	18	5	0.02	1
4363221	1989	7	25	26	8	0.03	1
4363221	1989	8	30	31	2	0.05	1
4363221	1989	8	31	31	9	0.08	1
4363221	1989	9	24	24	4	0.03	1
4363221	1989	9	1	1	5	0.08	1
4363221	1989	9	19	19	7	0.06	1

Рис. 9. Максимальная интенсивность осадков за интервал времени от одной до девяти минут каждого дождя

Файл с максимальной интенсивностью за 10-минутный интервал и сумма осадков за один час каждого дождя (рис. 10) имеет следующую структуру: год, месяц, станция, номер дождя, день начала дождя, день окончания дождя, интенсивность за 10 минут, интенсивность за час, признак качества.

Результаты обработки данных записи типа PLUV представлены на рис. 11–13. В случае отсутствия данных в столбце ставится точка.

Файл с максимальной интенсивностью за 10-минутный интервал каждого месяца (рис. 11) имеет следующую структуру: станция, год, месяц, дни дождя, интенсивность, признак качества.

1988	5	4363221	1	3	3	0.15	5.60	1
1988	5	4363221	2	4	4	0.03	1.50	1
1988	5	4363221	3	12	13	0.05	1.80	1
1988	5	4363221	4	25	25	.	0.60	1
1988	5	4363221	5	25	26	0.03	1.80	1
1988	5	4363221	6	27	28	0.03	1.60	1
1988	6	4363221	1	4	4	0.25	.	1
1988	6	4363221	2	4	4	0.13	2.70	1
1988	6	4363221	3	8	9	0.06	2.50	1
1988	6	4363221	4	14	14	0.40	4.70	1
1988	6	4363221	5	16	16	0.10	3.00	1
1988	7	4363221	1	3	3	0.19	6.10	1
1988	7	4363221	2	7	7	0.17	3.10	1
1988	7	4363221	3	7	7	0.13	.	1
1988	7	4363221	4	8	8	0.06	2.50	1
1988	7	4363221	5	20	20	0.07	1.20	1
1988	8	4363221	1	16	17	0.80	.	1
1988	8	4363221	2	18	18	0.13	4.00	1
1988	8	4363221	3	18	18	0.08	2.50	1
1988	8	4363221	4	20	20	0.17	.	1
1988	8	4363221	5	21	21	0.21	10.60	1
1988	8	4363221	6	29	30	0.13	5.60	1
1988	8	4363221	7	30	30	0.24	9.50	1
1988	9	4363221	1	1	1	0.70	20.60	1
1988	9	4363221	2	1	1	0.64	10.00	1
1988	9	4363221	3	9	9	0.12	6.30	1
1988	9	4363221	4	18	19	0.48	15.20	1
1988	9	4363221	5	19	19	0.07	2.60	1
1988	10	4363221	1	6	7	0.09	3.40	1

Рис. 10. Максимальная интенсивность за 10-минутный интервал и сумма осадков за один час каждого дождя

4154770	1997	5	25	0.30	1
4154770	1997	6	24	0.46	1
4154770	1997	7	16	0.56	1
4154770	1997	8	6	0.26	1
4154770	1997	9	22-23	0.14	1
4154770	1998	5	9	0.20	1
4154770	1998	6	29	0.40	1
4154770	1998	7	7	0.12	1
4154770	1998	8	5	0.86	1
4154770	1998	9	6	0.41	1
4154770	1999	6	22	0.34	1
4154770	1999	7	4	0.82	1
4154770	1999	8	19	0.68	1
4154770	1999	9	4	0.26	1
4154770	1999	10	12-13	0.10	1
4154770	2000	4	23	0.19	1
4154770	2000	6	12	0.18	1
4154770	2000	7	8	0.04	1
4154770	2000	8	16	0.50	1
4154770	2000	9	1	0.28	1
4154770	2001	4	26	0.12	1
4154770	2001	5	17	0.16	1
4154770	2001	6	30	0.16	1
4154770	2001	7	11	0.14	1
4154770	2001	8	24	0.28	1
4154770	2001	9	10	0.14	1

Рис. 11. Максимальная интенсивность за 10-минутный интервал каждого месяца

Файл с максимальной интенсивностью осадков за интервалы времени 20, 30, 40, 50, 60 минут каждого месяца (рис. 12) имеет следующую структуру: станция, год, месяц, интенсивность за 20 минут, дни дождя, интенсивность за 30 минут, дни дождя, интенсивность за 40 минут, дни дождя, интенсивность за 50 минут, дни дождя, интенсивность за 60 минут, дни дождя, признак качества.

Файл со скользящими средними суммами осадков за интервалы времени 20, 30, 40, 50, минут и скользящими средними суммами осадков за интервалы времени в 1, 2, 3 часа каждого

4154770	1997	5	0.130	13	0.140	13	0.125	13	0.104	13	0.095	13	1
4154770	1997	6	0.340	24	0.267	24	0.212	24	0.178	24	0.158	24	1
4154770	1997	7	0.370	15	0.293	15	0.245	15	0.224	15	0.197	15	1
4154770	1997	8	0.205	15	0.163	15	0.143	15	0.142	15	0.130	15	1
4154770	1997	9	0.100	22-23	0.080	22-23	0.075	22-23	0.064	22-23	0.063	22-23	1
4154770	1998	5	0.160	9	0.140	9	0.130	9	0.124	9	0.120	9	1
4154770	1998	6	0.240	29	0.220	28	0.205	29	0.196	29	0.207	29	1
4154770	1998	7	0.110	7	0.113	7	0.100	7	0.088	7	0.077	7	1
4154770	1998	8	0.520	5	0.367	5	0.275	5	0.220	5	0.185	5	1
4154770	1998	9	0.265	6	0.210	6	0.197	6	0.186	6	0.168	6	1
4154770	1999	6	0.260	22	0.177	22	0.138	22	0.114	22	0.098	22	1
4154770	1999	7	0.490	4	0.353	12	0.467	4	0.390	12	0.342	12	1
4154770	1999	8	0.400	19	0.280	19	0.227	19	0.204	19	0.185	19	1
4154770	1999	9	0.210	4	0.173	4	0.175	4	0.164	4	0.160	4	1
4154770	1999	10	0.090	12-13	0.087	12-13	0.085	12-13	0.080	12-13	0.073	12-13	1
4154770	2000	4	0.115	23	0.077	23	0.057	23	0.050	23	0.047	22	1
4154770	2000	6	0.130	24	0.100	12	0.090	12	0.084	12	0.073	12	1
4154770	2000	7	0.105	8	0.077	8	0.068	8	0.058	8	0.052	8	1
4154770	2000	8	0.140	29	0.120	29	0.105	29	0.090	29	0.080	16	1
4154770	2000	9	0.220	1	0.167	1	0.130	2	0.114	1	0.115	1	1
4154770	2001	4	0.075	26	0.073	26	0.070	26	0.070	27	0.065	27	1
4154770	2001	5	0.150	17	0.140	17	0.130	17	0.124	17	0.113	17	1
4154770	2001	6	0.090	9	0.083	9	0.080	9	0.080	9	0.078	9	1
4154770	2001	7	0.130	11	0.107	11	0.110	11	0.104	11	0.103	11	1
4154770	2001	8	0.240	24	0.200	24	0.180	24	0.160	25	0.160	25	1
4154770	2001	9	0.130	10	0.130	10	0.128	10	0.122	10	0.122	10	1
4154770	2002	5	0.190	25	0.160	25	0.145	25	0.136	25	0.127	25	1
4154770	2002	6	0.140	2	0.127	2	0.125	2	0.116	29	0.110	29	1
4154770	2002	7	0.550	27	0.460	27	0.360	27	0.296	27	0.257	27	1
4154770	2002	8	0.170	17	0.133	17	0.120	17	0.108	17	0.097	17	1
4154770	2002	9	0.700	14	0.523	14	0.412	14	0.414	14	0.373	14	1
4154770	2003	5	0.070	17	0.067	17	0.070	17	0.068	17	0.067	17	1
4154770	2003	6	0.160	1	0.160	1	0.145	1	0.140	1	0.137	1	1
4154770	2003	7	0.250	19	0.200	19	0.160	19	0.130	19	0.110	20	1
4154770	2003	8	0.030	24	0.030	24	0.030	24	0.028	24	0.023	24	1
4154770	2003	9	0.100	18	0.087	18	0.068	18	0.058	18	0.048	18	1
4154770	2003	10	0.150	26	0.133	26	0.120	26	0.116	26	0.110	26	1
4154770	2004	5	0.120	9	0.090	9	0.070	20	0.058	9	0.050	9	1
4154770	2004	6	0.280	21	0.207	21	0.163	21	0.148	22	0.130	22	1
4154770	2004	7	0.255	2	0.190	2	0.153	2	0.142	10	0.145	10	1
4154770	2004	8	0.370	4	0.293	4	0.250	4	0.218	4	0.187	4	1
4154770	2004	9	0.090	7	0.087	7	0.080	7	0.080	7	0.077	7	1

Рис. 12. Максимальная интенсивность осадков за интервалы времени 20, 30, 40, 50, 60 минут каждого месяца

дождя (рис. 13) имеет следующую структуру: станция, год, месяц, номер дождя, дни дождя (3 столбца), номер часа, номер десятиминутного интервала, сумма за 20 минут, сумма за 30 минут, сумма за 40 минут, сумма за 50 минут, сумма за 1 час, сумма за 2 часа, сумма за 3 часа, признак качества.

Файл со скользящими средними суммами осадков за интервалы времени 20, 30, 40, 50 минут и скользящими средними суммами осадков за интервалы времени в 1, 2, 3 часа каждого дождя (рис. 13) имеет следующую структуру: станция, год, месяц, номер дождя, дни дождя (3 столбца), номер часа, номер десятиминутного интервала, сумма за 20 минут, сумма за 30 минут, сумма за 40 минут, сумма за 50 минут, сумма за 1 час, сумма за 2 часа, сумма за 3 часа, признак качества.

4154770	1997	5	1	4	.	.	5	1	0.5	1.0	1.4	1.8	2.2	3.2	.	.	1
4154770	1997	5	1	4	.	.	5	2	0.5	0.9	1.3	1.7	2.7	.	.	.	1
4154770	1997	5	1	4	.	.	5	3	0.4	0.8	1.2	2.2	.	.	.	1	
4154770	1997	5	1	4	.	.	5	4	0.4	0.8	1.8	.	.	.	.	1
4154770	1997	5	1	4	.	.	5	5	0.4	1.4	.	.	.	.	.	1
4154770	1997	5	1	4	.	.	5	6	1.0	.	.	.	.	.	.	1
4154770	1997	5	2	9	.	.	21	2	0.4	1.0	1.4	1.5	1.8	1.9	4.6	7.2	1
4154770	1997	5	2	9	.	.	21	3	0.6	1.0	1.1	1.4	1.5	1.6	4.4	7.4	1
4154770	1997	5	2	9	.	.	21	4	0.4	0.5	0.8	0.9	1.0	1.2	4.2	.	1
4154770	1997	5	2	9	.	.	21	5	0.1	0.4	0.5	0.6	0.8	2.4	4.0	.	1
4154770	1997	5	2	9	.	.	21	6	0.3	0.4	0.5	0.7	2.3	2.7	4.5	.	1
4154770	1997	5	2	9	.	.	22	1	0.1	0.2	0.4	2.0	2.4	2.6	4.8	.	1
4154770	1997	5	2	9	.	.	22	2	0.1	0.3	1.9	2.3	2.5	2.7	5.3	.	1
4154770	1997	5	2	9	.	.	22	3	0.2	1.8	2.2	2.4	2.6	2.8	5.8	.	1
4154770	1997	5	2	9	.	.	22	4	1.6	2.0	2.2	2.4	2.6	3.0	.	1	
4154770	1997	5	2	9	.	.	22	5	0.4	0.6	0.8	1.0	1.4	1.6	.	1	
4154770	1997	5	2	9	.	.	22	6	0.2	0.4	0.6	1.0	1.2	1.8	.	1	
4154770	1997	5	2	9	.	.	23	1	0.2	0.4	0.8	1.0	1.6	2.2	.	1	
4154770	1997	5	2	9	.	.	23	2	0.2	0.6	0.8	1.4	2.0	2.6	.	1	
4154770	1997	5	2	9	.	.	23	3	0.4	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	.	1	
4154770	1997	5	2	9	.	.	23	4	0.2	0.8	1.4	2.0	2.6	.	1		
4154770	1997	5	2	9	.	.	23	5	0.6	1.2	1.8	2.4	.	.	.	1	
4154770	1997	5	2	9	.	.	23	6	0.6	1.2	1.8	.	.	.	.	1
4154770	1997	5	2	9	.	.	24	1	0.6	1.2	.	.	.	.	.	1
4154770	1997	5	2	9	.	.	24	2	0.6	.	.	.	.	.	.	1
4154770	1997	5	3	13	.	.	17	2	0.4	0.6	0.6	1.2	1.4	2.0	.	1	
4154770	1997	5	3	13	.	.	17	3	0.2	0.2	0.8	1.0	1.6	2.8	.	1	
4154770	1997	5	3	13	.	.	17	4	0.0	0.6	0.8	1.4	2.6	2.8	.	1	
4154770	1997	5	3	13	.	.	17	5	0.6	0.8	1.4	2.6	2.8	2.9	.	1	
4154770	1997	5	3	13	.	.	17	6	0.2	0.8	2.0	2.2	2.3	.	.	1	
4154770	1997	5	3	13	.	.	18	1	0.6	1.8	2.0	2.1	.	.	.	1	
4154770	1997	5	3	13	.	.	18	2	1.2	1.4	1.5	.	.	.	.	1
4154770	1997	5	3	13	.	.	18	3	0.2	0.3	.	.	.	.	.	1
4154770	1997	5	3	13	.	.	18	4	0.1	.	.	.	.	.	.	1
4154770	1997	5	4	13	.	.	23	6	1.6	2.4	4.2	5.0	5.2	.	.	1	
4154770	1997	5	4	13	.	.	24	1	0.8	2.6	3.4	3.6	.	.	.	1	
4154770	1997	5	4	13	.	.	24	2	1.8	2.6	2.8	.	.	.	.	1
4154770	1997	5	4	13	.	.	24	3	0.8	1.0	.	.	.	.	.	1
4154770	1997	5	4	13	.	.	24	4	0.2	.	.	.	.	.	.	1

Рис. 13. Скользящие средние суммы осадков за интервалы времени 20, 30, 40, 50 минут и скользящие средние суммы осадков за интервалы времени в 1, 2, 3 часа каждого дождя

7. Контроль данных

При решении исследовательских и практических задач огромное внимание всегда уделяется качеству исходных данных. Необходимо выявить заведомо ошибочные данные и не принимать их во внимание при дальнейших расчётах. Так в нашем случае на начальном этапе работы в обеих записях данных плювиографа были обнаружены ошибки разного типа в обоих типах записи.

Во-первых, это пропуски в записях или неверное значение времени. На рис. 14 представлен пример ошибочных данных в записи REGEN. Ошибочными данными считают данные, где присутствуют пропуски значений (выделены константой «----») или неверное значение времени. В процессе обработки данные с пропусками выделяются и помещаются в отдельные файлы (например, I4084820-Errors). При этом алгоритм программы работает таким образом, что сохраняется возможность извлекать интенсивности осадков за интервалы времени менее десяти минут из каждой подобной записи.

1984	4	4084820	3	2	30	30	0	0.15	2.55	3.00	0	----	6	3.10	0	0.00	0
1984	4	4084820	4	2	30	30	0	9.20	3.20	12.30	0	----	6	12.40	0	0.00	0
1984	4	4084820	5	2	30	30	0	14.45	3.15	17.50	0	----	6	17.59	0	0.00	0
1984	5	4084820	1	2	1	1	0	18.00	19.35	13.30	0	----	6	13.35	0	0.00	0
1984	5	4084820	2	2	6	6	0	21.40	18.30	16.00	0	----	6	16.10	0	0.00	0

Рис. 14. Пример ошибочных данных REGEN

На рис. 15 представлен пример ошибочных данных в записи PLUV. Ошибочными данными считают данные, где присутствуют пропуски значений (выделены константой «///») и имеют признак качества «б») или отсутствует время начала или окончания дождя.

В процессе обработки ошибочные записи выделяются и хранятся в отдельном файле (Defects-Rain).

Во-вторых, это записи с отрицательными значениями интенсивностей, которые программа отбраковывает и записывает в отдельный файл (ALL — Negative-Errors).

В-третьих, при работе с записями типа REGEN были обнаружены случаи, когда время первой отсечки не было кратно десяти.

```

2016 9 5164600 81 18 21 13 41 -- 1 /// 5
2016 9 5164600 81 18 21 13 41 -- 2 /// 5
2016 9 5164600 81 18 21 13 41 -- 3 /// 5
2016 9 5164600 81 18 21 13 41 -- 4 /// 5
2016 9 5164600 81 18 21 13 41 -- 5 0.1 0
2016 9 5164600 81 18 21 13 41 -- 6 0.3 0
2016 9 5164600 81 19 21 14 -- -- 1 /// 6
2016 9 5164600 81 19 21 14 -- -- 2 /// 6
2016 9 5164600 81 19 21 14 -- -- 3 /// 6
2016 9 5164600 81 19 21 14 -- -- 4 /// 6
2016 9 5164600 81 19 21 14 -- -- 5 /// 6
2016 9 5164600 81 19 21 14 -- -- 6 /// 6
2016 9 5164600 81 20 21 15 -- -- 1 /// 6
2016 9 5164600 81 20 21 15 -- -- 2 /// 6
2016 9 5164600 81 20 21 15 -- -- 3 /// 6
2016 9 5164600 81 20 21 15 -- -- 4 /// 6
2016 9 5164600 81 20 21 15 -- -- 5 /// 6
2016 9 5164600 81 20 21 15 -- -- 6 /// 6
2016 9 5164600 81 21 21 16 -- 10 1 3.7 0
2016 9 5164600 81 21 21 16 -- 10 2 /// 5
2016 9 5164600 81 21 21 16 -- 10 3 /// 5
2016 9 5164600 81 21 21 16 -- 10 4 /// 5
2016 9 5164600 81 21 21 16 -- 10 5 /// 5
2016 9 5164600 81 21 21 16 -- 10 6 /// 5

```

Рис. 15. Пример ошибочных данных PLUV

Это приводило к ошибочным результатам в оценке величины интенсивности осадков за первые десять минут дождя. В программе удалось предусмотреть возможность устранения некорректного времени первой отсечки, что увеличило количество привлекаемых к расчётам дождей со значениями интенсивностей осадков за интервалы времени от одной до десяти минут.

7. Примеры использования результатов работы программного средства

Как было отмечено выше, данные об интенсивности осадков за различные интервалы времени крайне необходимы как исследователям, занимающимся изучением и изменением климата, так и разработчикам специализированных характеристик осадков. Представленное программное средство позволяет из имеющихся в Госфонде данных об интенсивности осадков получать информацию о наблюдаемых максимумах интенсивности дождей за интервалы времени от одной до десяти минут. При этом в программе предусмотрен алгоритм расчёта максимальных значений интенсивностей осадков за интервалы от 20 минут

до суток, основанный на использовании метода скользящего среднего с десятиминутным сдвигом периода осреднения. Это даёт возможность обновлять наблюдаемые максимумы интенсивностей осадков, поскольку архивы ВНИИГМИ-МЦД постоянно пополняются.

Экстремальные значения всех характеристик осадков подвержены большой изменчивости во времени. В полной мере, это относится и к интенсивности дождей. Надёжность всех специализированных параметров, получаемых на основе данных об интенсивностях осадков, напрямую зависит от длины периода наблюдения на станции. Разработанное программное средство позволило оценить полноту данных об интенсивности осадков. К сожалению, начиная с 1993 г., значительно сократилось не только число станций на территории Российской Федерации, но и количество pluviографов на функционирующих станциях, приборов, предназначенных для регистрации интенсивностей выпадающих дождей. При исследовании полноты данных об интенсивности осадков на станциях РФ за периоды 1984–2023, 1984–1993, 1994–2003, 2004–2013, 2014–2023 гг. отмечено значительное уменьшение числа станций, передающих данные наблюдений по pluviографу. Так, на рис. 16 представлены максимальные значения интенсивности осадков за десятиминутный интервал времени. Привлечены данные pluviографов со 1143 станций РФ за период с 1984 по 2023 год. За период с 2014 по 2023 год количество таких наблюдений сократилось чуть ли не на порядок.

В строительной индустрии для проектирования систем водоотведения и водоочистки вся необходимая информация представлена в СНиП 2.04.03–85 [6]. Например, для проведения гидравлического расчёта канализационных сетей проектировщикам необходимо получить величину расхода дождевых вод. В формулу расчёта, наряду с другими параметрами, входит такая характеристика, как интенсивность дождя в л/с продолжительностью 20 минут на 1 га данной местности при периоде однократного превышения расчётной интенсивности дождя (один год). Снимать значение этого параметра с карты, представленной в СНиП, достаточно проблематично: масштаб самой карты не позволяет

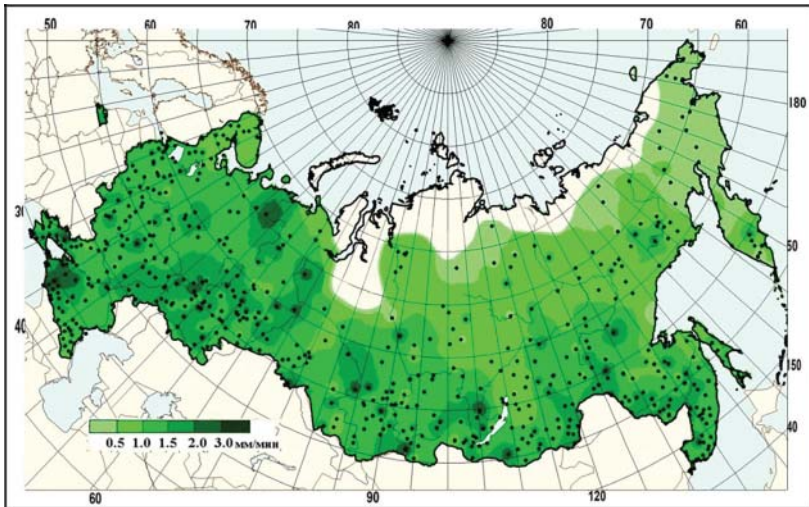


Рис. 16. Интенсивность осадков на территории РФ

сделать это для каждого отдельного пункта с необходимой точностью, поэтому для каждого конкретного пункта этот параметр рассчитывается по данным pluviографа. Методом скользящего среднего по данным pluвиографа за десятиминутные интервалы определяется сначала средняя интенсивности осадков за интервалы времени 20 минут, затем среди них определяется максимальная интенсивность за 20 минут. Затем по ранжированному ряду ежегодных максимальных значений интенсивности осадков за 20 минут получаем интенсивность осадков за 20 минут обеспеченностью 63 %, что и соответствует интенсивности за период 20 минут при периоде однократного превышения. Так по станции Санкт-Петербург за период с 1997 по 2022 год рассчитанная нами интенсивность осадков за 20-минутный интервал времени обеспеченностью 63 % составила 0,38 мм/мин или 63 л/с на 1 га.

Интерес представляет изменчивость интенсивности осадков внутри самого дождя. Были выбраны продолжительные дожди (более 48 часов) и графически представлены интенсивности за десятиминутные интервалы времени. На рис. 17 представлено распределение интенсивности за десятиминутные интервалы

времени внутри продолжительного дождя (55 часов 39 минут) на станции Хамар-Дабан в июле 2001 года.



Рис. 17. Распределение интенсивности внутри продолжительного дождя

Заключение

Разработанная программа «PLUV-REGEN» облегчила доступ к находящейся в Госфонде ВНИИГМИ-МЦД базе данных pluвиографа. Рассчитываемые в результате работы программы параметры позволяют получать самые разнообразные характеристики об интенсивности осадков и использовать их наряду с другими климатическими характеристиками для решения многих задач по исследованию изменений климата, а также в прикладных целях. Предложенный алгоритм контроля повысил качество и надёжность рассчитываемых характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архив «Текущая метеорологическая информация станций» — описание архива. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. 1987.

2. *Швецъ Н.В.* Интенсивность осадков: методы измерений, базы данных наблюдений, использование данных интенсивности осадков в исследовании климата и для решения прикладных задач // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 69–89.
3. *Веселов В.М.* Язык описания гидрометеорологических данных для IBM PC совместимых ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1995. Вып. 160. С. 41–54.
4. *Документация Qt* // Сайт Qt [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://doc.qt.io/qt-5> (дата обращения: 26.04.2024).
5. *Фреймворк Qt* // Сайт Qt [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.qt.io/product/framework> (дата обращения: 26.04.2024).
6. *СНиП 2.04.03–85.* Канализация. Наружные сети и сооружения.

УДК 551.465.7

ЦИКЛОНЫ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА ERA5

Н.А. Вязилова

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
nav@meteo.ru*

Введение

Вопросы экономического развития арктического сектора нашей страны, развитие морского судоходства и других секторов экономики невозможно без изучения климатических особенностей данного региона. Внетропические циклоны, идентифицированные в западной части Арктической зоны России, в районе Баренцева моря, часто сопровождаются штормовыми ветрами, что оказывает значительное влияние на различные отрасли экономики и жизнь общества на Европейской территории России. В последние годы отмечены значительные изменения арктического климата, прежде всего изменение температуры и уменьшение ледового покрова. Исследования показывают, что значительное влияние на величину ледового покрова, а также на температурные изменения в Арктическом регионе оказывают циклоны, выходящие в Арктику из умеренных широт [1–3]. Интенсивные атлантические циклоны выносят в Арктический регион большое количества атмосферного тепла, формируя аномалии температуры и влажности, оказывающие влияние на баланс морского льда через изменения турбулентных и радиационных тепловых потоков. Исследования внетропических циклонов отличаются как методами идентификации центров циклонов и расчёта траекторий циклонов, так и данными, использованными для этих расчётов. Методы автоматической идентификации циклонов базируются на использовании данных в узлах сетки, данных различных реанализов. Анализ многолетней изменчивости циклонической активности в Арктике, выполненный в [4–6] по данным реанализа

NCEP-NCAR за период с 1948 по 2007 год, показал не только существенное увеличение количества циклонов, выходящих в Арктический регион из умеренных широт, но и значительное увеличение количества глубоких циклонов, идентифицированных в Арктическом регионе, а также уменьшение их среднего размера. В работах подчёркивается, что циклоны, выходящие в Арктический регион в зимний сезон, более интенсивные и имеют более короткую длину жизни по сравнению с циклонами в летние месяцы. Климатические изменения циклонической активности в Арктике отмечены также в работах, выполненных с использованием численных моделей. Например, в [7, 8] подчёркивается, что в условиях потепления климата в XXI веке повторяемость циклонов в Арктике возрастёт в тёплую половину года и уменьшится в зимний период.

Сравнение результатов исследований циклонической активности, полученных с использованием различных методов и данных, представленных в целом ряде работ, в том числе в [9–11], показало, что использование данных реанализа с более высоким пространственным разрешением позволяет идентифицировать в полярных и приполярных районах Северной Атлантики существенно большее количество циклонов.

Целью настоящей работы является анализ климатических характеристик циклонов, идентифицированных в западной части Арктической зоны РФ, районе Баренцева и Карского морей в зимний и летний сезон за период с 1979 по 2021 год. Исследование включает анализ траекторий циклонов по районам генезиса, а также особенностей пространственного распределения плотности центров глубоких и штормовых циклонов в этих траекториях.

1. Данные и методы исследования

Центры циклонов и траектории их смещения в настоящем исследовании рассчитаны по 6-часовым данным атмосферного давления на уровне моря (MSLP) в узлах сетки, данных реанализа ERA5/ ECMWF [12], отличающихся высоким пространственным разрешением. Идентификация циклонов проведена в регионе Северной Атлантики и Европы с координатами 30° с.ш. – 85° с.ш.,

50° з.д. – 90° в.д. Центры циклонов идентифицировались автоматическим методом. Метод идентификации центров циклонов и алгоритм расчёта траекторий смещения центров циклонов подробно описан в [11]. Из всех идентифицируемых циклонов для анализа отбирались циклоны, генерируемые в западной части Арктической зоны РФ, районе Баренцева и Карского морей (66° с.ш. – 85° с.ш., 10° в.д. – 80° в.д.), а также циклоны, выходящие в данный район из других регионов генезиса. Район генезиса для каждого циклона определялся по координатам начальной точки его траектории. Для всех циклонов, отмеченных в районе Баренцева моря, были построены карты интегральной плотности генезиса и плотности затухания циклонов. Для анализа отбирались циклоны с продолжительностью жизни от трёх сроков наблюдения и более.

В статье представлены карты пространственного распределения плотности генезиса и затухания траекторий циклонов, рассчитанной для зимней и летней половины года, а также карты плотности центров глубоких и штормовых циклонов. К глубоким циклонам в данной работе относились циклоны с давлением в центре от 980 гПа и менее, хотя бы раз за историю жизни. Идентификация штормовых циклонов проводилась на основе значений скорости приземного ветра в районе центра циклона. Скорость приземного ветра в районах циклонов в каждый срок наблюдения рассчитывалась по данным зональной и меридиональной составляющих на высоте 10 м над уровнем моря. В каждый срок наблюдения идентифицировались величина максимальной скорости ветра в районе каждого центра циклона радиусом в 5° и координаты положения этой скорости, которые могут отличаться от положения центра циклона.

2. Количество и характеристики траекторий циклонов

На рис. 1 представлено распределение интегральной плотности генезиса и затухания циклонов, траектории которых проходят через район Баренцева моря, в зимнюю и летнюю половину года за весь период исследования. Плотность генезиса циклонов представляет количество циклонов, зародившихся или имеющих своё начало в выбранном районе за определённый период времени.

Плотность затухания циклонов — количество циклонов, имеющих своё окончание в данном районе за определённый период времени.

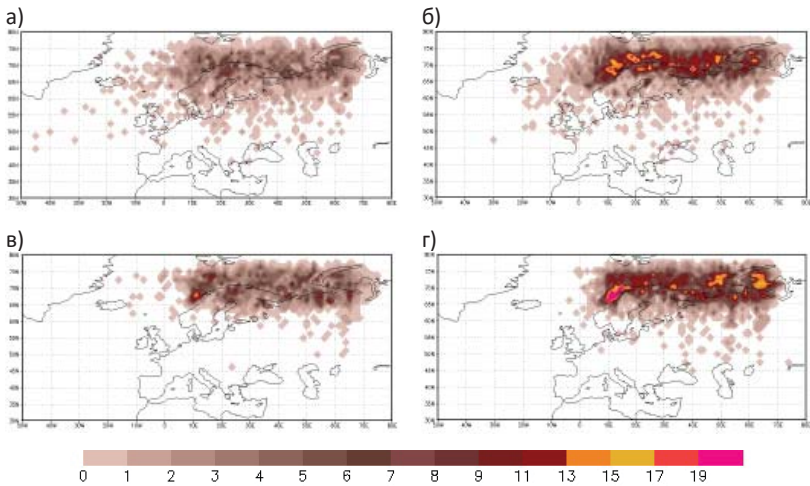


Рис. 1. Распределение интегральной плотности генезиса (а, б) и затухания (в, г) циклонов, траектории которых проходят через район Баренцева моря в летнюю (а, в) и зимнюю (б, г) половину года за период исследования

Циклоны, генерируемые в районе Баренцева моря, представляют основную часть всех траекторий циклонов, идентифицированных в данном районе (около 80%). Из других регионов генезиса (рис. 2) в район Баренцева моря выходит чуть более 20% циклонов: около 7% — из западных приполярных районов Атлантики (регион РА), около 8% — из северных районов Европы (район EUR), около 4% — с Европейской территории РФ (ETR), в том числе из южных причерноморских районов, и 1% — из умеренных широт акватории Атлантики (ATL). Максимальная плотность генезиса циклонов наблюдается в прибрежном регионе Норвежского и Баренцева морей. Именно в этом районе, по данным исследования [13], отмечена максимальная повторяемость полярных мезоциклонов в европейском секторе Арктики в зимний сезон по спутниковым данным [14], а также по данным

реанализов NASA-MERRA [15], ERA-INTERIM [16], арктического реанализа ASR [17] и совместного (океан – лёд – атмосфера) реанализа NCEP-CFSR [18].

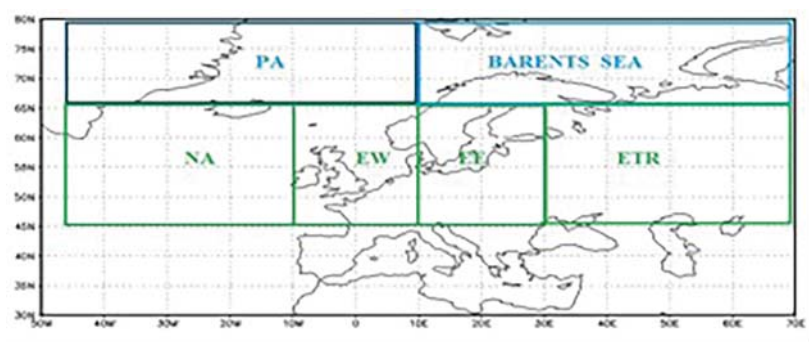


Рис. 2. Районы генезиса траекторий циклонов, идентифицированных в регионе Баренцева моря

Анализ рисунков показывает, что количество траекторий циклонов, идентифицированных в районе Баренцева моря в зимнюю половину года существенно больше по сравнению с летними месяцами. Это различие, возможно, действительно связано с генезисом полярных циклонов, так как, согласно выводам исследований [19, 20], полярные мезоциклоны свойственны холодному периоду года, когда арктический холодный воздух натекает на более тёплую морскую поверхность. Известно, что в указанный район Атлантики, Норвежское и Баренцево моря выходят тёплые воды северо-атлантической ветви течения Гольфстрим.

Циклоны, генерируемые в районе Баренцева моря, можно условно разделить на смещающиеся зонально и меридионально. Первые генерируются в западной части района и смещаются в направлении Новой Земли и Карского моря, вторые — генерируются как в районе Баренцева, так и Карского морей, и смещаются в южные широты, выходя иногда в прикаспийский и приазовский районы РФ. Преобладание зонального или меридионального направления смещения циклонов может быть связано с характером общей циркуляции, преобладающей в умеренных и арктических

широтах в определённый период времени. Большую часть циклонов, генерируемых в районе Баренцева моря, составляют циклоны с продолжительностью жизни не более суток (рис. 3).

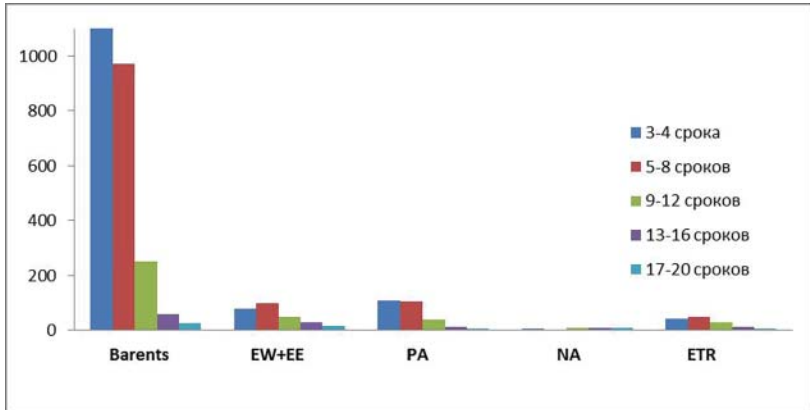


Рис. 3. Распределение по продолжительности жизни траекторий циклонов, генерируемых в районе Баренцева моря, а также вышедших в данный район из других регионов генезиса в зимний сезон

Значительная часть циклонов, генерируемых как в районе Баренцева моря, так и вышедших в данный район из приполярного района Атлантики, северных районов Европы и Европейской территории России, имеет продолжительность жизни до 2 суток. Количество циклонов, генерируемых в умеренных широтах Атлантики и достигших района Баренцева моря, невелико (около 1 %). Их продолжительность жизни в среднем превышает 4 суток, а отдельные атлантические циклоны имеют продолжительность более 10 суток.

3. Распределение глубоких и штормовых циклонов по районам генезиса

Анализ траекторий циклонов позволяет выявлять основные районы генезиса и затухания циклонов. Для анализа же циклонической активности в районе исследования чаще всего

рассчитывают количество центров циклонов или используют специальные индексы, такие, например, как индекс циклонической активности [2, 7], представляющий сумму аномалий атмосферного давления в центрах циклонов. На рис. 4 представлены карты пространственного распределения количества центров глубоких циклонов в траекториях циклонов, генерируемых непосредственно в районе Баренцева моря, а также в траекториях, выходящих в данный регион из других районов генезиса.

Анализ карт показывает, что максимальная плотность количества центров циклонов с экстремально низким давлением наблюдается в районах генезиса циклонов, и чем дальше район

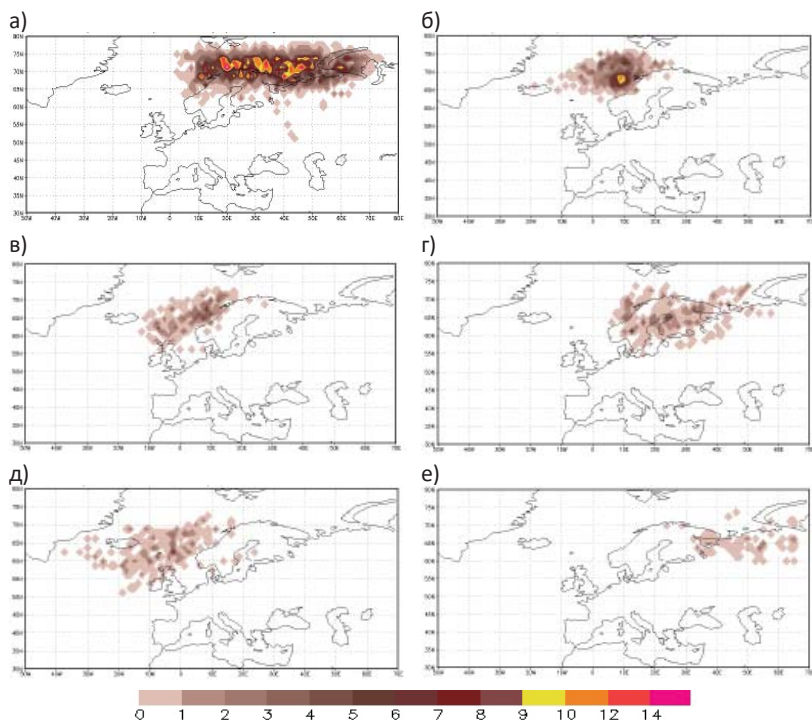


Рис. 4. Распределение многолетней плотности центров глубоких циклонов с давлением в центре от 980 гПа и менее в зимнюю половину года, генерируемых в районе Баренцева моря (а) и вышедших в данный район из других регионов генезиса: б) РА; в) EW; г) EE; д) NA; е) ETR.

генезиса от Баренцева моря, тем меньший процент таких центров достигает район исследования.

Идентификация штормовых циклонов проводилась по скорости приземного ветра в районе центра циклона на основе шкалы Бофорта, согласно которой термин «шторм» относится ко всем циклонам со скоростью ветра от 17,2 м/с (8 баллов). Анализ плотности центров штормовых циклонов показывает (рис. 5), что штормовая скорость ветра, так же, как и экстремально низкое давление, наблюдается преимущественно в районах генезиса циклонов, но может наблюдаться в траекториях циклонов достаточно далеко от районов их возникновения.

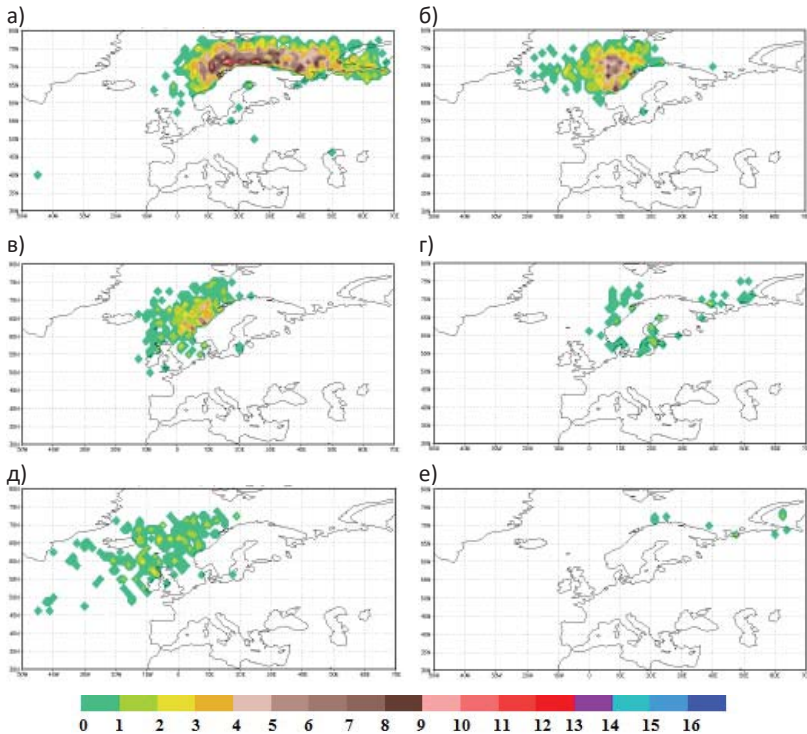


Рис. 5. Распределение многолетней плотности центров штормовых циклонов в зимнюю половину года, генерируемых в районе Баренцева моря (а) и вышедших в данный район из других регионов генезиса: б) PA; в) EW; г) EE; д) NA; е) ETR.

Например, циклоны, генерируемые в районе Баренцева и Карского морей, обуславливают развитие штормовой скорости ветра не только в районе генезиса, но также в районе Норвежского, Северного и Балтийского морей (рис. 5а). Штормовая скорость ветра на российском побережье в основном обусловлена циклонами, генерируемыми в районе Баренцева моря, но отдельные случаи могут быть связаны с выходом в данный район циклонов из района Скандинавии и Европейской территории России.

Сравнение пространственного распределения плотности центров глубоких и штормовых циклонов позволяет предположить, что в умеренных и приполярных широтах штормовые циклоны в подавляющем случае являются и глубокими, в отличие, например, от южных штормовых циклонов, в которых высокая скорость ветра часто наблюдается на фоне довольно умеренного давления в центре циклона. При этом максимальная плотность как центров глубоких циклонов, так и центров штормовых циклонов наблюдается в прибрежном регионе Норвежского и Баренцева морей.

4. О циклонической активности в районе Баренцева моря

Анализ межгодовой изменчивости характеристик циклонической активности показывает (рис. 6), что и количество центров циклонов, и значение индекса циклонической активности в районе Баренцева моря в зимний сезон существенно выше по сравнению с летним периодом в течение всего периода исследования.

Максимальное усиление циклонической активности в данном районе отмечалось в зимние сезоны 1989–1990, 1999–2000, 2019–2020 годов. Минимальные значения индекса циклонической активности отмечены в зимние сезоны 1984–1985, 2001–2002, 2005–2006, 2009–2010 годов. Согласно результатам исследования [11], усиление активности циклонов, как в районе Исландского минимума, основном районе циклонической активности в Северной Атлантики, так и в районе Баренцева моря в зимний сезон, наблюдается в годы развития интенсивной положительной фазы северо-атлантического колебания, например в зимний сезон 1999–2000 годов. Максимальное усиление циклонической активности в этих районах отмечено в годы совпадения положительных фаз северо-атлантического и

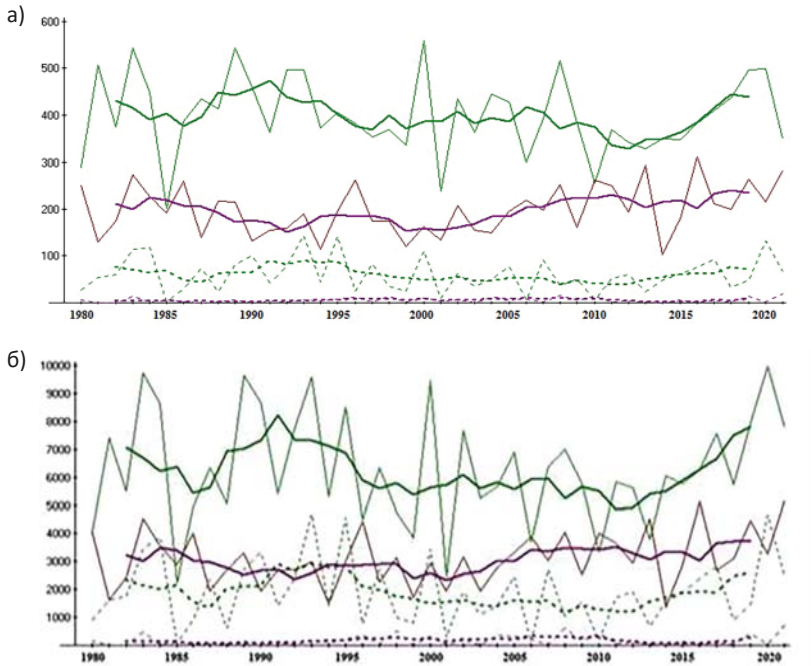


Рис. 6. Количество центров циклонов (а) и индекс циклонической активности (б) в районе Баренцева моря в зимнюю (зелёный цвет линий) и летнюю (цвет линий — бордовый) половину года. Обозначения: сплошная линия — все циклоны, точки — глубокие циклоны, жирная линия — скользящие средние за пять лет.

восточно-атлантического колебаний, которое наблюдалось в том числе в зимние сезоны 1989–1990 и 2019–2020 годов. В последние несколько лет отмечается тенденция к усилению циклонической активности в районе Баренцева моря как в зимние, так и летние месяцы. В зимний сезон значительный вклад в циклоническую активность — более 30 % — вносят глубокие циклоны.

Заключение

Основную часть всех траекторий циклонов, идентифицированных в районе Баренцева моря, и в летний, и в зимний сезоны представляют циклоны, генерируемые в этом же районе. Максимальная плотность генезиса циклонов, а также плотности центров

глубоких и штормовых циклонов наблюдается в прибрежном районе Баренцева и Норвежского морей в зимний сезон. Большую часть циклонов, генерируемых в районе Баренцева моря в зимний сезон, составляют циклоны с продолжительностью жизни не более суток.

Согласно вышеперечисленным выводам можно предположить, что основную часть циклонов, генерируемых в районе Баренцева моря, составляют полярные мезоциклоны. Данный вывод подтверждает результаты исследований о полярных мезоциклонах в европейском секторе Арктики в зимний сезон по спутниковым данным, а также по данным других реанализов. Глубокие и штормовые циклоны, генерируемые в районе Баренцева моря, могут создавать экстремальную синоптическую ситуацию не только в районе Баренцева моря, но и в прилегающих районах, лежащих на пути траекторий экстремальных циклонов. Максимальное усиление циклонической активности в районе Баренцева моря отмечалось в зимние сезоны, отличившиеся развитием положительной фазы северо-атлантического колебания. Следует отметить тенденцию к усилению циклонической активности в районе Баренцева моря в последние несколько лет как в зимние, так и летние месяцы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Overland J.E., Spillane M.C., Percival D.B., Wang M.Y., Mofjeld H.O.* Seasonal and regional variation of pan-Arctic surface air temperature over the instrumental record // *J. Climate*. 2004. V. 17(17). P. 3263–3282.
2. *Overland J.E., Wang M.Y.* Large-scale atmospheric circulation changes are associated with the recent loss of Arctic sea ice // *Tellus*. 2010. A 64:11595. doi: 10.1175/2010JCL13297.1 3. *Honda M., Inoue J., Yamane S.* Influence of low Arctic sea-ice minima on anomalously cold Eurasian winters // *Geophys. Res. Lett.* 2009. V. 36:L08707–9893–7.
4. *Zhang X., Walsh J., Zhang J.* Climatology and Interannual Variability of Arctic Cyclone Activity: 1948–2002 // *J. Climate*. 2004. V. 17. P. 2300–2317.
5. *Sepp M., Jaagus J.* Changes in the activity and tracks of Arctic cyclones // *Climate Chang.* 2011. V. 105(3–4):577–595. doi: 10.1007/s10584–010.
6. *Akperov M.G., Mokhov I.I.* Estimates of the sensitivity of cyclonic activity in the troposphere of extratropical latitudes to changes in the temperature regime // *Izvestiya Atmos. Oceanic Phys.* 2013. V. 49, N 2. P. 13–120.

7. Akperov M., Mokhov I., Rinke A., Dethloff K. Heidrun Matthe. Cyclones and their possible changes in the Arctic by the end of the twenty first century from regional climate model simulations // Theoretical and Applied Climatology. 2015. V. 22, N 1–2. P. 85–96.
8. Zappa G., Len C.S., Kevin I.H., Sansom P.G., Stephenson D.B. A multimodel assessment of future projections of North Atlantic and European extratropical cyclones in the CMIP5 climate models // J. Climate. 2013. V. 26. P. 5846–5862. doi: 10.1175/JCLI-D-12-00573.1.
9. Акперов М.Г., Мохов И.И. Сравнительный анализ методов идентификации внетропических циклонов // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2010. Т. 46, № 5. С. 620–637.
10. Raible C.C., Della-Marta P., Schwierz C., Wernli H., Blender R. Northern Hemisphere extratropical cyclones: a comparison of detection and tracking methods and different reanalyses // Mon. Wea. Rev. 2008 V. 136. P. 880–897.
11. Вязилова Н.А. Циклоническая активность и колебания циркуляции в Северной Атлантике // Метеорология и гидрология. 2012. № 7. С. 5–14.
12. Hersbach et al. The ERA5 global reanalysis // Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 2020. V. 146, Is. 730. P. 1999–2049.
13. Акперов М.Г., Мохов И.И., Дембицкая М.А. Арктические мезоциклоны по спутниковым данным, данным реанализа и модельным расчётам // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14, № 3. С. 297–304.
14. Noer G., Saetra O., Lien T., Gusdal Y. A climatological study of polar lows in the Nordic Seas // Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 2011. V. 137, N 660. P. 1762–1772.
15. Rienecker et al. MERRA: NASA's Modern-ERA Retrospective Analysis for Research and Applications // J. Climate. 2011. V. 24. P. 3624–3648.
16. Dee D.P. et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system // Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 2011. V. 137. P. 553–597.
17. Bromwich D.H., Hines K.M., Bai L.-S. Development and testing of Polar WRF: 2. Arctic Ocean // J. Geophys. Res. Atmos. 2009. V. 114. P. D08122.
18. Saha et al. The NCEP Climate Forecast System Reanalyses // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2010. V. 91. P. 1015–1057.
19. Rasmussen E.A., Turner J. Polar lows. Cambridge: Cambridge University press, 2003. 602 p.
20. Mokhov I.I., Akperov M.G., Lagun V.E., Lutsenko E.I. Intense arctic mesocyclones // Izvestiya Atmos. Ocean. Phys. 2007. V. 43, N 3. P. 259–265.

УДК 004.91:551

ФОРМИРОВАНИЕ ПОЛНОТЕКСТОВОЙ БАЗЫ ПРАВОВЫХ АКТОВ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

**И.И. Кашина^{1*}, А.А. Кузнецов^{2*},
Е.А. Рябова^{3**}**

** ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
** Росгидромет;*

¹ kii@meteo.ru, ² kuznet@meteo.ru,

³ e.ryabova@meteorf.ru

Введение

Развитие нормативной правовой базы гидрометеорологической службы является приоритетным мероприятием, создающим условия для эффективной реализации Стратегии деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях на период до 2030 года (с учётом аспектов изменения климата) [1]. Важной составляющей этого мероприятия является создание полнотекстовой базы правовых актов Росгидромета (БПА Росгидромета), формирование которой решением Росгидромета поручено ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» [2].

На первоначальном этапе в 2000 году для ведения БПА Росгидромета была использована информационная система «Эталон», разработанная Научным центром правовой информации Министерства юстиции Российской Федерации.

В 2023 году Росгидрометом с целью унификации используемых ведомством программных средств принято решение о переводе БПА Росгидромета на специализированное программное обеспечение ЗАО «Консультант Плюс» — Систему ведения баз данных (СВБД).

База правовых актов Росгидромета предназначена для:

- обеспечения управлений и учреждений Росгидромета и его центрального аппарата, а также других заинтересованных пользователей электронными копиями правовых актов Росгидромета;
- мониторинга соответствия правовых актов в области гидрометеорологии законодательству Российской Федерации;
- проведения информационно-аналитических исследований состояния обеспеченности нормативными правовыми актами деятельности в области гидрометеорологии.

В состав БПА Росгидромета включаются следующие документы:

- приказы и распоряжения Росгидромета;
- совместные приказы Росгидромета и других федеральных органов исполнительной власти;
- документы Росгидромета, содержащие уставы, положения, инструкции, руководства, методические указания, вводимые в действие приказами Росгидромета.

БПА Росгидромета не содержит документы, ограниченного доступа, относящиеся к государственной тайне или имеющие конфиденциальный характер.

Организация работ по формированию и ведению БПА Росгидромета осуществляется в соответствии с Положением [3].

В работах по созданию и ведению БПА Росгидромета участвуют:

- куратор работ по ведению БПА Росгидромета (структурное подразделение центрального аппарата Росгидромета);
- администратор БПА Росгидромета (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»);
- экспедитор документов Росгидромета.

Куратор работ по ведению БПА Росгидромета:

- определяет организационную схему ведения работ по формированию БПА Росгидромета;
- определяет документы, подлежащие включению в БПА Росгидромета;
- осуществляет контроль полноты и качества БПА Росгидромета.

Экспедитор документов Росгидромета:

- обеспечивает сбор правовых актов Росгидромета в электронном редактируемом формате (RTF, DOC, DOCX, ODT, XLS,

XLSX) от исполнителей проектов правовых актов Росгидромета в центральном аппарате Росгидромета;

- создаёт реестр правовых актов Росгидромета по установленной форме;
- направляет администратору БПА Росгидромета пакет документов, включающий правовые акты Росгидромета в электронном редактируемом формате (RTF, DOC, DOCX, ODT, XLS, XLSX), соответствующие им электронные копии правовых актов Росгидромета (в формате PDF), выписку из реестра.

Администратор БПА Росгидромета:

- ведёт журнал учёта правовых актов Росгидромета, полученных от экспедитора;
- проводит проверку версий правовых актов Росгидромета в электронном редактируемом формате на аутентичность официальному документу (в формате PDF) и при необходимости вносит коррективы в электронный редактируемый документ;
- осуществляет обработку и ввод документов в БПА Росгидромета;
- отчитывается перед куратором БПА Росгидромета о ходе работ;
- осуществляет консультирование пользователей по вопросам удалённого доступа к БПА Росгидромета;
- обеспечивает технологическое сопровождение БПА Росгидромета, включая резервное копирование.

Полнотекстовая база правовых актов Росгидромета является автоматизированной информационной системой, состоящей из информационной базы, включающей в себя электронные копии правовых актов и их электронные регистрационные карточки (каталог), и программных средств управления, обеспечивающих формирование, сопровождение и доступ к информационной базе.

Поскольку структура и формат хранения документов в базе данных системы «Эталон» и в СБД существенно различаются, вначале необходимо было осуществить перенос электронных копий документов вместе с их описаниями (каталогом) из устаревшей системы в новую. Данную задачу автоматизированным

путём реализовали специалисты ЗАО «Консультант Плюс» при участии ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД».

Загрузка в СВБД вновь поступивших правовых актов Росгидромета осуществляется в несколько этапов: обработка, проверка, загрузка.

Сначала полученная администратором БПА электронная копия документа в текстовом формате обрабатывается в среде независимого программного модуля — Редактор СВБД (рис. 1), в котором документ при открытии сразу преобразуется в XML формат, и дальнейшая работа с документом ведётся именно в этом формате. В Редакторе СВБД формируется регистрационная карточка документа, содержащая его идентификационные и поисковые атрибуты (номер, дату, статус и пр.), выделяются специальными тэгами некоторые структурные элементы, например название

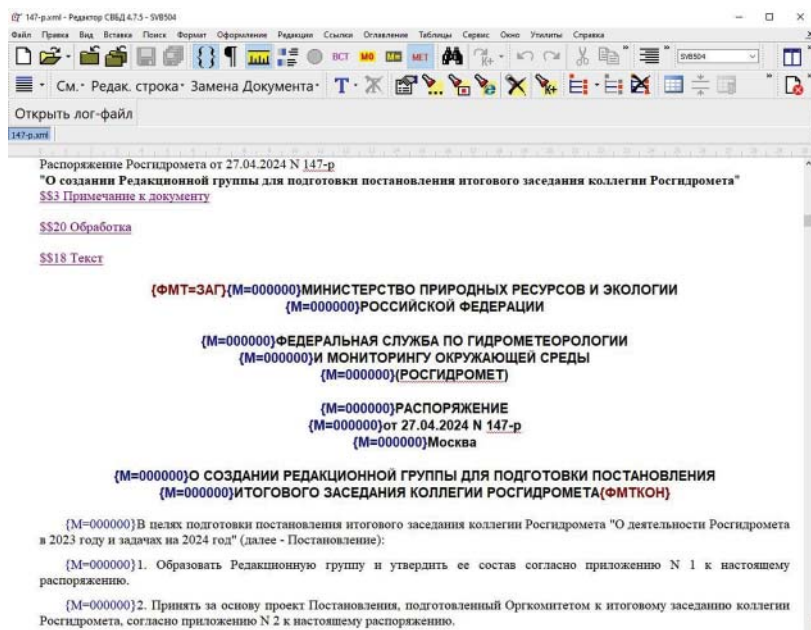


Рис. 1. Интерфейс программы — Редактор СВБД и разметка документа специальными тэгами

документа, формируются внутридокументные, внутрибазовые и внешние гиперссылки. Автоматизированным способом может быть сформировано оглавление документа, имеющего именованные разделы и подразделы.

В документах, содержащих нетекстовые блоки (схемы, формы, таблицы), которые нежелательно видоизменять при переформатировании, рекомендуется выделять такие блоки тэгами «неформатируемый текст» или сохранять в отдельных «прикреплённых» файлах, которые должны быть связаны с основным документом гиперссылками. Также в «прикреплённых» файлах рекомендуется сохранять нетекстовые приложения. Прикреплённые файлы не подвергаются редакторской обработке, а сохраняются в СВБД в исходном формате (при этом их текстовое содержание, если имеется, не включается в словари СВБД для полнотекстового поиска).

Подготовленный в Редакторе СВБД документ подвергается проверке на правильность форматирования с помощью отдельного программного приложения, после чего загружается в СВБД также с помощью отдельного программного приложения.

Процесс подготовки документов для загрузки в СВБД не является для оператора только последовательностью действий по инструкции, но ряд операций требуют экспертных решений:

- оператор проводит проверку версий правовых актов Росгидромета в электронном редактируемом формате на аутентичность официальному документу (в формате PDF) и при необходимости (опечатка, ошибка и т.д.) вносит коррективы в электронный редактируемый документ;
- проводит анализ структуры документа и выделение в нём блоков, которые необходимо сохранять в виде неформатируемого текста или в виде «прикреплённых» файлов;
- оператор выполняет индексацию вида и тематики документа, определение связей с другими документами для формирования гиперссылок.

Следует при этом заметить, что процесс создания гиперссылок-связей с другими документами в СВБД недостаточно автоматизирован, в частности поиск нужных документов в СВБД

осуществляет сам оператор, хотя наличие формальных условий для поиска (номера и даты принятия документа) позволяет возложить эту операцию на автоматику. К тому же вставка гиперссылок в документы, которые уже загружены в СВБД, требует извлечения этих документов из СВБД, обработки (вставки гиперссылки) в Редакторе СВБД и повторной загрузки в СВБД.

Особое внимание оператора как эксперта требуется при создании новых редакций документа, поскольку он создаёт фактически новый документ на базе двух — старого и нового, которым вносятся изменения, так как утверждённой новой редакции документа (с изменениями), как правило, не существует. Поэтому важно понять логику вносимых изменений и правильно её интерпретировать при создании новой редакции документа, в частности определить тип создаваемой гиперссылки, которая может быть просто упоминающей другой документ, изменяющей другой документ или отменяющей другой документ.

Как отдельную проблему приходится решать задачу создания новой редакции при внесении изменений в документы, перегруженные из системы «Эталон». Так, например, приказы, которыми утверждались самостоятельные документы (уставы, положения и др.) как приложения, были представлены в системе «Эталон» в виде двух независимых документов, связанных гиперссылками. Поэтому внесение изменений в такие документы требует извлечения и обработки обеих частей для создания их новых редакций и вставки новых гиперссылок.

В соответствии с утверждённым Положением в БПА Росгидромета сохраняются первая и последняя редакции документа. В настоящее время БПА Росгидромета включает более 14 000 правовых документов Росгидромета (без учёта редакций), начиная с 1996 года.

Доступ пользователей к БПА Росгидромета со своего рабочего места осуществляется в удалённом режиме, определённом для осуществления телекоммуникаций в системе Росгидромета. При этом доступ предоставляется не к основной информационной базе, а к одной из её регулярно обновляемых копий, через так называемую «оболочку пользователя» (рис. 2).

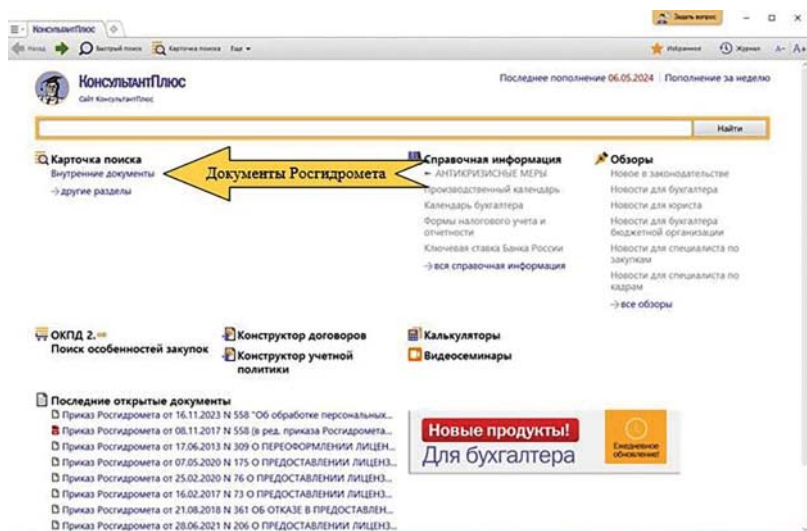


Рис. 2. Интерфейс программы КонсультантПлюс с доступом к БПА Росгидромета

Пользователям предоставляется возможность:

- поиска документов по их реквизитам, а также по тексту, содержащемуся в документах (полнотекстовый поиск);
- просмотра и сохранения документов БПА Росгидромета на технических средствах своего рабочего места;
- перехода по гипертекстовым ссылкам (внутридокументным, внутрибазовым, междокументным и межбазовым на документы Справочной правовой системы (СПС) «КонсультантПлюс»);
- просмотра ретроспективы редакций;
- формирования подборок Избранного, сохранения истории поиска;
- направления администратору БПА Росгидромета информации о выявлении в документах структурных нарушений или несоответствий другим документам, содержащимся в БПА Росгидромета.

Порядок доступа к информационным ресурсам, содержащимся в БПА Росгидромета, устанавливает куратор БПА Росгидромета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Распоряжение* Правительства Российской Федерации от 03 сентября 2010 г. № 1458-р «Стратегия деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях на период до 2030 года (с учётом аспектов изменения климата)», с изменениями на 13 октября 2022 года // Собрание Законодательства РФ. 2010. № 38, ст. 4850.

2. *Приказ* Росгидромета от 13.04.1999 г. № 50 «О совершенствовании организации работы по приведению нормативных актов Росгидромета в соответствие с законодательством Российской Федерации».

3. *Положение* о ведении информационной базы «База правовых актов Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2024. 8 с.

УДК 551.557

СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ ВЕТРА В ТРОПОСФЕРЕ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДАННЫМ МНОГОЛЕТНИХ РАДИОЗОНДОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

А.В. Хохлова¹, А.А. Тимофеев

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
¹ anna_x@meteo.ru*

Введение

Скорость ветра в свободной атмосфере является одним из важных климатических параметров (ECV, Essential Climatic Variables) [12]. Исследованию различных климатических аспектов ветрового режима, в том числе пространственно-временному распределению и тенденциям изменчивости, посвящён ряд исследовательских и обзорных работ. В работах используются различные подходы и источники данных. Климатический мониторинг скорости ветра в тропосфере и нижней стратосфере на основе радиозондовых данных выполняется в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» [5, 10]. Результаты регулярно публикуются в ежегодном обзоре Росгидромета [2]. В [11] исследуется связь аномалий высотной зональной компоненты с количеством осадков в регионе индийского муссона. В [6] рассмотрена пространственно-временная структура поля ветра в верхней тропосфере по спутниковым данным. В [13] на основе климатических моделей сделаны оценки возможных последствий изменения скорости ветра и ледового покрытия в Северном Ледовитом океане. Особо следует отметить работы, в которых на основе наблюдений делаются оценки изменчивости скорости ветра. Так, в [3] рассмотрены изменения скорости ветра в толще тропосферы юго-востока Западной Сибири. Используются аэрологические данные среднегодовой скорости ветра у поверхности земли и на стандартных изобарических поверхностях 850, 700, 500 и 300 гПа за период с 1973 по 2020 год. Анализ данных

показал, что в диапазоне географических широт 58–60° с.ш. зарегистрирован статистически значимый отрицательный тренд скорости ветра на 5 %-ном уровне. На станциях Западной Сибири, расположенных южнее 58° с.ш., такой тенденции не обнаружено. При этом скорость ветра у поверхности земли уменьшалась на всех станциях, ряды данных которых анализировались в работе. В [8] рассмотрена изменчивость скорости ветра над Европейской территорией России за период 1961–2003 гг. на основе радиозондовых данных.

Довольно полный обзор исследований по изменчивости скорости ветра приведён в [14]. Здесь рассмотрены тенденции изменчивости скорости ветра и её повторяемости в нескольких интервалах в тропосфере на изобарических поверхностях от 1000 до 300 гПа для разных регионов земного шара. Показано, что приземный ветер уменьшается во всех регионах, над Китаем уменьшается на всех высотах, над Европой и Северной Америкой увеличивается во всей тропосфере, кроме приземного слоя, над Центральной и Восточной Азией уменьшается в слое до 400–500 гПа, выше — возрастает. Значения коэффициентов линейных трендов находятся в пределах $-0,17...0,45 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}/10 \text{ лет}$. Уменьшение скорости ветра объясняется комплексом факторов: изменение общей циркуляции атмосферы, изменение характеристик подстилающей поверхности, глобальное потепление.

В [4] на основе многолетних радиозондовых данных и данных реанализа ERA5 [9] рассмотрены климатические характеристики скорости ветра в тропосфере и нижней стратосфере. Рассмотрены также тенденции изменчивости скорости ветра Северного полушария по данным реанализа и показано, что тенденции изменчивости за период 1985–2018 гг. в разных регионах имели разнонаправленный знак. Наиболее сильные отрицательные тренды скорости ветра, достигающие значений $-1,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}/10 \text{ лет}$, имели место в нижней стратосфере севернее 55–60° с.ш. Это может свидетельствовать об ослаблении зимнего западно-восточного переноса в этом регионе.

Как можно видеть из опубликованных исследований, тенденции изменчивости скорости ветра имеют различный, иногда

противоречивый характер. Всё же в целом можно сделать предположение об ослаблении скорости ветра.

В настоящей работе рассмотрены пространственно-временные оценки поля средней скорости ветра в тропосфере выше пограничного слоя и её компонент над территорией РФ, а также сделаны некоторые оценки изменчивости скорости ветра.

Данные и метод

Работа выполнена на основе многолетних радиозондовых данных. Глобальные радиозондовые данные поступают по сети ГСТ в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», где обрабатываются и хранятся в соответствии с регламентом. Данные радиозондовых наблюдений содержатся в двух массивах [1, 7]. Для исследования использованы радиозондовые данные российских аэрологических станций и нескольких станций, расположенных на близлежащих территориях (всего более 100) за период 1978–2022 гг.

Ветер является изменчивой характеристикой, поэтому для получения средней картины использовано осреднение во времени и пространстве. Для каждого зондирования выполнено вертикальное осреднение по двум слоям: нижняя тропосфера 850–500 гПа и верхняя тропосфера — 500–300 гПа:

$$V = \int_{P_1}^{P_2} v \cdot dp / (P_1 - P_2),$$

где V — среднее значение скорости ветра в слое; P_1 и P_2 — давление на границах слоя; v — скорость ветра на уровне с давлением p внутри слоя.

Далее для каждой станции рассчитаны средние значения модуля скорости и компонент скорости ветра. Осреднение выполнено за весь период наблюдений и отдельно за зимний и летний сезоны. Для оценки временной изменчивости для каждой станции построены ряды среднегодовых значений скорости в каждом слое.

Ниже рассмотрены некоторые из полученных характеристик.

Скорость ветра

В таблице даны значения модуля и компонент скорости ветра, осреднённые по всем станциям. Таблица даёт представление о порядке значений скорости и компонент за весь период и за отдельные сезоны. На отдельных станциях скорость ветра может существенно отличаться от этих значений. В целом ветер имеет западное направление, при этом средняя меридиональная компонента направлена на юг. Скорость ветра в верхней тропосфере больше, чем в нижней, и в зимний период больше, чем в летний.

Т а б л и ц а

Средние значения скорости V и компонент V_x , V_y в $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$
в слоях 850–500 гПа и 500–300 гПа

Слой	Весь период			Зима			Лето		
	V	V_x	V_y	V	V_x	V_y	V	V_x	V_y
850–500	11,06	5,09	-0,61	11,68	5,29	-0,69	10,33	4,85	-0,50
500–300	17,82	9,31	-1,22	18,67	9,45	-1,47	16,85	9,10	-0,91

На рис. 1 показано пространственное распределение средней скорости ветра в слое 850–500 гПа (вверху) и в слое 500–300 гПа (внизу).

В нижней тропосфере (слой 850–500 гПа) можно выделить два больших региона: европейская часть и центральная и восточная части Сибири. Максимальные средние скорости ветра, достигающие $12\text{--}13 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, имеют место в северной и центральной части европейского региона. Зона таких ветров простирается до Западной Сибири. В южной части европейского региона и в южной части сибирского региона скорость ветра составляет $10\text{--}11 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Минимальные скорости, не превышающие $10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, наблюдаются над восточной частью Сибири. В зимний и летний периоды общее распределение скоростей сохраняется с той разницей, что максимальные скорости в зимнее время составляют $12\text{--}16 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а минимальные — $8\text{--}10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. В летнее время эти значения составляют $11\text{--}13$ и $7\text{--}9 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ соответственно.

В верхней части тропосферы, в слое 500–300 гПа, в целом сохраняется подобное распределение средних скоростей. В центральной и северной части европейского региона, за исключением

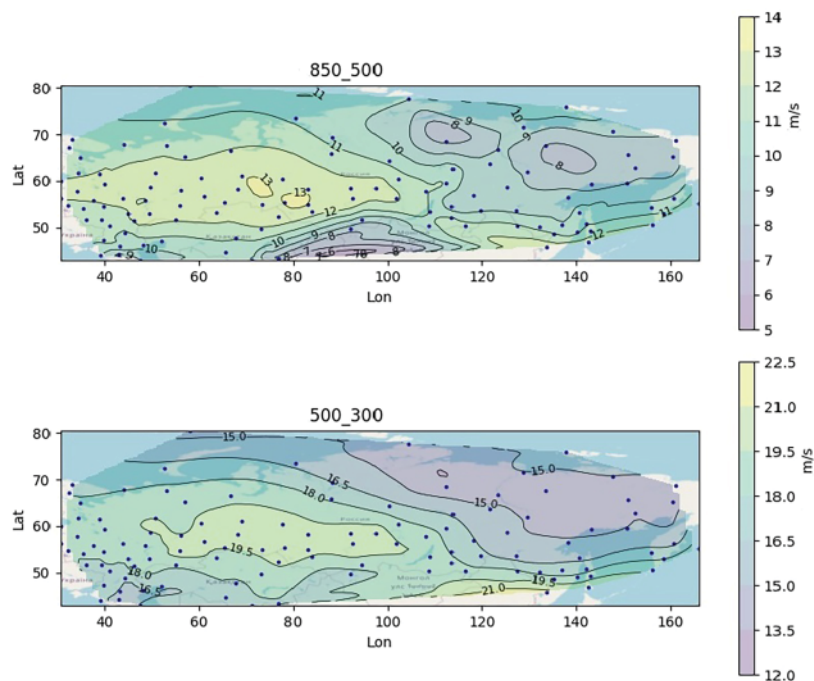


Рис. 1. Пространственное распределение средней скорости ветра в слое 850–500 гПа (вверху) и в слое 500–300 гПа (внизу). Точками отмечено положение станций, по данным которых выполнен расчёт.

Кольского полуострова, скорости ветра максимальны и составляют $18\text{--}21\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. На севере и на юге европейской части, а также в переходной зоне между максимальными и минимальными ветрами средние скорости составляют $16\text{--}18\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Минимальные скорости ветра в Восточной Сибири не превышают $16\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. В зимний период максимальные скорости достигают $25\text{--}26\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а минимальные — $14\text{--}17\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. В летний период средние скорости меньше, и соответствующие значения составляют $17\text{--}23\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ и $13\text{--}15\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

Зональная компонента

На рис. 2 показано распределение средних значений зональной компоненты скорости ветра. Практически над всей территорией России в тропосфере имеет место западно-восточный перенос, но с региональными особенностями.

В нижней тропосфере (слой 850–500 гПа) можно выделить два больших региона: европейская часть и юг Сибири, где средние значения скорости составляют более $5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, и север и восток Сибири, где средние значения зональной компоненты менее $4 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. В северной и северо-восточной части территории средние зональные скорости минимальны. Область максимальных

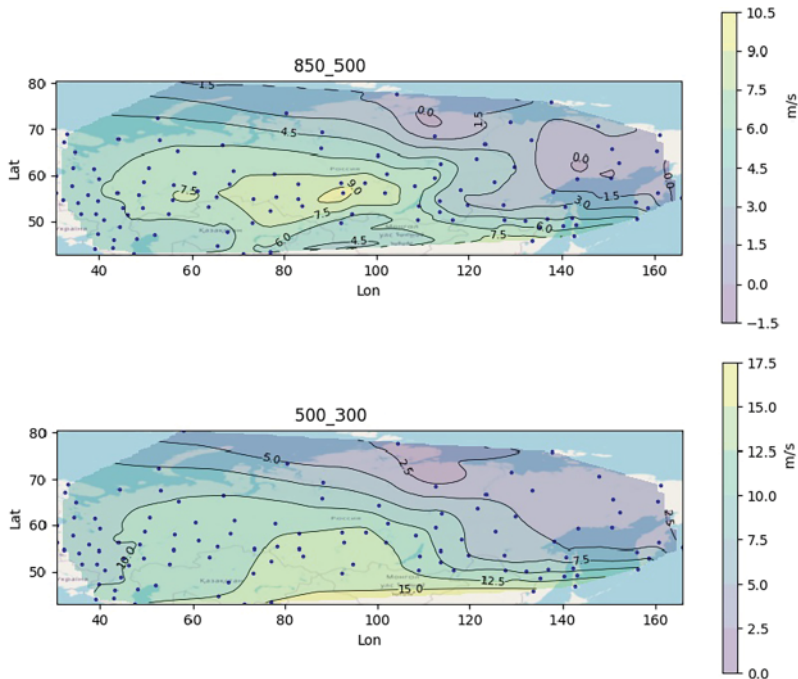


Рис. 2. Пространственное распределение средней зональной компоненты скорости ветра в слое 850–500 гПа (вверху) и в слое 500–300 гПа (внизу). Точками отмечено положение станций, по данным которых выполнен расчёт.

значений зональной компоненты расположена в широтной зоне 50–60° с.ш. и ограничена долготой 110° в.д., восточнее которой имеют место более низкие значения. Распределение средних значений зональной компоненты в слое 500–300 гПа в общих чертах подобно распределению в слое 850–500 гПа, при этом сами значения скорости существенно выше. Область максимальных значений, достигающих 15 м·с⁻¹ и более, расположена в южной части территории.

В зимний период в слое 850–500 гПа на большей части территории, включая европейскую часть и западную и центральную части Сибири, зональная компонента составляет 5–10 м·с⁻¹. На востоке Сибири она не превышает 5 м·с⁻¹. В слое 500–300 гПа выделяется область с максимальными скоростями, аналогичная годовому распределению, со значениями скорости до 15 м·с⁻¹ и выше. В регионах на запад и на восток от зоны максимальных ветров скорость не превышает 10 м·с⁻¹. В восточной части Сибири скорости не превышают 5 м·с⁻¹.

В летний период в слое 850–500 гПа все значения скоростей несколько меньше, чем в зимний. Средняя зональная компонента скорости максимальна в регионе, который располагается на юго-востоке европейской части и юго-западе азиатской части. Здесь средние зональные компоненты достигают значений 7–9 м·с⁻¹. На востоке Сибири скорости минимальны и не превышают 3 м·с⁻¹. На остальной территории средние зональные скорости составляют 3–5 м·с⁻¹.

В слое 500–300 гПа распределение средних скоростей в летний сезон аналогично слою 850–500 гПа, но сами значения выше. Максимальные скорости достигают значений 10–15 м·с⁻¹, минимальные — не превышают 5 м·с⁻¹.

Меридиональная компонента

На рис. 3 показано пространственное распределение средней меридиональной компоненты в двух слоях за весь период. Распределение меридиональной компоненты отличается большим разнообразием, чем зональной. В большой зоне, простирающейся с северо-запада на юго-восток, меридиональная компонента

направлена на юг, при этом максимальные скорости, достигающие $-4 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ в слое 850–500 гПа и $6\text{--}7 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ в слое 500–300 гПа, приходятся на регион $50\text{--}60^\circ$ с.ш. и $70\text{--}130^\circ$ в.д. В юго-западной части и на северо-востоке Сибири преобладает положительная меридиональная компонента. Линия смены меридионального направления с южного на северное проходит примерно в области от 80° с.ш. и $90\text{--}100^\circ$ в.д. до 50° с.ш., 150° в.д. С высотой эта зона сдвигается на восток. Вторая зона положительной меридиональной скорости наблюдается в юго-западной части рассматриваемой территории. С высотой линия смены направления смещается на юг.

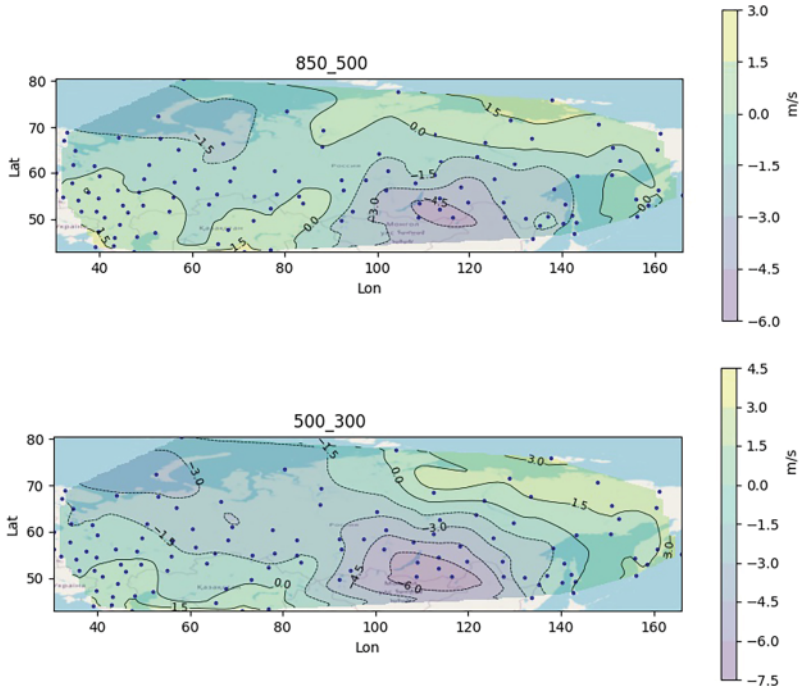


Рис. 3. Пространственное распределение средней меридиональной компоненты скорости ветра в слое 850–500 гПа (вверху) и в слое 500–300 гПа (внизу). Точками отмечено положение станций, по данным которых выполнен расчёт.

В зимний период общая картина распределения сохраняется, при этом зона максимальных по абсолютной величине отрицательных значений смещается на юго-восток. Скорости достигают $-6...-6,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ в слое 850–500 гПа и до $-9 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ — в слое 500–300 гПа. Зона положительных скоростей в европейской части простирается севернее, чем в среднем за весь период. Значения скоростей составляют до $3 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ в нижнем слое и до $5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ — в верхнем.

В летнее время преимущественно имеют место отрицательные значения меридиональной компоненты. Исключение составляет юг европейской части и северо-восточная и юго-восточная зоны, где скорости положительны и достигают $1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ в нижнем слое и $2 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ — в верхнем. Зона максимальных по абсолютной величине отрицательных меридиональных скоростей до $-3 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ в слое 850–500 гПа и до $-4 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ в слое 500–300 гПа как бы разбита на два региона, между которыми направление сохраняется, но сами значения существенно меньше. Зона с пониженными значениями скоростей проходит примерно по меридиану 90° в.д. как в нижнем, так и в верхнем слое.

Тенденции изменчивости

Тенденции изменчивости скорости ветра оценивались как коэффициенты линейных трендов временного ряда среднегодовых значений в двух слоях для каждой станции.

На рис. 4 показано пространственное распределение коэффициентов линейных трендов. В силу изменчивости скорости ветра определение статистически обеспеченных оценок затруднительно. В связи с этим на рисунке показан только знак тенденций: синим цветом обозначены отрицательные тенденции, жёлтым — положительные. Значения коэффициентов линейных трендов лежат в пределах $-0,29...0,81 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1} / 10 \text{ лет}$ для слоя 850–500 гПа и $-0,40...1,65 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1} / 10 \text{ лет}$ — для слоя 500–300 гПа. В нижней тропосфере преобладают отрицательные тенденции, т.е. имеет место небольшое замедление скорости, в верхней тропосфере преобладают положительные тенденции. Средние по всем станциям коэффициенты линейных трендов составляют $-0,043 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1} / 10 \text{ лет}$ в

нижней тропосфере и $0,03 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}/10 \text{ лет}$ — в верхней. Эти тенденции, так же, как и порядок значений коэффициентов, совпадают с особенностями изменчивости скорости ветра, рассмотренными в [14], где по радиозондовым данным получено, что в Центральной и Восточной Азии имеют место отрицательные тенденции до высоты 500–400 гПа и положительные — в более высоких слоях. Согласно этой же работе, над Европой в диапазоне долгот $20\text{--}40^\circ$ в.д. отрицательные тенденции наблюдаются только на самом нижнем уровне — 1000 гПа. В настоящей работе это не подтверждается, но из упомянутого диапазона долгот здесь рассмотрена только небольшая часть.

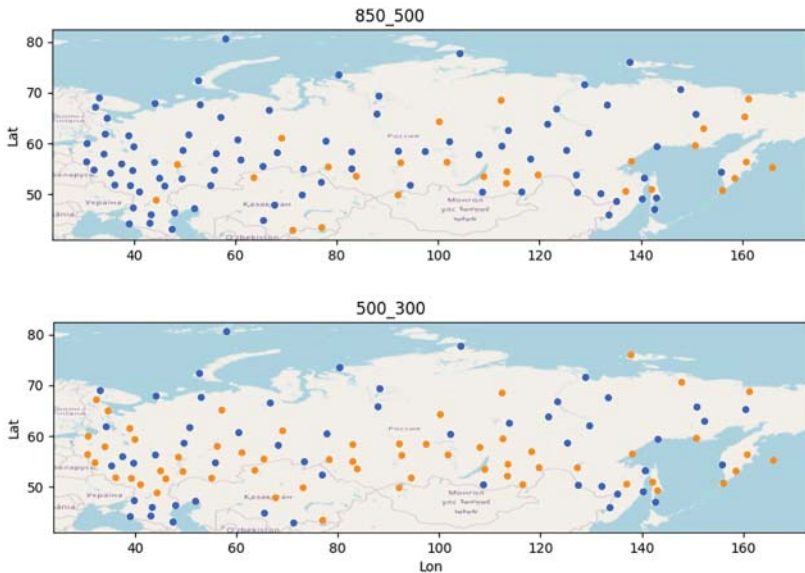


Рис. 4. Пространственное распределение значений коэффициентов линейных трендов среднегодовых скоростей ветра в двух слоях, 850–500 гПа (вверху) и 500–300 гПа (внизу). Синим цветом обозначены отрицательные тенденции, жёлтым — положительные.

Заключение

Приведённые в статье данные дают представление о пространственном распределении средней скорости ветра и его компонент в тропосфере на территории Российской Федерации. Рассмотрена общая тенденция изменчивости скорости ветра за исследуемый период. В нижней части тропосферы имело место преимущественное уменьшение скорости ветра, в верхней части тропосферы на большинстве станций наблюдалось небольшое увеличение скорости ветра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Казначеева В.Д., Руденкова Т.В.* Организация текущих аэрологических данных на магнитных лентах ЕС // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1985. Вып. 115. С. 91–108.
2. *Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2023 год.* М.: Росгидромет, 2024. 112 с. URL: meteof.gov.ru/images/news/20240329/4/DOCK202344.pdf (дата обращения: 26.08.2024).
3. *Журавлёв Г.Г., Горбатенко В.П.* Скорость ветра в тропосфере Западной Сибири. Электр. б-ка БГУ. URL: Электронная библиотека БГУ: Скорость ветра в тропосфере Западной Сибири (bsu.by) (дата обращения: 26.08.2024).
4. *Лавров А.С., Хохлова А.В.* Климатический мониторинг ветра в свободной атмосфере Северного полушария: многолетние характеристики и тенденции изменчивости // Фундаментальная и прикладная климатология. 2020. Т. 2. С. 58–75. URL: 2020 г. Том 2: Фундаментальная и прикладная климатология (fa-climatology.ru) (дата обращения: 26.08.2024).
5. *Лавров А.С., Хохлова А.В., Стерин А.М.* Мониторинг климатических параметров температуры и ветра в свободной атмосфере: технологические аспекты // Труды Гидрометцентра России. 2017. Вып. 366. С. 97–111. URL: <https://method.meteorf.ru/publ/tr/tr365/sterin.pdf> (дата обращения: 26.08.2024).
6. *Нерушев А.Ф., Вишератин К.Н., Ивангородский Р.В.* Характеристики поля ветра в верхней тропосфере как индикаторы климатической изменчивости // Исследование Земли из космоса. 2023. Том 2023, № 4. С. 92–106. URL: Исследование Земли из космоса. Номер 4, 2023 (sciencejournals.ru) (дата обращения: 26.08.2024).
7. *Руденкова Т.В.* Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 174. С. 41–63.

8. Хохлова А.В., Тимофеев А.А. Многолетние изменения ветрового режима в свободной атмосфере над Европейской территорией России // Метеорология и гидрология. 2011. № 4. С. 21–33.
9. Hoffmann L., Gunther G. et al. From ERA-Interim to ERA5: the considerable impact of ECMWF's next-generation reanalysis on Lagrangian transport simulations // Atmos. Chem. Phys. 2019. V. 19. P. 3097–3124. Available at: <https://doi.org/10.5194/acp-19-3097-2019> (accessed: 26.08.2024).
10. Lavrov A.S., Sterin A.M., Khokhlova A.V. Upper-air climate monitoring: data sources, technological aspects, and some results. 2018. IOP Conference Series Earth and Environmental Science 211(1):012001. DOI:10.1088/1755-1315/211/1/012001 (дата обращения: 26.08.2024).
11. Madhu V. Variation of zonal winds in the upper troposphere and lower stratosphere in association with deficient and excess Indian summer monsoon scenario // Atmos. and Climate Sci. 2014. V. 4, N 4. P. 685–695. DOI:10.4236/acs.2014.44062. (дата обращения: 26.08.2024).
12. WMO: Essential Climate Variable (ECV) Factsheet. 2016. Available at: <https://public.wmo.int/en/programmes/global-climate-observing-system/essentialclimate-variables>. (accessed: 26.08.2024).
13. Zapponini M., Goessling H.F. Atmospheric destabilization leads to Arctic Ocean winter surface wind intensification // Communications Earth & Environment. 2024. V. 5, Article number 262 (2024). URL: Atmospheric destabilization leads to Arctic Ocean winter surface wind intensification | Communications Earth & Environment (nature.com) (дата обращения: 26.08.2024).
14. Zongci Zhao, Yong Luo, Ying Jiang. Is Global Strong Wind Declining? // Advances in climate change research. 2011. 2(4). P. 225–228. URL: (PDF) Is Global Strong Wind Declining? (researchgate.net) DOI: 10.3724/SP.J.1248.2011.00225 (дата обращения: 26.08.2024).

УДК 551.506.7

КАТАЛОГ РАДИОЗОНДОВЫХ ДАННЫХ МАССИВОВ АЭРОБАФР И АЭРОСТАС В АРХИВАХ ЕДИНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ФОНДА ДАННЫХ

Е.В. Духов¹, А.В. Хохлова², Т.В. Руденкова³

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
¹ dyhov@inbox.ru, ² anna_x@meteo.ru, ³ lae@meteo.ru*

Введение

Архивация данных глобальной аэрологической сети ведётся в различных мировых климатических центрах. В Российской Федерации в системе Росгидромета накопление, архивацию и хранение глобальных радиозондовых данных выполняет Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных» (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»). Накопленные к настоящему времени данные представляют собой обширный материал, на основе которого решаются различные исследовательские и прикладные задачи, а также выполняются пользовательские запросы. Одной из задач института является создание доступных и удобных инструментов, которые позволяют легко и быстро находить необходимые сведения.

На различных зарубежных ресурсах в открытом доступе имеется как информация обо всех аэрологических станциях, участвующих в международном обмене, так и сами аэрологические данные. Все глобальные исторические массивы сопровождаются каталогами и метаданными, которые регулярно обновляются. Описание наблюдательной сети Всемирной метеорологической организации (ВМО), в том числе перечень аэрологических станций с краткими сведениями для каждой станции (регион ВМО, страна, синоптический индекс, географические координаты, высота над уровнем моря) имеется в открытом доступе в документации ВМО [6], а также на сайте информационной системы ВМО

OSCAR [7]. Формируемый в NOAA массив аэрологических данных IGRA (Integrated Global Radiosonde Archive) находится в открытом доступе [8–10] вместе с каталогом аэрологических станций. В каталоге для каждой станции приведены название, страна, синоптический индекс, координаты, высота над уровнем моря, годы начала и окончания работы станции.

Создаваемые во ВНИИГМИ-МЦД массивы аэрологических данных по полноте и качеству соответствуют мировому уровню. Представляется целесообразным разместить в открытом доступе на сайте ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» сведения о наличии данных в аэрологических массивах ЕГФД, формируемых в институте. Ранее была разработана первая версия каталога [5], основанная на информации о наличии данных в базовых аэрологических массивах и каталогах станций. Эта версия показала себя удобным инструментом, позволяющим быстро осуществлять поиск необходимой информации и оценивать её качество. Для размещения сведений о наличии данных в открытом доступе разработана следующая версия приложения «Каталог аэрологических данных», представляемая в настоящей статье. Приложение позволяет наглядно представлять сведения о станциях, данные которых имеются в массивах, о количестве и качестве радиозондовых данных по каждой станции и дополнено принадлежностью станций к странам. Поскольку обслуживание пользователей производится в основном по данным базовых массивов АЭРОСТАС и АЭРОБАФР, в приложении отражены только сведения о данных, имеющихся в этих массивах.

Массивы радиозондовых данных ЕГФД

В разделе Единого государственного фонда данных (ЕГФД) ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» хранятся архивы аэрологических наблюдений, поступающих из глобальной аэрологической сети. В настоящее время на электронных носителях имеются три базовых массива данных. Они различаются по формату и охватываемому периоду времени. Массивы АЭРОСТАБ и АЭРОСТАС сформированы из сводок в символьных кодах (TEMP, PILOT) и суммарно содержат данные с 1978 года по текущее время [1–3]. Ниже они

рассматриваются как один массив АЭРОСТАС. Массив АЭРОБАФР формируется из сводок в таблично-ориентированных кодовых формах и содержит данные за период с 2018 года по настоящее время [4]. Этот массив включает также данные с высоким вертикальным разрешением, в которых содержится гораздо большее количество измерений, чем в традиционных телеграммах. Из сводок, поступивших за текущий месяц, в следующем месяце создаются новые файлы массивов. На основе этих файлов с помощью специально разработанных средств за каждый месяц формируются справки, содержащие сведения о наличии данных по станциям и их средние характеристики. Средние характеристики дают общее представление о качестве данных на каждой станции за каждый месяц. Следует отметить, что наличие длительных аэрологических наблюдений в конкретном регионе не всегда гарантирует их пригодность для решения различных задач, так как могут быть пропуски в данных или наблюдения только на стандартных изобарических уровнях.

Структура «Каталога аэрологических данных»

Для наглядного представления сведений о наличии и качестве аэрологических данных было создано приложение «Каталог аэрологических станций». Приложение основано на информации об аэрологических станциях и упомянутых выше средних характеристиках, включающих сведения о количестве и качестве зондирований на станциях, данные которых имеются в массивах ЕГФД.

Информация о станциях. Для каждой станции имеются следующие характеристики: страна, название станции, синоптический индекс станции, географические координаты, высота станции над уровнем моря. Информация о станциях получена из открытых источников, в том числе, из тома А ВМО [7], информационной системы ВМО OSCAR [6], а также из поступающих по каналам связи аэрологических сводок.

Средние характеристики зондирования на станциях. После формирования файлов аэрологических массивов с помощью специально созданных авторами программных средств за каждый месяц получают сведения для базы данных, характеризующие

количество и качество зондирований. Средние характеристики зондирований включают в себя следующие сведения для каждой станции за каждый месяц всего периода, отражённого в массивах: суммарное количество зондирований, отдельно количество радиозондирований и радиоветровых зондирований, среднее за месяц количество уровней, на которых производились измерения, среднюю максимальную высоту подъёма зонда, среднее минимальное давление. Три последние характеристики дают общее представление о качестве зондирования и предоставляются только авторизованным пользователям. Эти сведения имеются отдельно для массивов, созданных из традиционных сводок (АЭРОСТАС) и из сводок в таблично-ориентированных кодовых формах (АЭРОБАФР). В настоящее время реализовано специальное приложение, позволяющее получать справочные сведения о количестве зондирований по вновь формируемым файлам массивов. В дальнейшем планируется расширить это приложение для автоматизированного получения полных статистических характеристик.

Общая схема работы приложения показана на рис. 1. Схема реализована в виде реляционной базы данных, использующей PostgreSQL в качестве системы управления базами данных (СУБД). Интерфейс приложения построен с использованием Java Server Faces (JSF) и PrimeFaces, что позволяет создавать интерактивные и удобные пользовательские интерфейсы. Серверная часть приложения работает на WildFly, который обеспечивает функциональность серверной платформы.

Блок «Catalog» на общей схеме (рис. 1) выделен отдельно. Все остальные элементы, за исключением «Catalog», являются частью реляционной базы данных.

В правой части схемы находятся таблицы `admins`, `history_search` и `users`, которые обеспечивают внутриинститутский доступ к каталогу и хранят историю запросов пользователей.

В левой части расположены таблицы `id_aero_bufr`, `aero`, `bufr` и `stations`. Таблицы `aero` и `bufr` содержат статистические характеристики зондирований по массивам АЭРОСТАС и АЭРОБАФР. В таблице `stations` собраны данные о странах и названиях станций.

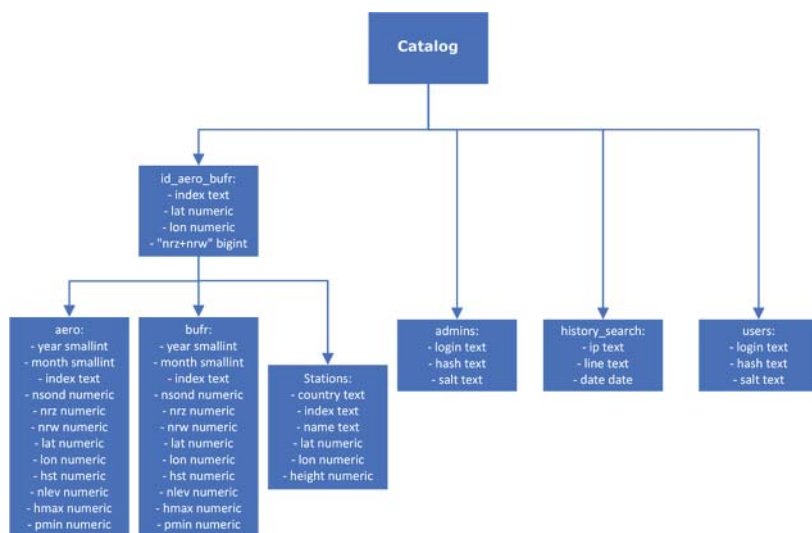


Рис. 1. Общая схема работы приложения

Таблица `id_aero_bufr` служит переходным звеном между таблицами `aero`, `bufr` и `stations`.

Ниже дано краткое описание каждой таблицы:

admins: таблица для хранения данных администраторов системы: логин, хеш пароля и соль;

aero: средние характеристики зондирований по данным в массиве АЭРОСТАС;

bufr: средние характеристики зондирований по данным в массиве АЭРОБАФР;

cache_table_country: кэш запросов по странам для ускорения повторных поисков;

history_search: история поисковых запросов пользователей для внутренней статистики;

id_aero_bufr: прослойка для объединения данных из таблиц `aero`, `bufr` и `stations`;

stations: метаданные станций, данные которых есть в массивах. Запись данных из таблицы `stations` содержит следующие сведения о станции: страна, синоптический индекс, название,

географические координаты, высота над уровнем моря. Ниже приведён пример метаданных по трём аэрологическим станциям, JAN MAYEN, SCHLESWIG и NY-ALESUND. Упомянутые выше параметры перечислены через запятую.

JAN MAYEN,1001, JAN MAYEN,70.9, -8.7,9.0

GERMANY,10035, SCHLESWIG (AEROLOGY),54.5,9.5,43.6

NORWAY,1004, NY-ALESUND II,78.9,11.9,15.5;

users: таблица для хранения данных пользователей системы: логин, хеш пароля и соль (для обеспечения безопасности).

Приложение предоставляет следующие возможности:

- Редактирование и внесение новых характеристик зондирований и сведений о станциях.

- Поиск станций по индексу, названию или части названия, по координатам, а также по стране нахождения станции.

- Отображение сведений о наличии данных по заданной станции в аэрологических массивах.

- Отображение характеристик зондирований: средней максимальной высоты, среднего количества уровней в зондированиях и среднего минимального давления при входе в учётную запись. Средние характеристики могут отображаться в табличном и графическом виде. Каждая выборка также содержит информацию об источнике данных, т.е. о массиве, из которого получены сведения.

- Реализация различных видов сортировки результатов.

Каталог аэрологических данных реализован в двух версиях: для авторизованных пользователей и для открытого доступа. Авторизация производится разработчиком продукта по запросу. Для входа в учётную запись авторизованный пользователь должен ввести логин и пароль. Информация, предоставляемая неавторизованным пользователям, является сокращённой версией полных сведений о количестве и качестве зондирований.

Графический интерфейс веб-приложения «Каталог аэрологических данных»

Ниже на рис. 2–6 показана иллюстрация работы приложения.

При входе на главную страницу каталога предлагаются разные возможности для поиска и получения данных о станциях (рис. 2).



Рис. 2. Главная страница «Каталога»

На рис. 3 показан результат поиска станций по имени по заданному сочетанию букв «MUR». В результате найдено 7 станций, в названии которых встречается это сочетание.

Всего станций найдено: 7

Вернуться на главную страницу

Индекс	TR	широта	долгота	АэроВерф [1]	АэроСтас [1]	название [1]	страна [1]
0853		50.0	-1.2	Есть	Есть	MURGA	SPAIN
2008		67.0	30.4	Есть	Есть	MURMANSK	RUSSIAN FEDERATION
22105		69.0	35.1	Есть	Есть	MURMANSK	RUSSIAN FEDERATION
51083		93.1	140.7	Есть	Есть	MURKACTVA-NALAMBE	RUSSIAN FEDERATION
44021		49.6	100.0	Есть	Есть	MURSKA	HUNGARY
47040		43.0	143.6	Нет	Есть	MURURO	JAPAN
08041		37.9	160.7	Есть	Есть	MURUROCO	ANTARCTICA

© 2014 администрация сайта
 Примечание: В файлах массивов за 1949 г. возможно встречаются станции, которые сейчас являются закрытыми объектами. В таких объектах нет данных, кроме высоты и радиальной ориентации. Подробный перечень закрытых объектов представлен в файле: "История сайта данных". Все права защищены.

Рис. 3. Результат поиска по названию станции

На рис. 4 приведены сведения о наличии данных по станции Мурманск, индекс 22008 (Murmansk). На рис. 5 приведено количество зондирований по этой же станции за 2018 год по месяцам в графическом виде. На рис. 6 дан график наличия данных по станции Мурманск, индекс 22008, в базовых массивах.

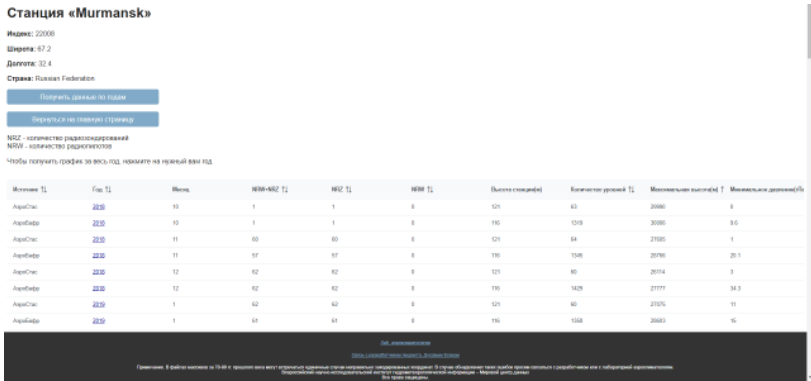


Рис. 4. Количество зондирований по годам. Станция 22008 (Мурманск)

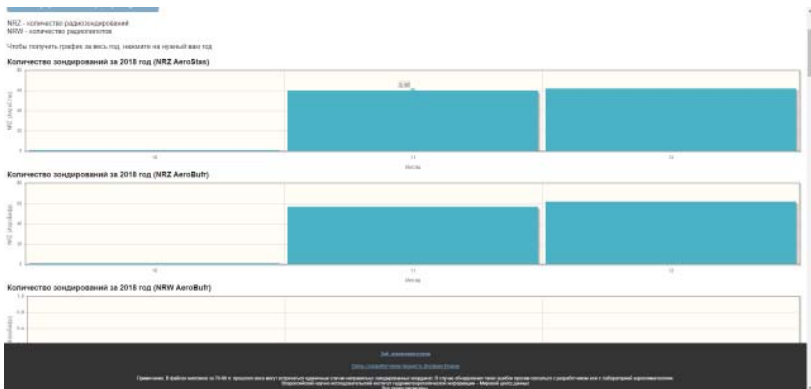


Рис. 5. Количество зондирований за 2018 год. Станция 22008 (Мурманск)



Рис. 6. Количество зондирований по годам за весь период. Станция 22008 (Мурманск)

Заключение

Разработанное веб-приложение «Каталог аэрологических данных» представляет собой удобный инструмент, позволяющий определять наличие аэрологических данных в базовых массивах, а также получать краткую информацию о станциях. Помимо этого, приложение расширяет информированность пользователей о составе ЕГФД.

Доступ к «Каталогу...» осуществляется на сайте ФГБУ ВНИИГМИ-МЦД meteo.ru в разделе «Услуги и продукция» → «Услуги в области аэрологии и аэроклиматологии».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алдухов О.А., Черных И.В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Том 1: Контроль качества и обработка данных. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2013. 306 с.
2. Казначеева В.Д., Руденкова Т.В. Организация текущих аэрологических данных на магнитных лентах ЕС // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1985. Вып. 115. С. 91–108.
3. Руденкова Т.В. Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 174. С. 41–63.

4. Руденкова Т.В. Структура и содержание нового массива текущих аэрологических данных, поступающих из сети ГСТ в кодовых формах BUFR // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 102–118.
5. Хохлова А.В., Тимофеев А.А., Руденкова Т.В. Каталог аэрологических станций по архивам Единого государственного фонда данных // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 78–90.
6. WMO/ВМО, N 9, VOLUME/TOM A OBSERVING STATIONS STATIONS / НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ СТАНЦИИ. 2012.
7. WMO OSCAR | Observing Systems Capability Analysis and Review Tool – Home (дата обращения: 04.06.2024).
8. *Integrated Global Radiosonde Archive (IGRA) | National Centers for Environmental Information (NCEI) (noaa.gov)* (дата обращения: 04.06.2024).
9. Durre I., Yin X., Vose R.S., Applequist S., Arnfield J. Enhancing the Data Coverage in the Integrated Global Radiosonde Archive, *J. of Atmospheric and Oceanic Technology*. 2018. V. 35(9). P. 1753–1770. DOI:10.1175/JTECH-D-17-0223.1. [Overview of enhancements and data additions that resulted in IGRA version 2.0.] (дата обращения: 05.06.2024).
10. Ingleby B. *et al.* Progress toward high-resolution, real-time radiosonde reports. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2016. P. 2149–2161. DOI: 10.1175/BAMS-D-15-00169.1. [Background on radiosonde data in BUFR format] (дата обращения: 05.06.2024).

УДК 551.5+556

ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЛЯ ПРОГНОЗА ИЗМЕНЕНИЙ КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ И СТОКА РЕК РОССИИ НА БЛИЖАЙШИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

Б.Г. Шерстюков¹, Е.В. Гниломедов, А.Б. Шерстюков

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
¹ boris@meteo.ru*

Введение

Изменения климата последних десятилетий стали оказывать заметное, преимущественно негативное, влияние на хозяйственную деятельность человека. Смягчение такого воздействия возможно с помощью упредительных мероприятий на основе прогнозов ожидаемых изменений климата в виде различных его показателей. Большое практическое значение имели бы прогнозы многолетних изменений количества осадков и стока рек по регионам РФ на ближайшие одно-два десятилетия. Но существующие физико-математические модели климата, предназначенные для описания современного глобального потепления, дают сразу несколько возможных сценариев изменения климата к концу XXI века и совсем не дают оценок на ближайшие 10 лет.

Успешность любых прогнозов зависит от правильности понимания физических процессов, ответственных за изменения климата. В публикациях высказываются разные мнения о причинах современного глобального потепления, но в обществе укрепилось самое простое представление о климатической системе как о замкнутой системе без космических влияний на неё. Однако в рамках замкнутой системы методами физико-математического моделирования не удалось описать наблюдаемое глобальное потепление [1]. Без внешних влияний потепление не могло состояться. В этих условиях появилась гипотеза внешнего влияния на климат через дополнительный парниковый эффект от сжигания ископаемого топлива человеком. Человека признали виновным в

современном глобальном потеплении климата без достаточных для этого доказательств. Поводом для обвинения послужили модельные оценки связи потепления климата с выбросами CO₂ человечеством в эпоху индустриализации.

Широко известны модельные сценарии изменения глобального климата к концу XXI века в зависимости от возможных сценариев количества выбросов человечеством парниковых газов при сжигании ископаемого топлива. В материалах IPCC [1] приводятся оценки ожидаемого потепления глобального климата к 2100 году на величину в диапазоне от 1 до 5,7 °C в зависимости от предполагаемого количества выбросов человечеством парниковых газов. Такой разброс оценок на столь далёкую перспективу без детализации оценок на более коротких временных интервалах делает невозможным их использование на практике в климатозависимых отраслях экономики. Кроме того, в практических задачах необходимы оценки изменений не глобального климата, а регионального. Но ошибки прогностических оценок изменения регионального климата по физико-математическим моделям варьируют в диапазоне ±5 °C [2], что тоже делает такие оценки непригодными на практике из-за большого диапазона ошибок.

Задачи практики потребовали другого подхода к проблеме прогноза изменения климата. Вывод, полученный в материалах IPCC [1] о необходимости привлечения внешнего фактора воздействия на климат, не вызывает сомнений. Однако в качестве внешнего фактора было решено привлечь не учтённые в моделях космические воздействия на Землю.

Всесторонний анализ данных наблюдений за изменениями климата в разных регионах Земли, выполненный авторами ранее, подтвердил, что климатическая система не является замкнутой. Кроме того, оказалось принципиально важно учитывать, что климатическая система обладает свойствами колебательной системы. В этом случае повторяющиеся циклически воздействия космоса на колебательную систему климата стало необходимо описывать по законам взаимодействия колебательных систем с неизбежными резонансами на близких частотах космоса и собственных частот климатической системы [3].

При таком понимании изменения климата – это колебания, первопричиной которых являются резонансные воздействия космических сил с последующими их разными проявлениями в разных районах Земли и в разных сезонах по законам самой климатической системы.

Настоящая работа является продолжением обширных многолетних исследований авторов о причинах изменений климата и закономерностей их проявления в разных условиях.

Данные наблюдений показывают, что естественная изменчивость климата не является случайной. Анализ данных гидрометеорологических наблюдений мировой метеорологической сети показывает природные колебания регионального и глобального климата, которые формируются по общим законам Солнечной системы и модулируются циклическими изменениями в Солнечной системе. Следствием такого понимания основ наблюдаемых колебаний климата является применение в настоящей работе классического подхода выявления закономерностей колебаний регионального климата и их последующей экстраполяции на ближайшие одно-два десятилетия.

Согласно Г.Я. Смолькову: «Без учёта всех внешних факторов воздействия на Землю невозможно объяснить механизмы, энергетику, цикличность, полярную асимметрию, инверсию, синхронность событий и процессов, нестабильность суточного вращения Земли, скачкообразные и другие особенности их проявлений. ... Необходимо учитывать роль и вклад во внешнеземные связи эндогенной активности Земли, обусловленной гравитационным воздействием на неё со стороны Луны, Солнца и других планет Солнечной системы при её барицентрическом движении в гравитационном поле Галактики, а также возмущений Солнечной системы в целом, процессами и событиями ближнего и дальнего космоса» [4].

До сих пор аксиомой считалось утверждение о том, что количество энергии каждого импульса внешнего воздействия на климат должно быть не меньше, чем количество энергии последовавшего за ним изменения в климатической системе. Для климатической системы это не совсем правильно, если учесть,

что климатическая система обладает свойствами колебательной системы. Все показатели космических воздействий на Землю изменяются циклически. Поэтому воздействие циклических космических факторов на колебательную систему климата можно рассматривать как воздействие одной колебательной системы на другую. В этом случае решающую роль могут играть резонансы повторяющихся космических воздействий с колебаниями в климатической системе климата на её собственных частотах. Согласно теории колебательных систем [5], малая величина внешних сил воздействия на колебательную систему не является препятствием для модуляции в ней резонансных колебаний на соизмеримых частотах. Многократные повторяющиеся даже очень слабые, но резонансные, воздействия могут раскачать колебательную систему климата на её собственных частотах до колебаний с заметной амплитудой. Кроме простого накопления передающейся импульсной внешней энергии в нелинейной колебательной системе резонансы могут вызывать изменения, по своей энергии многократно превосходящие приток энергии от внешнего фактора. В моменты наступления резонанса колебания могут усиливаться за счёт высвобождения внутренней энергии системы.

Исходные данные и методы анализа

В работе использовались данные о температуре поверхности океана (ТПО) ERSST v3b в узлах географической сетки $2^\circ \times 2^\circ$ широты и долготы за 1854–2022 гг. [6–8]. Массив данных ERSST v3b представляет собой ряды месячных аномалий ТПО относительно норм за 1971–2000 годы. В работе использовались данные о среднегодовой температуре воды на стандартных горизонтах океана от 5 м до океанского дна (в пределе на 42 горизонтах от 5 до 5350 м) за 1950–2022 гг. в узлах географической сетки $1^\circ \times 1^\circ$ широты и долготы. Архив этих данных с наименованием EN.4.2.1 [9] с поправками G10 Гурецки и Резегетти [10] был получен авторами статьи с сайта <https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/en4/download-en4-2-1.html>.

Сведения о количестве осадков по станциям России и данные о стоке рек взяты из фондов ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД».

Астрономические данные для вычисления момента инерции получены из Института прикладной астрономии Российской академии наук <https://iaaras.ru/dept/ephemeris/online/>.

Исследования выполнены методами статистического анализа данных мировой системы наблюдений за климатом и данных о небесной механике.

Основные результаты

Космические циклы. Наблюдаемые изменения и циклические колебания климата не удаётся объяснить в рамках свойств самой климатической системы. В связи с этим неоспоримым является признание воздействия на глобальный климат некоторого внешнего фактора за пределами климатической системы. Ранее в [11, 12] рассматривался динамический механизм зависимости климатических характеристик от движения планет Солнечной системы. Суть предполагаемого механизма заключается в изменениях циркуляции вод Мирового океана и генерации дополнительных потоков тепла из океана в атмосферу при изменении момента вращения Солнца относительно центра масс Солнечной системы. Планеты вращаются не вокруг Солнца, а все планеты и Солнце вращаются вокруг их общего центра масс (вокруг барицентра). Характеристиками неравномерного вращательного движения являются момент инерции, момент силы и кинетическая энергия вращательного движения. В работе использовался суммарный момент инерции (J) барицентрического вращения четырёх больших планет: Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Методика вычисления описана в [12].

На рис. 1 показан график изменения суммарного момента инерции барицентрического вращения четырёх больших планет за 1802–2050 гг.

По графику на рис. 1 можно судить о циклических изменениях космического индекса. Смещение центра вращения Солнечной системы относительно центра Солнца сопровождается смещением всей орбиты планеты Земля вслед за центральным телом её орбитального движения (вслед за Солнцем). Земля вовлекается в дополнительное движение в космосе вместе с Солнцем. При

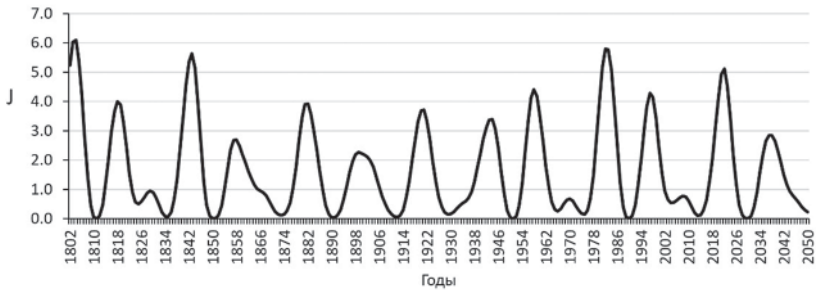


Рис. 1. Суммарный момент инерции барицентрического вращения больших планет относительно центра масс Солнечной системы ($\text{кг}\cdot\text{м}^2\cdot 10^{52}$)

этом во всех средах на Земле неизбежно появляются моменты сил барицентрического вращения, пропорциональные массе каждой среды: атмосферы, гидросферы, астеносферы (верхний жидкий слой мантии Земли). Так как масса гидросферы почти в 300 раз больше массы атмосферы, то на поверхности Земли влияние не учтённых ранее сил следует ожидать, прежде всего, в изменениях циркуляции Мирового океана.

Океан является важнейшим компонентом климатической системы. Для климата атмосферы он же является важнейшим внешним источником энергии. Теплоёмкость и тепловая инерционность океана многократно превосходят теплоёмкость и инерционность атмосферы, поэтому в системе океан–атмосфера океан является определяющим в поддержании долгопериодных колебаний климата через глобальный механизм системы океанических течений. В [13] на основе анализа климатических циклов высказано предположение о том, что изменение в глобальном теплообмене Мирового океана через океанические течения представляет собой первичное физическое явление, непосредственно реагирующее на вариации астрономических параметров. Океанические течения переносят тепло и влагу из одних районов Мирового океана в другие с некоторым запаздыванием. Анализируя асинхронную ковариационную структуру климатических индексов, в [6] описывается распространение

сигнала изменения температуры по всему Северному полушарию через последовательность многократных превращений асинхронных атмосферно-океанических дальних связей. По оценкам тех же авторов, первоначальный сигнал изменения температуры в Северной Атлантике, распространяясь, достигает удалённых регионов полушария примерно 30 лет спустя.

Учитывая результаты отмеченных публикаций, был выполнен корреляционный асинхронный анализ связи изменений средне-годовых значений ТПО в узлах географической сетки с изменениями погодичных значений момента инерции барицентрического вращения Солнечной системы. Коэффициенты корреляции вычислялись со сдвигами ряда момента инерции от нуля до 40 лет в предположении возможного многолетнего запаздывания отклика изменений ТПО на изменения космического индекса. В каждом географическом узле из серии коэффициентов асинхронных корреляций выбирался максимальный по модулю коэффициент и фиксировался сдвиг, при котором он был получен. Оказалось, что наилучшие корреляции достигаются преимущественно при сдвигах 32–37 лет (изменения ТПО отстают от изменений космического индекса). Поля значимых асинхронных положительных и отрицательных коэффициентов корреляции между J и ТПО со сдвигами 32–37 лет показаны на карте рис. 2.

Подробнее эти исследования описаны в [3]. Оказалось, что все узлы с наилучшими связями между J и ТПО приходятся на траектории основных океанических течений, преимущественно в Тихом океане. На карте цифрами отмечены стрелки на следующих океанических течениях: 1 — Антарктическое холодное циркумполярное течение; 2 — Перуанское холодное течение; 3 — Южно-Пассатное холодное течение; 4 — Восточно-Австралийское тёплое течение; 5 — Калифорнийское холодное течение; 6 — Северо-Тихоокеанское тёплое течение.

Усиление космического индекса примерно через 32–37 лет сопровождается повышением ТПО на холодных течениях (положительная корреляция) и понижением температуры на тёплых течениях (отрицательная корреляция). Такие изменения соответствуют ослаблению меридиональных переносов холодных океанических

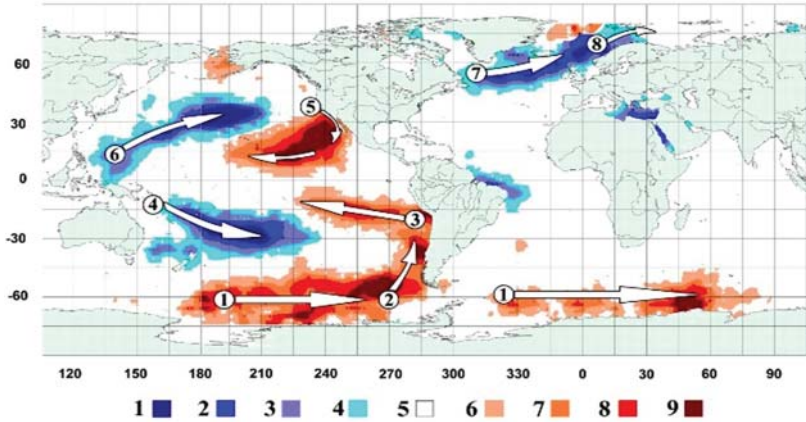


Рис. 2. Поля значимых асинхронных положительных и отрицательных коэффициентов корреляции между J и ТПО со сдвигами 32–37 лет. Градации коэффициентов на карте:

1) $\leq -0,70$; 2) $-0,60 \div -0,69$; 3) $-0,50 \div -0,59$; 4) $-0,40 \div -0,49$;

5) $-0,39 \div +0,39$; 6) $+0,40 \div +0,49$; 7) $+0,50 \div +0,59$;

8) $+0,60 \div +0,69$; 9) $\geq +0,70$

вод из высокоширотных районов Земли в экваториальные, а также ослаблению переноса тёплых вод из экваториальных районов в высокоширотные. Далее крупномасштабные изменения температуры поверхности Мирового океана формируют долгопериодные колебания температуры воздуха и атмосферных осадков на континентах, которые являются составной частью изменений климата.

Действие сил неравномерного барицентрического вращения Солнечной системы распространяется на всю Землю в целом и на все её оболочки. Скорость осевого вращения Земли тоже оказалась связанной с изменениями индекса барицентрического вращения. На рис. 3 показан график изменения продолжительности суток и график изменения момента инерции барицентрического вращения Солнечной системы J (с обратным знаком) со сдвигом на 43 года. Продолжительность суток является обратной величиной от скорости вращения. Для удобства сравнения значения графика изменения продолжительности суток показаны с обратным знаком.

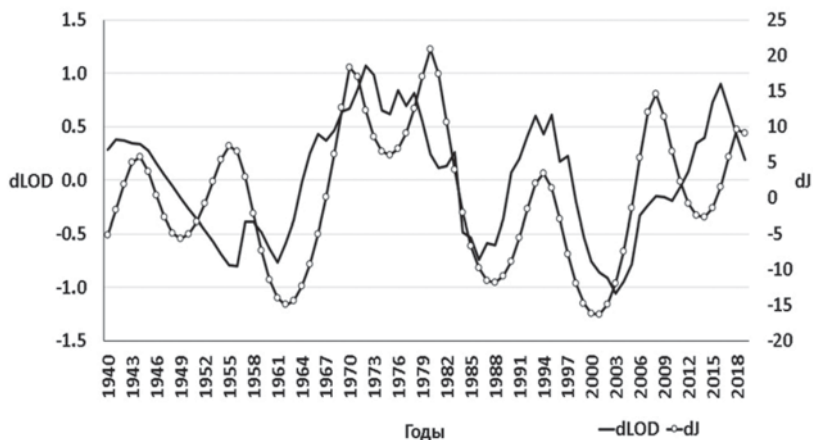


Рис. 3. Изменение продолжительности суток (с обратным знаком) и изменение момента инерции барицентрического вращения Солнечной системы (со сдвигом на 43 года)

Увеличению момента инерции J соответствует увеличение скорости осевого вращения Земли. Оказалось, что изменение скорости вращения Земли, обладающей значительной массой, происходит с запаздыванием на 43 года. Коэффициент корреляции $r = 0,57$. Изменение скорости вращения Земли всегда сопровождается изменениями в атмосферной циркуляции и в перераспределении тепла и влаги по планете. Эти изменения в переносе тепла тоже являются составной частью изменений климата, но с большим запаздыванием относительно исходного внешнего возмущения. Суммарная картина колебаний климата усложняется.

Действие сил барицентрического вращения распространяется на всё, имеющее массу. Поэтому оно должно распространяться на все оболочки Земли, включая жидкие слои мантии. Возмущения в астеносфере (верхний слой мантии) всегда сопровождаются усилением вулканизма с выходами раскалённой магмы на поверхность земной коры. Большая часть Земли покрыта океанами, поэтому большинство вулканических извержений происходит незаметно на дне океана. Известны публикации, в которых описаны случаи фиксации повышения температуры воды у океанского дна

при извержениях вулканов в океанах [14]. Сведения о температуре воды у океанского дна, имеющиеся в узлах географической сетки, можно использовать для проверки предположения о связи выделения внутреннего тепла Земли в океан в результате возмущений, связанных с барицентрическим вращением Солнечной системы. Такая проверка была выполнена и описана в [15].

По данным за 1960–2022 гг. в узлах сетки $1^\circ \times 1^\circ$ географических широт и долгот Мирового океана из массива данных о температуре T воды океана на стандартных горизонтах выбирались ряды данных только на самом нижнем горизонте в каждом узле. Полученные ряды использовались при вычислении коэффициентов корреляции между изменениями среднегодовой температуры у океанского дна и среднегодовыми значениями индекса барицентрического вращения J Солнечной системы. Ряд индекса J использовался за 1801–2050 гг. Коэффициенты корреляции вычислялись при сдвигах индекса J на интервал времени от 0 до 14 лет с шагом 1 год. Сдвиг эмитировал возможное запаздывание отклика температуры океана на изменения индекса J . Так как запаздывание отклика заведомо не известно, то его предстояло определить. Районы возможного выхода эндогенного тепла тоже не известны, поэтому их поиск выполнен по данным во всех узлах сетки $1 \times 1^\circ$ географических широт и долгот Мирового океана.

В каждом узле по максимальному из всех асинхронных коэффициентов корреляции определялся наилучший (максимальный по модулю) коэффициент и время сдвига (количество лет запаздывания), которое принималось за время запаздывания отклика изменений температуры на изменения индекса J . Ряд индекса J начинался с 1801 года, поэтому его сдвиг до 14 лет при вычислениях асинхронных коэффициентов не приводил к уменьшению числа членов ряда, участвующих в вычислениях.

На карте на рис. 4 красными и зелёными точками показаны узлы тесных связей со значимыми ($P_{сл} < 5\%$) коэффициентами корреляции r между температурой воды на придонном горизонте и индексом J . При этом точками разного цвета показаны те узлы географической сетки, в которых вычисленные коэффициенты корреляций между температурой и J при наилучших сдвигах

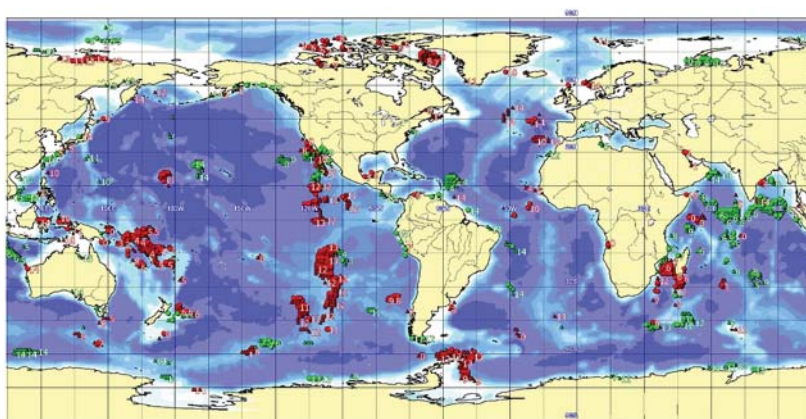


Рис. 4. Географические узлы тесных связей со значимыми ($P_{сл} < 5\%$) коэффициентами корреляции r между температурой воды на нижнем горизонте (ближайший ко дну горизонт) и индексом J

оказались $r > 0,65$ (красные точки) или $r < -0,65$ (зелёные точки). Цифрами показано время (годы) запаздывания изменений температуры у океанического дна на космическое воздействие.

На карте рис. 4 видно, что в Тихом океане больше всего точек, в которых у океанского дна температура изменялась в связи с изменением сил барицентрического вращения. На рис. 2 была показана связь температуры поверхности воды на основных океанических течениях с силами барицентрического вращения Солнечной системы. Там тоже было видно, что в Тихом океане на поверхности наиболее масштабно проявлялась связь изменений температуры с индексом космического воздействия. Сравнение расположения отмеченных на рис. 4 узлов с границами литосферных плит в океане показывает их почти полное совпадение. На границах между литосферными плитами происходят различные явления: плиты могут раздвигаться, сдвигаться с погружением одной плиты под другую или могут скользить одна относительно другой. Границы плит являются зонами максимальной сейсмической и вулканической активности. При раздвижении океанических литосферных плит образуются открытые трещины в земной коре, по которым происходит поднятие её базальтовых

магм на поверхность морского дна с выносом эндогенного тепла в океан. Границы плит могут быть дивергентными (спрединг) и конвергентными (субдукция). В обоих случаях на этих границах создаются условия для выхода раскалённой магмы в океан или для разогрева верхнего слоя земной коры при интрузивных процессах, когда магма поднимается к поверхности земной коры, разогревает её верхний слой и отдаёт тепло океану, но не выходит в океан. Различиями границ между разными литосферными плитами, возможно, определяются различия в запаздывании и в знаке корреляций между изменениями придонной температуры и силами внешнего воздействия на мантию. Запаздывание в разных районах чаще бывает 3–6 или 12–14 лет.

Возможно, что циклические внешние воздействия и циклические выходы дополнительного тепла в океан создают изменения в общей циркуляции океана и в изменениях переноса тепла на поверхности океана из одного региона в другой, регулируя перенос тепла и влаги в разные регионы России. Время вертикального переноса возмущений от океанского дна на поверхность океана пока не определено. Оно может составлять много десятилетий.

Известны и другие предполагаемые механизмы космических воздействий на формирование колебаний климата, но физико-математически не удаётся свести их в общую методику прогноза. Многое остаётся не ясным. Поэтому предложен статистический метод прогноза колебаний климата, включая прогноз количества осадков, на основе суперпозиции космических ритмов разной природы, механизмы проявления которых в атмосфере не вполне понятны, но статистически значимы.

Физические основы прогноза осадков на одно-два десятилетия. Физической основой предлагаемого метода прогноза колебаний климата является понимание, что наблюдаемые изменения климата имеют ритмическую основу. Одновременно работает несколько механизмов передачи возмущений из космоса в изменения атмосферной циркуляции и в связанные с этим изменения климата с разным временем запаздывания. Суммарная картина изменений климата во времени становится мало похожей на циклические изменения возмущающего фактора.

Однако ритмические закономерности всё же обнаруживаются. В упрощённом виде можно отметить, что космический фактор циклически задаёт многолетние интервалы времени длительностью N , в пределах которых каждый раз атмосферная циркуляция формирует свои закономерности изменения количества осадков в разных регионах Земли. В пределах этого интервала лет в заданном регионе формируется серия непериодических межгодовых изменений количества осадков. В следующие N лет закономерности непериодических изменений количества осадков повторяются примерно в той же последовательности. Космические воздействия создают во времени серию непериодических изменений количества осадков в регионе, которые в той же последовательности повторяются с каждым новым космическим циклом, т.е. серия непериодических изменений количества осадков периодически повторяется.

Но космических циклов много. При одновременном воздействии на Землю нескольких циклов разной длительности суммарная картина изменения во времени количества осадков становится ещё сложнее. Главной проблемой прогностического метода является правильное определение основных циклов космического воздействия на климатическую систему и связанных с каждым из них серий изменения количества осадков. Прогнозом будет сумма прогностических серий изменений количества осадков от основных циклов космических воздействий.

В основу методики прогноза на метеорологических станциях изменения количества атмосферных осадков на 10 лет и более положено выделение повторяющихся серий последовательности непериодических колебаний и последующая экстраполяция такой же последовательности серии колебаний осадков на будущее.

Закономерности изменения атмосферных осадков формируются изменениями атмосферной циркуляции. Поэтому на примере изменения атмосферной циркуляции проще продемонстрировать формирование повторяющихся серий непериодических колебаний, имеющих прогностический смысл для осадков. На рис. 5 верхний график показывает изменения по годам индекса Северо-Атлантического колебания после исключения из него

полиномиального тренда. Индекс характеризует перенос воздушных масс с Атлантики на Европу и в значительной мере определяет погодно-климатические условия Европы. На этом верхнем графике с 1951 года просматривается интервал времени длительностью 32 года с серией колебаний, которые повторяются затем в той же последовательности в следующие 32 года. Последовательность пиков индекса, которая наблюдалась за 1951–1982 годы, почти точно повторилась по годам на интервале 1983–2014 гг. Для наглядности совместим на одной шкале длительностью 32 года отрезок индекса за 1951–1982 гг. и отрезок за 1983–2014 годы.

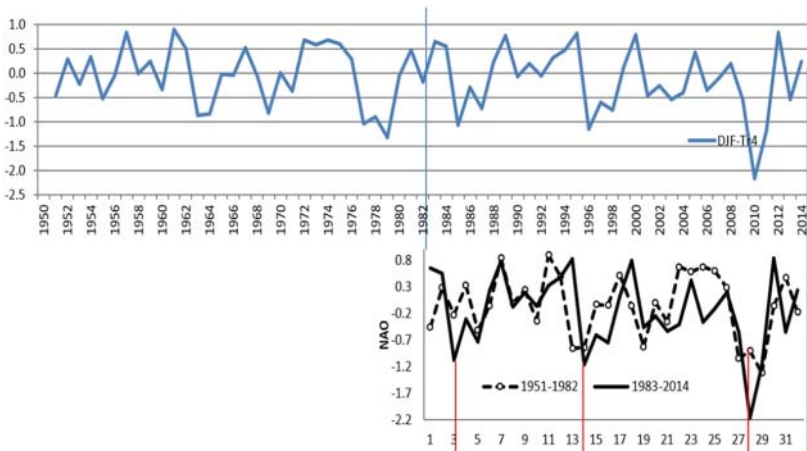


Рис. 5. Индекс Северо-Атлантического колебания после исключения полиномиального тренда 4-й степени

На рис. 5 нижние два графика показывают совмещение двух отрезков верхнего графика по годам от 1 до 32. Предполагая, что и в последующие 32 года последовательность пиков сохранится, можно строить их прогноз на предстоящие 32 года.

Это был простой случай, но так бывает не всегда даже с этим индексом циркуляции. С осадками ещё сложнее. Изменение количества осадков описывается суперпозицией нескольких

ритмов, результат которых сводится к прогнозу каждого из них и обобщению результатов по уравнению множественной регрессии.

Для прогноза количества осадков по станциям России был разработан статистический метод выявления и экстраполяции скрытой периодичности в количестве осадков и в изменении температуры воздуха, основанный на гипотезе об их цикличности, обусловленной повторяющимися космическими воздействиями разной природы со своими особенностями проявлений в разных районах России. Оценки достоверности таких прогнозов показали их неслучайность. Эти оценки достоверности отличаются по разным районам РФ и по разным сезонам года. Работы по совершенствованию метода продолжаются.

Прогноз стока рек в половодье. Зависимость стока от осадков весьма сложна и подвержена влиянию многих факторов. Поэтому был выбран метод, основанный на построении линейных эмпирических зависимостей. В процессе работ водосборы гидрологических постов были разделены на участки. Далее были рассчитаны средние суммарные слои осадков R за периоды с начала ледостава и до окончания пикового периода половодья $Q_{ппп}$ (период стока воды с момента, когда на подъёме половодья расход превысил в два раза средний годовой, и до даты на спаде первого пика половодья, когда расход воды вновь опустился ниже двукратного уровня среднего годового) на каждом из участков по данным метеостанций, находящихся в пределах участка.

Таким образом, стало возможным сопоставить характеристику R со средним расходом воды пикового периода половодья $Q_{ппп}$ в замыкающем водосбор створе. Однако не весь объём воды, поступивший в пределы водосбора в виде осадков, участвует в формировании стока воды в половодье. Значительная часть испаряется или аккумулируется в естественных и искусственных водоёмах, подземных водах, ледниках и поступает в речное русло в периоды, следующие за расчётным. Тем самым влияние количества осадков на сток воды усложняется, что снижает корреляцию рядов многолетних значений R и $Q_{ппп}$.

Для устранения данного фактора нужно исключить из расчётов те участки водосбора, где связь между количеством осадков

и количеством воды, поступившем в речную сеть в текущем расчётном периоде, искусственно нарушена вследствие сооружения водохранилищ и водозаборных сооружений либо является сложной по естественным причинам.

Для выявления таких участков водосбора были созданы специальные программные средства. Суть расчётов состоит в том, чтобы последовательно исключать из расчётов различные количества и комбинации участков водосбора и то количество осадков, которое поступило на них в течение расчётного периода. По оставшимся в расчётах участкам суммируются количества осадков, образуя значение R . Далее находится коэффициент корреляции между рядами величины R , полученной по участкам водосбора в данной комбинации, и стоком воды в половодье $Q_{ппп}$. В итоге максимальный коэффициент корреляции определяет тот состав участков водосбора, который характеризует максимально тесную зависимость $Q_{ппп}$ от R . Кроме того заданный алгоритм автоматически исключает участки водосбора с недостоверными данными по осадкам, которые могут возникнуть по причине редкой сети метеостанций или в результате ошибок в данных по осадкам.

После того, как была установлена та часть водосбора, где формируется максимально тесная связь между величинами $Q_{ппп}$ и R , стало возможным получить уравнение регрессии $Q_{ппп} = f(R)$, где $Q_{ппп}$ — сток воды периода пика половодья, R — средний слой осадков за период с начала ледостава и до окончания периода пика половодья, выпавших на расчётных участках водосбора.

Полученное уравнение регрессии используются для прогноза расхода воды по прогностическим значениям количества осадков. Таким методом можно вычислить как средние значения за половодье, так и среднегодовые значения стока.

На рис. 6 показан пример прогноза расходов воды в периоды половодья на р. Обь (г. Салехард). Значения сглажены по пятилетиям.

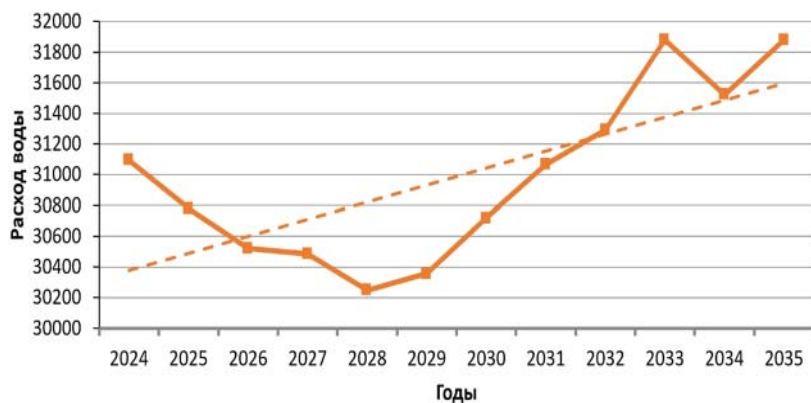


Рис. 6. Пример прогноза расходов воды м³/сек периода половодья, сглаженные по пятилетиям. Река Обь, г. Салехард

Заключение

Получены новые сведения о связи наблюдаемых изменений температуры поверхности Мирового океана и температуры воды вблизи океанского дна с циклическими воздействиями сил барицентрического вращения Солнечной системы. В глубинах океана на разломах земной коры изменения температуры оказались связанными с выделениями эндогенного тепла Земли, вызванными силами барицентрического вращения Солнечной системы. На поверхности океана при этом происходят неслучайные изменения температуры на основных океанических течениях Мирового океана, ответственных за перенос тепла и влаги по планете и за региональные изменения климата.

Полученные результаты о свойствах многофакторных циклических воздействий на Землю и обнаруженные проявления этих воздействий в изменениях температуры поверхности океана, в изменениях переноса тепла глобальной океанической циркуляцией позволили предложить метод выделения повторяющихся серий неперiodических изменений в атмосферных осадках. Метод позволяет оценивать ожидаемые изменения количества осадков на метеорологических станциях РФ на предстоящие 10–20 лет.

Прогностические сведения об ожидаемых изменениях количества осадков на каждой метеорологической станции стали основой для построения метода прогноза стока рек. Метод прогноза стока основан на выявленных эмпирических зависимостях. Из расчётов исключаются районы водосбора с искусственно нарушенными природными циклами вследствие сооружения там водохранилищ и водозаборных сооружений. По данным отобранных наблюдений строится уравнение регрессии расхода воды в зависимости от количества осадков на водосборе, а затем по прогностическим оценкам ожидаемых осадков строится прогноз расхода воды на ближайшие 10–20 лет. Таким методом можно вычислить как средние значения стока за половодье, так и среднегодовые значения стока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, B. Zhou (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2391 p. doi: 10.1017/9781009157896.
2. *Climate Change (2013). The Physical Science Basis. Working Group I. Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / Edited by Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sro Paolo, Delhi, Mexico City. 1535 p.
3. *Шерстюков Б.Г.* Колебательная система климата, резонансы, дальние связи, прогнозы. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2021. 222 с. http://meteo.ru/wp-content/uploads/2024/03/sherstyukovb_-2021_print-m1.pdf.
4. *Смолюков Г.Я.* Необходимость знаний о внешнеземных связях // Гелигеофизические исследования. 2020. Вып. 25. С. 14–29.
5. *Блехман И.И.* Синхронизация динамических систем. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1971. 894 с.
6. *Smith T.M., Reynolds R.W., Peterson T.C., Lawrimore J.* Improvements NOAA's Historical Merged Land–Ocean Temp Analysis (1880–2006) // J. of Climate. 2008. V. 21. P. 2283–2296.

7. *The Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) dataset is a global monthly sea surface temperature analysis derived from the International Comprehensive Ocean–Atmosphere Dataset.* <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/marineocean-data/extended-reconstructed-sea-surface-temperature-ersst-v3b>.

8. *Xue Y., Smith T.M., Reynolds R.W. Interdecadal Changes of 30-Yr SST Normals during 1871–2000 // J. of Climate. 2003. V. 16. P. 1601–1612.*

9. *Good S.A., Martin M.J., Rayner N. A., 2013. EN4: quality controlled ocean temperature and salinity profiles and monthly objective analyses with uncertainty estimates // J. of Geophys. Res.: Oceans, doi:10.1002/2013JC009067.*

10. *Gouretski V., Reseghetti F. On depth and temperature biases in bathythermograph data: development of a new correction scheme based on analysis of a global ocean database // Deep-Sea Res. I. 2010. V. 57(6). doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr.2010.03.011.*

11. *Шерстюков Б.Г. Внешние факторы долгопериодных колебаний температуры поверхности Мирового океана // Всероссийская научная конференция с международным участием «Земля и космос» к столетию академика РАН К.Я. Кондратьева. Сборник статей. 2020. С. 165–169.*

12. *Шерстюков Б.Г. Динамическая синхронизация колебаний климата океана с барицентрическим движением Солнца // Известия РАН. Серия географическая. 2021. Том 85, № 3. С. 380–391.*

13. *Бялко А.В. Релаксационная теория климата // Успехи физических наук. 2012. Том 182, № 1, С. 111–116.*

14. *Spiess F.N., Macdonald K.C., Atwater T., Ballard R., Carranza A., Cordoba D., Cox C., Diaz Garcia V. M., Francheteau J., Guerrero J., Hawkins J., Haymon R., Hessler R., Juteau T., Kastner M., Larson R., Luyendyk B., Macdougall J.D., Miller S., Normark W., Orcutt J., Rangin C. East Pacific Rise. Hot Springs and Geophysical Experiments // Science. 1980. V. 207, N 4438. P. 231–242.*

15. *Шерстюков Б.Г., Шерстюков А.Б. Космос и тектоника Земли как регуляторы выхода эндогенного тепла в океан // Гидрометеорология и экология. 2024. № 75. С. 207–233.*

УДК 551.46.09

Модернизация информационно-технологического узла Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане. Мельников Д.А., [Михайлов Н.Н.], Вязилов Е.Д., Воронцов А.А., Белова К.В., Пузова Н.В., Вязилова Н.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 7–27.

Представлены идеи и подходы по модернизации типового информационно-технологического узла Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане с учётом актуальных требований современных стандартов информационного обслуживания. Разработаны решения для реализации модернизированной технической архитектуры узла и реализации прикладных сервисов информационного обслуживания. Даны примеры реализованных сервисов по гидрометеорологическому обеспечению морской деятельности.

Ключевые слова: Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане, гидрометеорологическое обслуживание морской деятельности, прикладные задачи и сервисы.

Ил. 6. Библиогр. 14.

УДК 551.465

Модернизация военной подсистемы ЕСИМО для полномасштабного обеспечения ВМФ России. Белова К.В., [Михайлов Н.Н.], Воронцов А.А., Вязилов Е.Д., Белов С.В., Пузова Н.В., Мельников Д.А., Баталкина С.А., Мухалёва Н.В., Нефёдова Г.И., Антонов А.А., Бахмутов В.Ю., Федоров А.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 28–41.

Настоящая статья посвящена проблеме модернизации военной подсистемы в Единой государственной системе информации об обстановке в Мировом океане (далее ВП ЕСИМО) для предоставления полноты и качества гидрометеорологического обеспечения (далее — ГМО) военно-морской деятельности на всех уровнях. Рассмотрены содержание и актуальность проблемы. Предложено решение по модернизации, которая рассматривается как программно-техническая среда (цифровая платформа) гидрометеорологического обеспечения Военно-морского флота (далее — ВМФ), реализующая сквозной интегрированный процесс сбора и накопления, обработки и анализа, предоставления и распространения данных наблюдений и продукции, сопутствующих метаданных в формате прикладных задач цифрового ГМО ВМФ. Впервые предложено в качестве ключевого направления совершенствования ВП ЕСИМО построение на её основе цифровой платформы ГМО ВМФ на основе современных информационных технологий.

Ключевые слова: Росгидромет, Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО), военная подсистема, ВМФ, гидрометеорологическое обеспечение, данные, информационные системы, информационные технологии, цифровая платформа.

Ил. 2. Библиогр. 10.

УДК 551.506.7

О содержании и полноте нового архива аэрологических данных АЭРОБАФР.
Руденкова Т.В., Тимофеев А.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 42 – 52.

В ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» ведутся работы по архивации текущих аэрологических данных, поступающих по ГСТ в виде сообщений в таблично-ориентированных кодовых формах (BUFR) по вновь разработанной технологии архивации. Проводится мониторинг состава, содержания и полноты файлов нового массива АЭРОБАФР. На примере данных файлов за декабрь 2021 года и декабрь 2022 года приведены индексы станций, по которым отсутствуют данные. Приведены индексы станций, имеющих ошибки в данных.

Ключевые слова: архивация, аэрологические данные, глобальная сеть телесвязи, кодовая форма BUFR.

Ил. 1. Табл. 2. Библиогр. 10.

УДК 551.576.32(470+571)

Мониторинг облачности на территории России. Коршунова Н.Н., Давлетшин С.Г. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 53 – 64.

Приводятся результаты апробации методики мониторинга облачности на примере анализа состояния облачности на территории России в 2021 году. Анализировались следующие характеристики по общей облачности и облачности нижнего яруса: средний балл облачности, число ясных и пасмурных дней. Анализ проводился по данным в точке и по рядам средних для девяти квазиоднородных климатических регионов характеристик.

2021 год для России в целом был облачным, аномалии среднего балла общей и нижней облачности попали в десятку наибольших в ранжированном ряду с 1985 года. Годовые аномалии среднего балла нижней облачности в большинстве квазиоднородных районов попали в десятку наиболее крупных положительных аномалий. По общей облачности в 2021 году на территории РФ преобладали отрицательные аномалии числа ясных дней.

Анализ режима облачности конкретного года, помимо тестирования информационной базы, позволил решить некоторые методические вопросы при разработке методики мониторинга облачности по данным наземных наблюдений.

Ключевые слова: мониторинг облачности, общая облачность, нижняя облачность, средний балл облачности, число ясных дней, число пасмурных дней.

Ил. 5. Табл. 3. Библиогр. 7.

УДК 551.58

Воздействие опасных гидрометеорологических явлений и неблагоприятных условий погоды на топливно-энергетический комплекс России. Руклинская Е.Ф., Воробьева Л.Н., Санина А.Т. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 65 – 76.

Рассматривается степень воздействия опасных гидрометеорологических явлений погоды на деятельность энергетического комплекса России. На основе официальных данных представлены результаты статистического анализа воздействия опасных явлений на энергетический комплекс по субъектам РФ за последние двадцать лет. Приводится динамика экономического эффекта гидрометеорологического обеспечения энергетического комплекса. Подчёркнута важность получения дополнительных статистических и экономических данных, определяющих опасность воздействия опасных гидрометеорологических явлений на энергетику России.

Ключевые слова: опасные гидрометеорологические явления, неблагоприятные условия погоды, топливно-энергетический комплекс, электроэнергетика, экономический эффект.

Ил. 7. Библиогр. 8.

УДК 551.465.7

Муссонная циркуляция в Индийском океане и Эль-Ниньо — Южное колебание. Вязилова Н.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 77 – 98.

В статье представлен общий сценарий развития климатических аномалий в тропическом регионе Индийского и Тихого океанов в годы развития Эль-Ниньо — Южного колебания (ЭНЮК), в основе которого лежит гипотеза о ведущей роли смещения максимума конвекции (осадков) в исследуемом регионе в течение годового цикла. Исследование основано на анализе композиционных средних значений аномалий температуры поверхности океана, атмосферных осадков и динамических характеристик атмосферы, рассчитанных для каждого календарного сезона годового цикла лет с ослабленным и усиленным летним максимумом конвекции (летними осадками над Индией). Исследование выполнено на основе данных массивов NOAA Extended SST V5, Arkin-Xie Precipitation STD (CMAP) и реанализа NCEP/NCAR.

Ключевые слова: Эль-Ниньо, Ла-Нинья, муссонная циркуляция.

Ил. 4. Библиогр. 21.

УДК [556.166+551.577.61]:551.583(470+571)

Прогнозные оценки вероятности возникновения наводнений в период половодья на реках Ямало-Ненецкого автономного округа. Гниломе-дов Е. В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 99 – 112.

В статье изложен метод расчёта стока воды в половодье по данным значений осадков. Суть метода состоит в нахождении максимально высокой корреляции между стоком воды и предшествующими осадками путём исключения из расчётов участков водосбора, где связь между количеством осадков и количеством воды, поступившей в речную сеть, искусственно нарушена вследствие сооружения водохранилищ и водозаборных сооружений либо является сложной по естественным причинам.

С использованием вышеуказанного метода даны прогнозные оценки изменения стока воды в половодье на крупнейших реках Ямало-Ненецкого автономного округа до 2034 года включительно.

Ключевые слова: Ямало-Ненецкий автономный округ, сток воды, половодье, паводки, наводнение, опасные гидрологические явления, трендовые оценки стока рек в половодье, расходы воды в половодье, тенденции в изменении стока рек в половодье.

Ил. 4. Табл. 4. Библиогр. 12.

УДК 551.524

Гомогенизация данных экстремальных температур воздуха по метеорологическим станциям России. Финаев А. Ф., Разуваев В. Н. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 113 – 124.

В статье представлены результаты гомогенизации данных среднемесячной и среднегодовой экстремальной температуры воздуха 518 станций России с помощью пакета RHtest. Приведены итоги сравнения однородных и неоднородных данных. Представлены карты распределения абсолютных максимальных и минимальных температур воздуха по территории и различия в количестве нарушений однородности на станциях.

Ключевые слова: климат, метеорология, температура воздуха, гомогенизация, однородные ряды данных.

Ил. 5. Табл. 5. Библиогр. 12.

УДК 551.576.1: 551.58

Пространственно-временные изменения числа восстановленных по данным радиозондирования облачных слоёв в атмосферном слое 0–10 км. Черных И. В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 125 – 142.

Знания о вертикальной структуре числа облачных слоёв и их долгопериодных изменениях полезны при изучении климата. В статье представлены тренды числа восстановленных облачных слоёв в слое атмосферы 0–10 км над уровнем земли для земного шара, Северного и Южного полушарий. Исследования проведены на основе данных глобального массива результатов радиозондирования атмосферы CARDS, дополненных текущими данными, за период 1964–2018 гг. SE-метод использован для определения границ и количества облаков по профилям температуры и влажности. Получено: для земного шара и обоих полушарий многолетние средние значения числа облачных слоёв с количеством облаков 0–100 % покрытия небосвода для каждого месяца, сезона, года в целом и тренды их аномалий зависят от яруса облаков: они максимальны для среднего яруса и минимальны — для нижнего яруса; максимальные тренды аномалий числа облачных слоёв в слоях 2–6, 6–10 и 0–10 км определены в тёплый сезон. Тренды определены с доверительной вероятностью не менее 95 %.

Ключевые слова: климат, атмосфера, восстановленные облачные слои, данные радиозондирования, земной шар, Северное полушарие, Южное полушарие.

Ил. 4. Табл. 5. Библиогр. 28.

УДК 551.465

Изменчивость термического режима поверхностного слоя Чёрного моря по данным спутниковых наблюдений. Булыгин А. М., Вишнев О. Г. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 143 – 151.

Представлены результаты исследования межгодовой и сезонной изменчивости температуры поверхностного слоя (ТПМ) Чёрного моря, полученные на основе данных спутниковых измерений. Проанализированы данные с 1982 по 2023 год. Для четырёх временных интервалов и за весь период рассчитаны величины линейного тренда для западной, восточной, центральной и северной мелководных частей Чёрного моря, а также для моря в целом. Выделены периоды уменьшения и роста среднегодовых значений ТПМ. Устойчивый рост ТПМ в Чёрном море начался с 1993 года. В целом за период в 41 год температура поверхности Чёрного моря увеличилась на 2,5 °С.

Ключевые слова: Чёрное море, температура поверхности моря, тренды температуры, межгодовая изменчивость температуры моря, сезонная изменчивость температуры моря.

Ил. 5. Библиогр. 8.

УДК 551.465

Характеристики термохалинного режима Азовского моря в последние десятилетия. Воронцов А.А., Булыгин А.М., Баталкина С.А., Нефёдова Г.И. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 152 – 166.

В статье рассмотрены характеристики изменения термохалинного режима морской воды на акватории Азовского моря. Приведены оценки температуры и солёности по данным за весь доступный период и за современный климатический период. Показаны положительные тренды режима температуры и солёности морской воды как в прибрежной зоне Азовского моря, так и на акватории моря в целом.

Ключевые слова: Азовское море, климат моря, режим, температура морской воды, солёность морской воды, океанография, гидрометеорологическая станция.

Ил. 17. Табл. 2. Библиогр. 11.

УДК 551.465

Ветро-волновой режим российского побережья Чёрного моря в современный период. Воронцов А.А., Баталкина С.А., Нефёдова Г.И. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 167 – 177.

В статье рассмотрены элементы ветрового и волнового режимов прибрежной зоны российского сектора Чёрного моря. Приведены оценки скорости ветра и высот волн по данным гидрометеорологических станций за весь доступный период. Показаны тенденции последних десятилетий для характеристик скорости ветра и волнения в прибрежной зоне Чёрного моря.

Ключевые слова: Чёрное море, климат моря, режим, скорость ветра, волнение, океанография, гидрометеорологическая станция.

Ил. 9. Табл. 4. Библиогр. 7.

УДК 004.6:551.5:004.9

Формирование и использование базы данных детальных метаописаний ЯОД-объектов хранения ЕГФД. Михеев Н. Ю. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 178 – 187.

Настоящая статья посвящена первым результатам опытной эксплуатации подсистемы АИСОРИ для формирования и хранения метаописаний файлов гидрометеорологических наблюдений (ФХМ).

Основная цель данной работы – представить результаты первичных исследований состояния полноты и качества фонда гидрометеорологических данных с целью проведения различных типов анализа, полученных в рамках опытной эксплуатации подсистемы.

В работе представлены: описание состояния метеорологических электронных массивов первичных наблюдений, результаты работы подсистемы ФХМ на базе массива РСБД ТМС.

Ключевые слова: Росгидромет, Единый государственный фонд данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении (ЕГФД), язык описания данных (ЯОД), технология формирования и хранения метаописаний, база данных, полнота и качество данных, отсутствие наблюдений, ошибки формата визуализации.

Ил. 6. Библиогр. 4.

УДК 551.501.771

Изменения относительной влажности воздуха на европейской территории России за период 1966–2023 гг. Кузнецова В. Н., Швець Н. В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 188 – 201.

В статье представлены результаты расчётов климатических изменений относительной влажности воздуха на Европейской территории России за период 1966–2023 гг. Рассмотрены тенденции изменения влажности на рассматриваемой территории. Показана пространственная и сезонная неоднородность в изменениях относительной влажности воздуха на Европейской территории России.

Ключевые слова: климат, линейный тренд, относительная влажность воздуха, климатические изменения, Европейская территория России.

Ил. 6. Табл. 2. Библиогр. 14.

УДК 004.6:551.5:004.9

Программа обработки данных плювиографа «REGEN-PLUV». Перетять-ко Л. О., Швець Н. В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 202 – 219.

В статье описано разработанное программное средство (PLUV-REGEN), позволившее упростить доступ к данным об интенсивности осадков, хранящимся в архиве режимной метеорологической информации (ТМС) Госфонда ВНИИГМИ-МЦД. Статья содержит описание исходных данных, программы, пользовательского интерфейса и результатов работы. В статье приведены примеры дальнейшего использования результатов работы программы в исследовании климата и в разработке специализированных характеристик, имеющих прикладное значение.

Ключевые слова: язык описания гидрометеорологических данных (ЯОД), данные плювиографа, обработка данных.

Ил. 17. Библиогр. 6.

УДК 551.465.7

Циклоны Баренцева моря по данным реанализа ERA5. Вязилова Н. А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 220 – 231.

Представлено исследование внетропических циклонов, генерируемых в районе Баренцева и Карского морей, а также циклонов, выходящих в данный район из других регионов генезиса. Исследование включает анализ пространственного распределения плотности генезиса и затухания циклонов, а также плотности центров глубоких и штормовых циклонов по районам генезиса в зимнюю и летнюю половину года. Центры циклонов и траектории их смещения рассчитаны автоматизированным методом на основе данных приземного давления реанализа ERA5/ ECMWF за период с 1979 по 2021 год.

Ключевые слова: траектории циклонов, плотность генезиса циклонов, циклоническая активность.

Ил. 6. Библиогр. 20.

УДК 004.91:551

Формирование полнотекстовой базы правовых актов Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Кашина И.И., Кузнецов А.А., Рябова Е.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 232 – 239.

В статье рассматриваются вопросы формирования полнотекстовой базы правовых актов Росгидромета средствами Системы ведения баз данных, разработанной в ЗАО «Консультант Плюс». Описана организация процесса подготовки документов в Росгидромете для загрузки в базу данных, рассмотрены особенности обработки документов при загрузке, указаны сервисы, предоставляемые пользователям при удалённом доступе к базе правовых актов Росгидромета.

Ключевые слова: информационная система, правовые акты, гидрометеорология, мониторинг окружающей среды.

Ил. 2. Библиогр. 3.

УДК 551.557

Средняя скорость ветра в тропосфере над территорией Российской Федерации по данным многолетних радиозондовых наблюдений. Холлова А.В., Тимофеев А.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 240 – 251.

Рассмотрены многолетние характеристики скорости ветра в тропосфере выше пограничного слоя над Российской Федерацией. Средние скорости и компоненты скорости определены для нижней тропосферы (слой 850–500 гПа) и для верхней тропосферы (слой 500–300 гПа) по многолетним радиозондовым наблюдениям российских аэрологических станций за период 1978–2022 гг. Приведено пространственное распределение скорости ветра и компонент в этих слоях. Показано, что в нижней тропосфере за этот период наблюдалось преимущественно уменьшение скорости ветра, в верхней тропосфере имело место преимущественное возрастание скорости ветра. Значения коэффициентов линейных трендов невелики.

Ключевые слова: ветер, тропосфера, климат, радиозондовые измерения.

Ил. 4. Табл. 1. Библиогр. 14.

УДК 551.506.7

Каталог радиозондовых данных массивов АЭРОБАФР и АЭРОСТАС в архивах Единого государственного фонда данных. Духов Е.В., Хохлова А.В., Руденкова Т.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 252–261.

В состав аэрологического банка ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» входят несколько базовых массивов. Для размещения в открытом доступе информации о наличии данных в массивах разработано веб-приложение «Каталог аэрологических данных». Приложение позволяет осуществлять поиск нужной станции по разным признакам и получать краткие сведения о наличии и качестве данных.

Ключевые слова: радиозондовые данные, архив, каталог, открытый доступ.

Ил. 6. Библиогр. 10.

УДК 551.5+556

Физико-статистические основы для прогноза изменений количества осадков и стока рек России на ближайшие десятилетия. Шерстюков Б.Г., Гниломедов Е.В., Шерстюков А.Б. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 262–280.

По многолетним данным наблюдений выполнен анализ связей характеристик климата Земли с циклическими изменениями в Солнечной системе. Используются ряды наблюдений за осадками на метеорологических станциях, сведения о стоках рек и данные о динамике Солнечной системы.

Показано проявление ритмов космических воздействий в изменениях важнейших факторов климата: скорость вращения Земли, атмосферная циркуляция и температура поверхности океана на основных океанических течениях и температура воды у океанского дна на стыках литосферных плит Земли. Следствием циклических внешних воздействий и изменений в океане оказались многолетние изменения в атмосферных осадках. Предложен метод выявления скрытой периодичности в изменениях атмосферных осадков и их экстраполяции на одно-два десятилетия в будущем.

Обнаруженные закономерности изменений количества осадков на метеорологических станциях позволяют экстраполировать осадки на ближайшие 10–20 лет на территории в пределах водосборов рек и затем вычислять тенденции ожидаемого стока рек. Таким методом можно вычислить как средние значения за половодье, так и среднегодовые значения стока.

Ключевые слова: изменения климата, атмосферные осадки, речной сток, прогноз осадков, прогноз стока рек.

Ил. 6. Библиогр. 15.

UDC 551.46.09

Modernization of the Information Technology Node of the Unified State System of Information on the World Ocean. Melnikov D.A., Mikhailov N.N., Vjazilov E.D., Vorontsov A.A., Belova K.V., Puzova N.V., Vjazilova N.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2024. N 192. P. 7–27.

The article presents ideas and approaches for the modernization of a typical information technology node of the Unified State System of Information on the World Ocean, taking into account the current requirements of modern information service standards, are presented. Solutions have been developed for the implementation of the upgraded technical architecture of the node and the implementation of applied information services. Examples of implemented services for hydrometeorological support of marine activities are given.

Keywords: unified state information system on the situation in the World Ocean, hydrometeorological maintenance of marine activities, applied tasks and services.

Fig. 6. Ref. 14.

UDC 551.465

Modernization of the ESIMO Military Subsystem for Full-Scale Support of the Russian Navy. Belova K.V., Mikhailov N.N., Vorontsov A.A., Vjazilov E.D., Belov S.V., Puzova N.V., Melnikov D.A., Bataalkina S.A., Mukhaleva N.V., Nefedova G.I., Antonov A.A., Bakhmutov V.Y., Fedorov A.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2024. N 192. P. 28–41.

This article is devoted to the problem of modernizing the military subsystem in the Unified State System of information on the World Ocean (hereinafter referred to as VP ESIMO) to provide completeness and high quality of hydrometeorological support (hereinafter referred to as HS) for naval activities at all levels. The content and relevance of the problem are considered. A modernization solution is proposed, which is considered as a software and hardware environment (digital platform) for hydrometeorological support of the Navy. This environment implements an end-to-end integrated process of collection and accumulation, processing and analysis, provision and dissemination of observational data and products, and associated metadata in the format of applied tasks of the Navy's digital HS. Using modern information technologies, the construction of digital Navy HS platform was first proposed to improve the VP ESIMO.

Keywords: Roshydromet, Unified State System of Information on the World Ocean, military subsystem, Navy, hydrometeorological support, data, information systems, information technology, digital platform.

Fig. 2. Ref. 10.

UDC 551.506.7

On the content and completeness of AEROBUFR, a new upper-air data archive. Rudenkova T.V., Timofeev A.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2024. N 192. P. 42 – 52.

RIHMI-WDC is involved in archiving of the current upper-air data arriving via GTS as messages in the table-oriented code forms (BUFR) by using new archiving technology. Monitoring of the structure, content and completeness of the files in the new AEROBUFR dataset is performed. By using the files for December 2021 and December 2022 as an example, indices of stations for which data are missing are given. Indices of stations with data errors are also presented.

Keywords: archiving, upper-air data, Global Telecommunications System, BUFR code form.

Fig. 1. Tab. 2. Ref. 10.

UDC 551.576.32(470+571)

Cloudiness monitoring over the territory of Russia. Korshunova N.N., Davletshin S.G. Proceedings of RIHMI-WDC. 2024. N 192. P. 53 – 64.

The results of testing the cloudiness monitoring methodology are presented using the example of analyzing the state of clouds in Russia in 2021. The following characteristics were analyzed for the total and low-level cloudiness: average cloudiness and the number of clear and cloudy days. The analysis was carried out using point data and series of characteristics averaged for nine quasi-homogeneous climatic regions.

The year 2021 for Russia as a whole was cloudy; the anomalies of the average total and low cloudiness were among the ten largest in the ranking series since 1985. The annual anomalies of the average low-level clouds in most quasi-homogeneous regions proved to be in the top ten largest positive anomalies. In terms of total cloudiness in 2021, negative anomalies in the number of clear days prevailed in the Russian Federation.

The analysis of the cloudiness regime for a particular year, in addition to the information base testing, made it possible to resolve some methodological issues when developing a methodology for cloudiness monitoring using ground-based observation data.

Keywords: cloudiness monitoring, total cloudiness, low-level clouds, average cloudiness, the number of clear days, the number of cloudy days.

Fig. 5. Tab. 3. Ref. 7.

UDC 551.58

Impact of Hydrometeorological Hazards and Adverse Weather Conditions on the Fuel and Energy Complex of Russia. Ruklinskaya E.F., Vorobyeva L.N., Sanina A.T. Proceedings of RIHMI-WDC. 2024. N 192. P. 65 – 76.

The degree of the impact of hydrometeorological hazards on the activity of the Russian energy complex is considered. Based on official data, the results of a statistical analysis of the impact of hazards on the energy complex in the subjects of the Russian Federation over the past twenty years are presented. The dynamics of the economic effect of the hydrometeorological support for the energy complex is presented. The importance of obtaining additional statistical and economic data that determined the danger of the impact of hydrometeorological hazards on the Russian energy sector is emphasized.

Keywords: hydrometeorological hazards, adverse weather conditions, fuel and energy complex, electric power industry, economic effect.

Fig. 7. Ref. 8.

UDC 551.465.7

Indian Ocean Monsoon Circulation and El Niño — Southern Oscillation. Viazilova N.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2024. N 192. P. 77 – 98.

The article presents a general scenario for the development of climate anomalies in the tropical region of the Indian and Pacific Oceans during the years of the El Niño — Southern Oscillation (ENSO) development. The scenario is based on the hypothesis for the leading role of the shift of the precipitation convection maximum in the studied region during the annual cycle. The study is based on analyzing the compositional average values of anomalies of ocean surface temperature, atmospheric precipitation and dynamic characteristics of the atmosphere that were calculated for each calendar season of the annual cycle of the years with weakened and enhanced summer maximum convection (summer precipitation over India). The study is based on NOAA Extended SST V5, Arkin-Xie Precipitation STD (CMAP) datasets and NCEP/NCAR reanalysis.

Keywords: El Niño, La Niña, monsoon circulation.

Fig. 4. Ref. 21.

UDC [556.166+551.577.61]:551.583(470+571)

Forecast Estimates of the Probability of Floods During High Water on the Rivers of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. Gn il o m e d o v E.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2024. N 192. P. 99 – 112.

The article describes a method for calculating the water flow in high water from precipitation values. The essence of the method is to find the highest possible correlation between the water runoff and the previous precipitation by excluding catchment areas from calculations where the relationship between the amount of precipitation and the amount of water entering the river network is artificially disrupted due to the construction of reservoirs and water intake structures or is complex for natural reasons.

Using the above method, forecast estimates of changes in flood water flow on the largest rivers of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug up to and including 2034 are given.

Keywords: Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, water runoff, high water, floods, flooding, hydrological hazards, trend estimates of river runoff during floods, water discharges during floods, trends in changes in river runoff during floods.

Fig. 4. Tab. 4. Ref. 12.

UDC 551.524

Homogenization of Extreme Air Temperature Data for Meteorological Stations in Russia. F i n a e v A.F., R a z u v a y e v V.N. Proceedings of RIHMI-WDC. 2024. N 192. P. 113 – 124.

The article discusses results of homogenization of mean monthly and mean annual extreme air temperature data from 518 stations in Russia using the RHtest package. Comparison of homogeneous and heterogeneous data is given. Maps of absolute maximum and minimum air temperature distribution over the study territory and the difference in inhomogeneity degree at stations are presented.

Keywords: climate, meteorology, air temperature, homogenization, homogeneous data series.

Fig. 5. Tab. 5. Ref. 12.

UDC 551.576.1: 551.58

Space-time Variations in the Number of Cloud Layers Recovered from Radiosounding Data in the 0–10-km Atmospheric Layer. Chernykh I.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2024. N 192. P. 125 – 142.

The knowledge about a vertical structure of the number of cloud layers and their long-period changes is useful in climate study. The article presents the trends of the number of recovered cloud layers in the atmospheric layer 0–10 km over ground level for the globe, Northern and Southern hemispheres. The studies are conducted for the period 1964–2018 based on the CARDS global dataset containing the results of atmospheric radiosounding completed with current data. CE-method is used to determine the boundaries and amount of clouds from temperature and humidity profiles. For the globe and the both hemispheres, multi-year means of the number of cloud layers with the cloud amount 0–100 % of the sky covering for each month, season and year as a whole are obtained. Multi-year means and trends of their anomalies depend on a cloud level: these are maximal for the middle level and minimal for the lower cloud level. Maximum trends in the anomalies of the number of cloud layers in the layers 2–6, 6–10 and 0–10 km are determined in the warm season. The trends are determined with confidence probability of no less than 95 %.

Keywords: climate, atmosphere, recovered cloud layers, radiosounding data, globe, Northern hemisphere, Southern hemisphere.

Fig. 4. Tab. 5. Ref. 28.

UDC 551.465

Variability of the Thermal Regime of the Black Sea Surface Layer According to Satellite Observations. Bulygin A.M., Vishnev O.G. Proceedings of RIHMI-WDC. 2024. N 192. P. 143 – 151.

The results of investigating the interannual and seasonal variability of surface layer temperature (SST) in the Black Sea, which were obtained on the basis of satellite measurements, are presented. Data from 1982 to 2023 were analyzed. For the four time intervals and for the entire period, linear trend values were calculated for the western, eastern, central and northern shallow parts of the Black Sea, as well as for the Sea as a whole. The periods of decrease and increase in average annual SST values are identified. A steady increase in SST in the Black Sea began in 1993. Overall, over the period of 41 years, the surface temperature in the Black Sea increased by 2,5 °C.

Keywords: Black Sea, sea surface temperature, trends in water temperature variability, interannual water temperature variability, seasonal variability in sea surface layer temperature.

Fig. 5. Ref. 8.

UDC 551.465

Characteristics of the thermohaline regime in the Sea of Azov in the recent decades. Vorontsov A.A., Bulygin A.M., Bataalkina S.A., Nefedova G.I. Proceedings of RIHMI-WDC. 2024. N 192. P. 152 – 166.

The article examines the characteristics of changes in the thermohaline regime of sea water in the Sea of Azov. Estimates of temperature and salinity are provided based on data for the entire available period and for the modern climatic period. Positive trends in the temperature and salinity of sea water are shown/ both in the coastal zone of the Sea of Azov, and in the Sea as a whole.

Keywords: Sea of Azov, marine climate, regime of hydrometeorology, sea water temperature, sea water salinity, oceanography, hydrometeorological station.

Fig. 17. Tab. 2. Ref. 11.

UDC 551.465

Wind-wave Regime of the Russian Black Sea Coast in the Modern Period. Vorontsov A.A., Bataalkina S.A., Nefedova G.I. Proceedings of RIHMI-WDC. 2024. N 192. P. 167 – 177.

The article examines the elements of wind and wave regimes in the coastal zone of the Russian sector of the Black Sea. Estimates of wind speed and wave heights are given based on data from hydrometeorological stations for the available period. The trends of recent decades for the wind speed and wave characteristics in the coastal zone of the Black Sea are shown.

Keywords: Black Sea, marine climate, regime of hydrometeorology, wind speed, wave, oceanography, hydrometeorological station.

Fig. 9. Tab. 4. Ref. 7.

UDC 004.6:551.5:004.9

The Technology of Forming a Database of Detailed Meta-descriptions of Storage Objects of Unified State Data Fund. M i k h e e v N . Y u . Proceedings of RIHMI-WDC. 2024. N 192. P. 178 – 187.

This article is devoted to the first results of the trial operation of the AISORI subsystem for the formation and storage of meta-descriptions of hydrometeorological observation files (FSMd).

The main goal of this work is to present the results of primary studies of the state of completeness and quality of the hydrometeorological data fund in order to conduct various types of analysis obtained as part of the trial operation of the created subsystem.

This paper presents: a description of the current state of meteorological electronic arrays of primary observations and the results of the subsystem operation for the formation and storage of meta-descriptions based on the RSDB TMS array.

Keywords: Roshydromet, Unified State Environmental Data Fund (USDF), data description language (DDL), meta-descriptions formation and storage technology, database, data completeness and quality, lack of observations, visualization format errors.

Fig. 6. Ref. 4.

UDC 551.501.771

Change in relative air humidity over European Russia in the period 1966–2023. K u z n e t s o v a V . N . , S h v e t s N . V . Proceedings of RIHMI-WDC. 2024. N 192. P. 188 – 201.

The article presents the results of calculating the climatic change in relative air humidity over European Russia in the period 1966-2023. Humidity trends on the territory in question are considered. Spatial and seasonal inhomogeneity in relative air humidity changes in European Russia is shown.

Keywords: climate, linear trend, relative air humidity, climatic change, European Russia.

Fig. 6. Tab. 2. Ref. 14.

UDC 004.6:551.5:004.9

REGEN-PLUV rain gauge data processing programme. Peretyatko L.O., Shvets N.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2024. N 192. P. 202 – 219.

The paper describes the PLUV-REGEN software that made it possible to simplify the access to precipitation intensity data stored in the meteorological data archive (TMC) of the RIHMI-WDC State Data Fund. The paper describes original data, programme, user interface and the results obtained. The paper provides examples of further application of the results of the programme operation in climate research and in the development of special characteristics of application significance.

Keywords: hydrometeorological data description language (DDL), rain gauge data, data processing.

Fig. 17. Ref. 6.

UDC 551.465.7

Cyclones in the Barents Sea based on ERA5 reanalysis. Viazilova N.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2024. N 192. P. 220 – 231.

A study of extratropical cyclones generated in the area of the Barents and Kara Seas, as well as cyclones entering this area from the other regions of genesis, is presented. The cyclones tracks were calculated based on automated cyclone detection/tracking algorithm based on the 6-hourly MSLP of reanalysis ERA5/ ECMWF for 1979–2022. The spatial distribution of the density of genesis and attenuation of cyclones is analyzed. The features of interannual variability in the number of cyclone centers and cyclone activity index in the winter and summer half of the year in the study region are shown.

Keywords: cyclonic activity, cyclone trajectories, cyclone genesis regions.

Fig. 6. Ref. 20.

UDC 004.91:551

Formation of a Full-Text Database of Legal Acts of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. Kashina I.I., Kuznetsov A.A., Ryabova E.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2024. N 192. P. 232 – 239.

The article discusses the issues of forming a full-text database of legal acts of Roshydromet by means of a database management System developed at Consultant Plus CJSC. The organization of the document preparation process in Roshydromet for uploading to the database is described. The features of document processing during uploading are considered and the services provided to users with remote access to the database of legal acts of Roshydromet are indicated.

Keywords: information system, legal acts, hydrometeorology, environmental monitoring.

Fig. 2. Ref. 3.

UDC 551.557

The Average Wind Speed in the Troposphere Over the Territory of the Russian Federation According to Long-Term Radiosonde Observations. Khokhlova A.V., Timofeev A.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2024. N 192. P. 240 – 251.

The long-term characteristics of wind speed in the troposphere above the boundary layer over the Russian Federation are considered. The average speeds and speed components were determined for the lower troposphere (850–500 hPa layer) and for the upper troposphere (500–300 hPa layer) from long-term radiosonde observations at Russian aerological stations for the period 1978–2022. The spatial distribution of wind speed and its components in these layers is given. It is shown that in the lower troposphere, a decrease in wind speed was mainly observed in this period, while in the upper troposphere there was a predominant increase in wind speed. The values of linear trend coefficients are small.

Keywords: wind, troposphere, climate, radiosonde measurements.

Fig. 4. Tab. 1. Ref. 14.

UDC 551.506.7

Catalog of Radiosonde Data of AEROBUFR and AEROSTAS Data Sets in the Archives of the Unified State Data Fund. Dukhov E.V., Khokhlova A.V., Rudenkova T.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2024. N 192. P. 252–261.

The aerological bank of RIHMI-WDC includes several basic archives. To place information on the availability of data in these archives in the public domain, the web application Catalog of Radiosonde Data has been developed. The application allows you to search for the desired station by various criteria and get brief information on the availability and quality of data.

Keywords: radiosonde data, archive, catalog, open access.

Fig. 6. Ref. 10.

UDC 551.5+556

Physical and Statistical Fundamentals for Forecasting the Changes in Precipitation and River Flow in Russia for the Coming Decades. Sherstyukov B.G., Gnilomedov E.V., Sherstyukov A.B. Proceedings of RIHMI-WDC. 2024. N 192. P. 262–280.

Based on long-term observational data, an analysis of the relationship between the characteristics of the Earth's climate and cyclical changes in the Solar System is analyzed. The series of precipitation observations at meteorological stations, information on river flows and data on the dynamics of the Solar system are used.

The manifestation of the rhythms of cosmic influences on the changes in the following most important climate factors is shown: Earth rotation rate, atmospheric circulation, ocean surface temperature on the main ocean currents, and water temperature at the ocean floor at the junctions of the Earth's lithospheric plates. The long-term changes in atmospheric precipitation turned out to be the consequence of cyclic external influences and changes in the ocean. A method is proposed to identify hidden periodicity in the changes in atmospheric precipitation and their extrapolation for one or two decades into the future.

The discovered patterns of precipitation changes at meteorological stations make it possible to extrapolate precipitation for the next 10–20 years in the territory within the catchment areas of rivers and then calculate the trends of expected river runoff. Using this method, it is possible to calculate both the average values for high water and the average annual runoff values.

Keywords: climate change, precipitation, river runoff, precipitation forecast, river runoff forecast.

Fig. 6. Ref. 15.

Сборник научных трудов

Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Выпуск 192

Подписано к печати 11.12.2024 г. Формат 60×84/16.
Печать офсетная. Печ. л. 17,55. Тираж 300 экз. Заказ № 33.

Отпечатано в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», г. Обнинск, ул. Королёва, 6.