

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
2025

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

Редакционная коллегия

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

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

Секретарь Т.В. Махова

*Члены редколлегии: 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. Б.Г. Шерстюков, к.ф.-м.н. А.В. Хохлова*

В сборнике содержатся статьи, подготовленные сотрудниками ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» по направлениям деятельности института. Рассмотрены вопросы подготовки климатических данных в форматах специализированных массивов, методы и результаты улучшения качества этих массивов. На основе массивов высококачественных данных выполнен анализ изменений климата России, представлены методы и результаты мониторинга климатических переменных. Ряд статей посвящён разработке технологий работы с данными об окружающей природной среде, их предоставления потребителям. Освещены вопросы обеспечения потребителей научно-технической информацией.

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 изменении климата.

This collection contains articles prepared by staff members of the Federal State Budgetary Institution RIHMI-WDC in the institute's areas of activity. It examines the preparation of climate data in specialized dataset formats, as well as methods and results for improving the quality of these datasets. Using high-quality datasets, climate change in Russia is analyzed, and methods and results of climate variables monitoring are presented. A number of articles are devoted to the development of technologies for working with environmental data and its provision to users. Issues related to providing users with scientific and technical information are also covered.

This collection will be useful to a wide range of specialists interested in developing the systems for collection, processing, and archiving of environmental data, and using these to refine understanding of climate structure and climate change.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Мельников Д.А., Алаева О.В., Вязилов Е.Д., Гончуков Л.В.</i> Анализ функционирования Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане в 2014–2024 гг.	7
<i>Воронцов А.А., Булыгин А.М., Нефёдова Г.И., Баталкина С.А.</i> Создание типового унифицированного морского климатического справочника.....	24
<i>Воробьёва Л.Н., Санина А.Т.</i> Воздействие опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений на социально-экономическую систему: региональные особенности	35
<i>Доценко А.А., Нефёдова Г.И.</i> Миграция БД из СУБД Oracle в СУБД PostgreSQL в рамках импортозамещения	47
<i>Воронцов А.А., Баталкина С.А., Нефёдова Г.И.</i> Анализ изменений температуры воды в прибрежных районах неарктических морей России в последние десятилетия	62
<i>Воронцов А.А., Федотовский Ф.С., Баталкина С.А.</i> Характеристики скорости ветра в прибрежных районах Чёрного моря в последние десятилетия....	81
<i>Вязилова Н.А., Вязилов А.Е.</i> О развитии тёплой и холодной фаз Эль-Ниньо — Южного колебания в 2023–2025 гг.....	89
<i>Хохлова А.В.</i> Средние характеристики и тенденции изменчивости количества осадждённой воды в тропосфере по радиозондовым данным российских станций	101
<i>Вязилова Н.А.</i> О циклонической активности на Европейской территории России по данным реанализа NCEP-DOE	109
<i>Финаев А.Ф., Разуваев В.Н.</i> Гомогенизация среднемесячных данных относительной влажности воздуха по метеорологическим станциям России	120
<i>Коршунова Н.Н., Давлетшин С.Г., Трофименко Л.Т.</i> Мониторинг форм облачности на территории России	133
<i>Швец Н.В., Коршунова Н.Н.</i> Исследование максимальной интенсивности осадков на территории России по данным pluviографа.....	148
<i>Кузнецова В.Н., Швец Н.В.</i> Анализ изменений относительной влажности воздуха на арктической территории России за период 1966–2024 гг.	159
<i>Духов Е.В., Хохлова А.В.</i> Программный комплекс для определения климатических условий рассеяния в пограничном слое атмосферы в заданной точке по радиозондовым данным	173
<i>Тимофеев А.А., Хохлова А.В.</i> Краткие справочные сведения о составе массива АЭРОБАФР за 2018–2024 гг.	182

Козлова Л.Ф. Демонстрационный массив характеристик тропопаузы по аэрологическим данным.....	188
Перетягтько Л.О., Михеев Н.Ю. Универсальный модуль для работы с данными формата ЯОД.....	197
Иванушкина И.П., Кашина И.И., Кузнецов А.А. Специфика формирования базы правовых актов Росгидромета на основе СВБД КонсультантПлюс	205
Вязилов Е.Д. Опыт создания промптов для генеративных чат-ботов в области гидрометеорологии	213

CONTENTS

<i>Melnikov D.A., Alaeva O.V., Vyazilov E.D., Gonchukov L.V.</i> Analysis of the functioning of the Unified State System of Information on the World Ocean in 2014–2024	7
<i>Vorontsov A.A., Bulygin A.M., Nefedova G.I., Batalkina S.A.</i> Creation of a standard unified marine climate reference book	24
<i>Vorobyeva L.N., Sanina A.T.</i> The influence of dangerous and unfavorable hydrometeorological weather phenomena on the socio-economic system: regional features	35
<i>Dotsenko A.A., Nefedova G.I.</i> Migration of the database from the Oracle DBMS to the PostgreSQL DBMS within the framework of import substitution	47
<i>Vorontsov A.A., Batalkina S.A., Nefedova G.I.</i> Analysis of changes in water temperature in coastal areas of non-Arctic seas of Russia in recent decades.....	62
<i>Vorontsov A.A., Fedotovskiy F.S., Batalkina S.A.</i> The wind speed characteristics in coastal areas of the Black Sea in recent decades.....	81
<i>Viazilova N.A., Viazilov A.E.</i> On the development of the warm and cold phases of the El Niño — Southern Oscillation in 2023–2025	89
<i>Khokhlova A.V.</i> Average characteristics and trends of variability of the precipitable water amount in the troposphere according to radiosonde data from Russian stations	101
<i>Viazilova N.A.</i> On cyclonic activity in the European territory of Russia based on NCEP-DOE reanalysis data.....	109
<i>Finaev A.F., Razuvayev V.N.</i> Homogenization of mean monthly relative air humidity data from meteorological stations of Russia	120
<i>Korshunova N.N., Davletshin S.G., Trofimenko L.T.</i> Cloud types monitoring in Russia	133
<i>Shvets N.V., Korshunova N.N.</i> Study of maximum precipitation intensity in Russia based on pluviograph data	148
<i>Kuznetsova V.N., Shvets N.V.</i> Analyzing the change in relative air humidity over the Arctic area of Russia in the period 1966–2024.....	159
<i>Dukhov E.V., Khokhlova A.V.</i> A software package for determining the climatic conditions of dispersion in the atmospheric boundary layer in a given location based on radiosonde data.....	173
<i>Timofeev A.A., Khokhlova A.V.</i> Brief background information on the composition of the AERObUFR data archive for 2018–2024.....	182

<i>Kozlova L.F.</i> Demonstration array of tropopause characteristics based on aerological data	188
<i>Peretyatko L.O., Mikheev N.Yu.</i> A universal module for working with data in DDL format	197
<i>Ivanushkina I.P., Kashina I.I., Kuznetsov A.A.</i> Specific features of forming the Legal Acts Database of Roshydromet based on ConsultantPlus DBSS	205
<i>Viazilov E.D.</i> The experience in creating prompts for generative chatbots in hydrometeorology.....	213

УДК 004(075.32)

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЕДИНОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИИ ОБ ОБСТАНОВКЕ В МИРОВОМ ОКЕАНЕ В 2014–2024 ГГ.

**Д.А Мельников^{1*}, О.В. Алаева^{2*}, Е.Д.Вязилов^{3*},
Л.В Гончуков^{4**}**

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

*¹ melnikov@meteo.ru, ² o.alaeva@meteo.ru, ³ vjaz@meteo.ru,
⁴ gonchukovlv@gmail.com*

Введение

Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) — межведомственная информационная система, созданная для интеграции данных о состоянии морской среды и комплексного обеспечения морской деятельности (МД) России (<http://esimo.ru>). Введённая в эксплуатацию 1 января 2014 года, система объединяет 18 центров и 19 поставщиков данных (ПД) [17]. На январь 2025 года по разным причинам не работают ЗАО «ЦНИИМФ», ФГУП «Морсвязьспутник» Минтранса России, ФГБНУ «ВНИРО», ФГУП ЦСМС Росрыболовства, ФГБНИУ СОПС РАН, НЦ ОМЗ Роскосмоса.

Основные задачи системы включают: сбор и анализ информации для решения задач безопасности мореплавания, природопользования и прогнозирования природных явлений [6], предоставление стандартизированных данных государственным органам и участникам МД, взаимодействие с зарубежными информационными системами.

Как распределённая система, ЕСИМО столкнулась с проблемами поддержания работоспособности разнородных компонентов, согласования данных из множества источников и соблюдением

баланса между доступностью информации и требованиями безопасности [7].

Для мониторинга состояния системы используется методика, основанная на платформе Zabbix [8], которая оценивает работоспособность программно-аппаратных комплексов (АПК) через ключевые показатели с формированием ежеквартальных и годовых отчётов.

Цель работы — анализ функционирования ЕСИМО за 2014–2024 гг., выявление эксплуатационных трудностей.

1. Сравнительный анализ систем мониторинга Мирового океана: ЕСИМО и международные аналоги

В международной практике наиболее близкими функциональными аналогами ЕСИМО выступают сеть морских данных (SeaDataNet, <https://cdi.seadatanet.org>), морские сервисы (Copernicus Marine Service, <https://marine.copernicus.eu>) и сеть химических данных (EMODnet, <https://emodnet.eu/en>).

SeaDataNet представляет собой децентрализованную панъевропейскую инфраструктуру, объединяющую данные из 35 стран. Основной акцент в ней сделан на глобальную каталогизацию научных данных. По состоянию на март 2025 года в системе зарегистрировано около 70 тысяч научных рейсов и более 3,6 тысяч исследовательских проектов, охватывающих воды европейских морей и акватории Мирового океана. Система аккумулирует данные более чем с трёх миллионов океанографических станций по европейским морям (<https://www.seadatanet.org/Tools/Catalogues-follow-up>), охватывающие различные дисциплины — от физической океанографии до морской геофизики, используя для мониторинга платформу Nagios, ориентированную на контроль доступности каталогов и обеспечивающая распределённое хранение данных [25].

В отличие от SeaDataNet, система Copernicus Marine Service (CMEMS) ориентирована преимущественно на климатический мониторинг и специализируется на моделировании долгосрочных климатических трендов, таких как изменение уровня моря и трансформация термического режима океанической поверхности.

Техническая реализация CMEMS основана на облачной платформе WEKEO (в рамках сервиса Copernicus DIAS — Data and Information Access Services), предоставляющей доступ к морским экологическим данным и виртуальным средам обработки и анализа [22, 24].

Европейская сеть морских наблюдений и данных EMODnet включает данные из 29 прибрежных стран по семи направлениям: батиметрия, биология, химия, геология, физика, антропогенная деятельность и донные местообитания. EMODnet использует распределённую модель с координацией через специализированные тематические порталы. Контроль качества данных (QC, Quality Control) осуществляется распределёнными методами. EMODnet технологически интегрирована с инфраструктурой SeaDataNet и сервисами Copernicus через облачную платформу WEKEO [23].

Сравнительный анализ функциональных возможностей этих систем (табл. 1) позволяет выделить их специализацию: SeaDataNet обеспечивает доступ к научным каталогам, Copernicus — к спутниковым продуктам, а EMODnet — к многотематическим данным.

Таблица 1

Характеристики платформ морских информационных систем

Критерий	ЕСИМО	SeaDataNet	Copernicus	EMODnet
Архитектура	Единый центр с БИД	Распределённая	Облачная (WEKEO)	Распределённая
Мониторинг	Zabbix (качество, доступность)	Nagios (доступность)	WEKEO (облачный контроль)	Тематические QC-центры
Обратная связь	Персональная	Отсутствует	Ограниченная техподдержка	Общие каналы поддержки
Данные	Ведомственные оперативные	Научные каталоги	Спутниковые продукты	Спутниковые (QC)
География	Моря России / Глобальный охват	Европейские моря	Глобальный охват	Прибрежные зоны ЕС
Интеграция	UNESCO, WMO, EuroGOOS, Проекты по Арктике и Антарктике	EuroGOOS, POGO, ODIP	EMODnet, Argo, SeaDataNet	Copernicus Marine Service

В России в области морской деятельности наиболее высокотехнологичной системой межведомственного взаимодействия является ЕСИМО, преодолевшей системную разобщённость и объединившей 12 министерств и ведомств федеральных органов исполнительной власти (МЧС России, Минобороны России, Минобрнауки России, Минприроды России, Росгидромета, Минпромторга России, Минтранса России, МИД России, Минэнерго России, Росрыболовства, Госкорпорации «Роскосмос») [15]. До её создания морская информация была фрагментирована между разрозненными системами, что затрудняло принятие решений [1, 18].

Архитектурные особенности системы состоят в использовании трёхуровневой сетевой модели с Центральным узлом, региональными узлами: по Северо-Западному федеральному округу и Арктике (далее — СЗА), Дальневосточному Федеральному округу (далее — ДВ) и специализированными порталами для отдельных заказчиков, что обеспечивает гибкость масштабирования и высокую отказоустойчивость. Центральным компонентом системы является База интегрированных данных (БИД), которая автоматически обрабатывает и объединяет информацию. Система распределённых баз данных (СРБД) обеспечивает интеграцию данных через единую нормализованную модель, стандартизированные атрибуты и общие классификаторы, гарантируя согласованность информации от различных поставщиков [2, 14]. Безопасность системы обеспечивается специализированной защищённой телекоммуникационной сетью, единым механизмом регистрации, аутентификации и детальной системой разграничения прав доступа к данным [10, 12].

Особенностью ЕСИМО является система рейтинговой оценки участников по шести критериям (работоспособность узлов, актуальность данных, безопасность и др.). Техническая реализация мониторинга осуществляется средствами Zabbix, фиксирующими доступность информационных ресурсов (ИР) и их актуальность, отклонения от пороговых значений метрик работы системы, указывающих на технические инциденты. Анализ мониторинга отражается в оперативном журнале, системе обратной

связи, которая позволяет учитывать потребности и замечания пользователей [21].

ЕСИМО осуществляет комплексную интеграцию разнородных данных о состоянии Мирового океана, включая оперативные и архивные гидрометеорологические данные (наблюдательные, аналитические, прогностические и климатические), получаемые с космических аппаратов, научно-исследовательских судов, судов добровольных наблюдений, а также с поверхностных и ныряющих буёв. Помимо гидрометеорологической информации, система объединяет отраслевые данные по судоходству, рыболовству, статистике и добыче минерально-сырьевых ресурсов, нормативно-правовые акты, регулирующие МД, и результаты научных исследований [9, 10, 19]. Система реализует интерактивные веб-решения и технологии геоинформационных систем (ГИС), обеспечивающие многослойную картографическую визуализацию, анимацию динамических процессов и инструменты пространственного анализа [3, 4]. Функционал системы позволяет моделировать сценарии для оперативного принятия решений [11, 20].

В отличие от зарубежных научно-ориентированных систем, ЕСИМО интегрирует управленческие и исследовательские функции, обеспечивая межведомственную координацию.

В следующем разделе представлен детальный анализ методики оценки показателей функционирования ЕСИМО.

2. Методика оценки показателей функционирования ЕСИМО

Методика оценки функционирования ЕСИМО [5], регламентированная нормативными документами [16, 18], базируется на шести показателях: работоспособность узлов, актуальность информационных ресурсов, нормативная доступность данных, посещаемость порталов, количество уникальных пользователей и обеспечение прав доступа к ИР. Эти критерии охватывают техническую надёжность системы, качество данных и пользовательскую активность.

Работоспособность узлов оценивает устойчивость инфраструктуры системы, это отношение времени работы системы к общему времени эксплуатации.

Актуальность ИР отражает соответствие данных текущей обстановке. Это доля штатно обновляемых ИР в общем количестве ресурсов.

Нормативная доступность ИР отражает долю свободно расширяемых ресурсов.

Уровень информационного обслуживания отражает активность пользователей: обращения к ИР, просмотры геосервисов, доставки по подписке, использование автоматизированных рабочих мест (АРМ) [13].

Обратная связь с пользователями оценивает эффективность реагирования на замечания.

Обеспечение прав на доступ к ИР оценивает соблюдение регламентов предоставления данных, это доля невыполненных запросов на доступ.

Мониторинг указанных показателей осуществляется средствами Zabbix, включая контроль аппаратно-программных комплексов, посещаемость порталов и загрузку ИР.

Формируемая отчётность включает:

- регулярные отчёты с рейтингами центров и поставщиков данных, анализом работоспособности узлов, доступности ИР, данными посещаемости, обращений к ИР и доставке контента;
- детальную статистику по динамике актуальности ИР, частоте запросов, использованию АРМ, запросы на предоставление ролей доступа и характеристики пользовательской аудитории.

Такая система отчётности позволяет осуществлять комплексный контроль и своевременную коррекцию работы ЕСИМО.

На основании данных технического мониторинга ежеквартально и ежегодно формируются отчёты о функционировании ЕСИМО. Ежеквартальные отчёты содержат анализ текущего состояния системы по четырём направлениям: общие показатели, работоспособность АПК, актуальность и доступность ИР, качество информационного обслуживания. Годовые отчёты дополняются пятым разделом — рейтинговой оценкой центров и поставщиков данных.

Далее представлен анализ результатов функционирования ЕСИМО с 2014 по 2024 год.

3. Результаты функционирования ЕСИМО в 2014–2024 гг.

Динамика средней работоспособности поставщиков данных за анализируемый период отражена на рис. 1. Наблюдается значительная неоднородность значений между организациями.

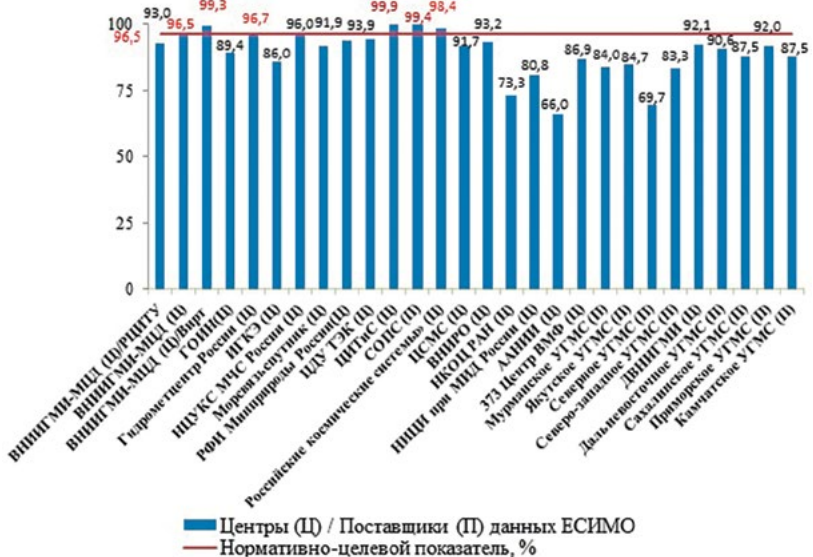


Рис. 1. Динамика средних показателей работоспособности поставщиков данных

Рис. 2 демонстрирует значительные колебания эффективности системы, которые можно разделить на три характерных этапа.

На первом этапе (2014–2017 гг.) Центральный узел демонстрировал успешное внедрение системы, достигая проектных показателей работоспособности на уровне 96,5 % в большинстве организаций. Наибольшая эффективность была зафиксирована в: ФГБУ «ИГКЭ» — 99,0 %, ГП ЦДУ ТЭК — 100 %, ФГУП «НИЦИ при МИД России» — 100 %, ФГБУ «Морсвязьспутник» — 100 %, ФГБУ «РФИ Минприроды России» — 97,7 % и в других организациях.

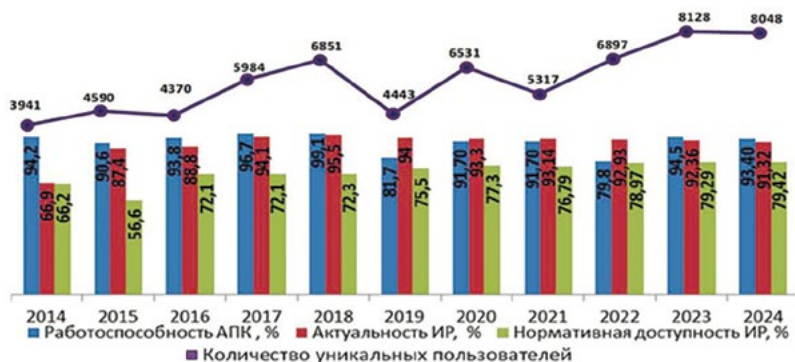


Рис. 2. Динамика основных показателей ЕСИМО

Второй этап (2017–2018 гг.) характеризовался пиковыми показателями работоспособности системы (96,7–99,1 %). В 2019 году снижение до 84,5 % связано с отключением ряда организаций по техническим причинам. Наивысшие результаты сохранили: ГП ЦДУ ТЭК, ФГБНУ «ВНИРО» (100 %), ФГБУ «Морсвязьспутник» (99,9 %), ФГБУ «Минприроды России» (99,7 %). Наибольшие трудности отмечены у ФГБУ «ГОИН» (падение до 48,7 % в 2019 году).

На третьем этапе (2021–2024 гг.) произошла стабилизация работоспособности системы на уровне 91,7–93,4 %. Несмотря на замену оборудования, в 2021 году работоспособность Центрального узла увеличилась незначительно. Наивысшие показатели были зафиксированы у ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» — 97,6 %, ФГБУ «Гидрометцентр России» — 97,5 %.

В 2024 году программный компонент «Поставщик данных Виртуальный» выявил 2565 инцидентов (коэффициент работоспособности $K_1 = 0,95$). Остальные компоненты — База интегрированных данных (БИД), Сервисная шина (СШ), Сервер интеграции (СИ), Геоинформационная система (ГИС) и ПД ВНИИГМИ-МЦД работали стабильно ($K_1 = 0,99$) (табл. 2 и рис. 3).

Основные причины инцидентов — проблемы с выделением оперативной памяти (49,2 %), недоступность БИД (30,4 %).

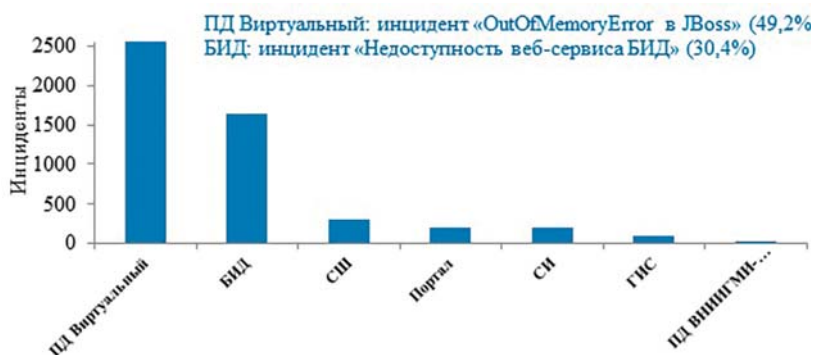
Таблица 2

**Статистика инцидентов и работоспособности программных
компонентов ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (2024 год)**

Компоненты	Тобщ, ч	Траб, ч	Тп/а, ч	N, ед.	K ₁
ПД Виртуальный*	8784,00	8315,00	469,00	2565,00	0,95
БИБ	8784,00	8758,00	26,00	1635,00	0,99
СШ	8784,00	8736,00	48,00	209,00	0,99
Портал	8784,00	8770,00	14,00	166,00	0,99
СИ	8784,00	8712,00	72,00	165,00	0,99
ГИС	8784,00	8731,00	92,00	9,00	0,99
ПД ВНИИГМИ-МЦД	8784,00	8670,00	113,00	6,00	0,99
Среднее значение					0,99

Примечание: * включает 8 организаций: ФГБУ «АГЦМС», «ДЦГМС», «КЦГМС», «СЦГМС ЧАМ», ФГУП «ВНИИ Центр», ФГБУ НИЦ «Планета», НПО «Тайфун», РТУ МИРЭА.

Обозначения: Тобщ — общее время (ч); Траб — доступность (ч); Тп/а — недоступность (ч); N — инциденты; K₁ — коэффициент работоспособности.



*Рис. 3. Распределение инцидентов узла ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»
по программным компонентам (2024 г.)*

Все мероприятия 2024 года по поддержанию непрерывности функционирования ЕСИМО, включая оперативные (восстановление данных) и стратегические (резервирование мощностей)

решения, зафиксированы в официальном Журнале мониторинга ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Согласно анализу журнальных записей [19], для достижения требуемого уровня надёжности системы необходимы: модернизация аппаратных ресурсов, автоматизация контроля сетевой инфраструктуры и оптимизация процедур аварийного восстановления.

Региональный мониторинг зафиксировал значительное снижение работоспособности узла по Северо-Западному федеральному округу и Арктике: с 96,7–98,6 % (2014–2017 гг.) до 76,2 % (2024 год). Критическое падение ниже 60 % наблюдалось в Мурманском и Якутском УГМС. Технический анализ установил, что основной причиной стали сбои прокси-сервера Zabbix, который в 2025 году был переведён в пассивный режим, сократив функциональность мониторинга до базового контроля через веб-интерфейс. В настоящий момент сервер работает без сбоев.

В узле по Дальневосточному федеральному округу средний показатель работоспособности составил 91 % (2014–2017 гг.). Наиболее стабильные результаты показали ФГБУ «ДВНИГМИ» (92,2 %) и ФГБУ «Приморское УГМС» (93,3 %). ФГБУ «Камчатское УГМС» и «Сахалинское УГМС» работали на уровне 87,5–89,1 %. К 2023–2024 гг. узел приблизился к целевому уровню (96,89–7,1 %), демонстрируя положительную динамику в отличие от узла по СЗА.

В январе 2024 года в узле по ДВ (portal.esimo.ferhri.ru) зарегистрированы критические нарушения: отказ аппаратно-программного комплекса ФГБУ «Дальневосточное УГМС», блокировка СИ/СШ ФГБУ «ДВНИГМИ» (инцидент «Агент недоступен более 5 мин»). Данные по работоспособности компонентов представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Коэффициенты работоспособности (K_1) программных компонентов
Дальневосточного узла ЕСИМО, 2024 г.**

Компоненты	К ₁ по кварталам, %				
	1 кв.	2 кв.	3 кв.	4 кв.	Год
БИД ФГБУ «ДВНИГМИ»	99,97	99,56	99,78	99,96	99,81
База данных ФГБУ «ДВНИГМИ»	99,97	99,57	99,78	99,97	99,82

Окончание табл. 3

Компоненты	К ₁ по кварталам, %				
	1 кв.	2 кв.	3 кв.	4 кв.	Год
ГИС ФГБУ «ДВНИГМИ»	99,97	99,56	99,79	99,97	99,82
ПД ФГБУ «ДВНИГМИ»	99,97	99,57	99,76	99,95	99,80
ПД ФГБУ «Приморский УГМС»	99,98	99,56	99,76	99,97	99,81
ПД ФГБУ «Дальневосточное УГМС»	5,39	0,00	0,00	0,03	1,16
Портал ФГБУ «ДВНИГМИ»	99,96	99,56	99,68	98,30	99,34
Провайдер идентификации РИТУ ДВ ЕСИМО	99,98	99,56	99,77	99,96	99,81
СИ ФГБУ «ДВНИГМИ»	99,96	99,56	99,77	99,96	99,81
СШ ФГБУ «ДВНИГМИ»	99,97	99,57	99,78	99,97	99,81
Среднее значение	90,51	89,61	89,79	89,80	89,90

На начальном этапе работы системы (2014–2017 гг.) показатель актуальности информационных ресурсов увеличился с 66,9 до 95,5 % при целевом нормативе 90 %. При этом в Центральном узле лидерами стали: ГП ЦДУ ТЭК (100 %), ФГБНУ «ВНИРО» (99,7–100 %), НЦ ОМЗ «Российские космические системы» (99,9 %). ФГБУ «Гидрометцентр России» (53,8–89,5 %) и ФГБУ «НИЦ «Планета» (46,9 %) показали наименьшие результаты. В узле по СЗА высокие показатели были у ФГБУ «Северо-Западное УГМС» (100 %), «Якутское УГМС» (100 %), «Северное УГМС» (97,3–100 %). В узле по ДВ показали стабильные результаты ФГБУ «Сахалинское УГМС» (100 %), ФГБУ «Камчатское УГМС» (100 %) и ФГБУ «ДВНИГМИ» (97,9 %).

С 2018 по 2024 год средняя актуальность снизилась с 95,5 до 91,32 %. В Центральном узле лучшие результаты у ГП ЦДУ ТЭК (100 %) и ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (92,83 %), худшие — у ФГБУ «НИЦ «Планета» (50,88 %). В узле по СЗА лидируют ФГБУ «Северо-Западное УГМС» (99,84 %) и «Якутское УГМС» (100 %), отстают Калининградский ЦГМС (33,33 %) и ФГБУ «Мурманское УГМС» (82,8 %). В узле по ДВ стабильны ФГБУ «Сахалинское УГМС» (100 %) и ФГБУ «ДВНИГМИ» (95,52 %), тогда как ФГБУ «Приморское УГМС», восстановившись до 47,41 % к 2024 г., не достигло докризисного уровня после падения до 0,25 % в 2020 году.

За период с 2014 по 2024 год общий показатель доступности ИР вырос с 66,2 до 79,42 %. Наибольшую стабильность

демонстрировали организации Центрального узла — ФГБУ «Гидрометцентр России» и ФГБУ «НПО «Тайфун»», обеспечившие 100 %-ную доступность данных. Минимальные значения (35 %) зафиксированы у ФГБУ «Краснодарский ЦГМС» и ФГБУ «ЦДУ ТЭК». Среди региональных узлов выделяются Якутское УГМС (100 %) и Северное УГМС (64 %) в узле по СЗА, где средний показатель оказался на 15–20 % ниже, чем в Центральном. Высокие результаты показал узел по ДВ: Сахалинское, Камчатское и Приморское УГМС стабильно поддерживали 100 %-ную доступность на протяжении всего периода наблюдений, что на 20–25 % превышает средние показатели узла по СЗА.

К началу 2025 года зафиксировано более 100 тысяч обращений ко всем информационным данным ЕСИМО. Пользователями при этом в среднем за сутки проводилось «скачивание» информации в объёме более 100 Гбайт. Количество уникальных посетителей увеличилось с 5,9 тыс. в 2017 году до 8,1 тыс. в 2023 году, тогда как обращения к системе снизились со 143,3 до 108,9 тыс./мес. Пик активности зафиксирован в 2021 году: 5,3 тыс. уникальных пользователей при 146,2 тыс. обращений ежемесячно.

Для управления морской деятельностью к 2025 году в ведомствах развёрнуто 64 автоматизированных рабочих мест, включая структуры МЧС, Минтранса, Минприроды и Росгидромета [13, 19]. Среди них наибольшую эксплуатационную нагрузку несут АРМ: «Бассейн реки Амур», «Морская коллегия», «Эксперт», «Каспийская комиссия» и «Арктика».

Анализ статистики загрузок комплексных морских данных в ЕСИМО выявил ключевых поставщиков данных с ежегодным объёмом свыше 100 операций.

1. Гидрометеорологические данные:

- ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (метео- и аэронаблюдения, штормовые предупреждения);
- ФГБУ «Гидрометцентр России» (прогнозы параметров морей для Атлантики, Северного Ледовитого океана);
- ФГБУ «ДВНИГМИ» (прогнозы ветровых характеристик дальневосточных морей, Тихого океана);

- ФГБУ «ААНИИ» (ледовые прогнозы и бюллетени для Арктических морей).

2. Специализированные и технические данные:

- ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН» (экологический мониторинг);

- НПО «Тайфун» (радиационный контроль);

- ГУ НЦУКС МЧС России (прогнозы чрезвычайных ситуаций в акваториях);

- ФГУП «Морсвязьспутник» (мониторинг судов);

- ФГУП «ВНИИ «Центр» (судостроительные данные).

Комплексная оценка организаций-участников по методике, учитывающей основные показатели эффективности ЕСИМО, выявила лидеров и отстающие организации.

ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (19,38 баллов) — лидер по всем параметрам, особенно по качеству обслуживания (95,1 баллов), ФГБУ «Гидрометцентр России» (9,18 баллов), ГУ НЦУКС МЧС России (2,62 балла). Наибольшая доступность данных отмечена у ФГБУ «НПО «Тайфун»», ФГБУ «Камчатское УГМС», ФГБУ «Сахалинское УГМС» (0,31–0,33 по шкале доступности). Наименьшие результаты в рейтинге у ФГБУ «Северное УГМС» (0,7 балла), ФГБУ «Мурманское УГМС» (0,5 балла) и Калининградский ЦГМС (0,08 балла) из-за технических проблем ($K_1 = 0,21–0,22$).

Заключение

Анализ работы ЕСИМО за 2014–2024 гг. показал три основных периода: успешное внедрение (2014–2018 гг.), период снижения эксплуатационных показателей (2019–2022 гг.) и этап стабилизации (2023–2024 гг.).

К основным проблемам ЕСИМО относятся:

1. Устаревание оборудования — эксплуатация свыше пяти-летнего срока привела к падению работоспособности:

- до 30,5 % в узле по Северо-Западному федеральному округу и Арктике;

- до 1,16 % в узле по Дальневосточному федеральному округу.

2. Технические сбои основного поставщика данных ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (2565 инцидентов в 2024 году, коэффициент работоспособности — 0,95).

3. Архитектурные проблемы, включая перегрузку центрального узла по СЗА и несовместимость протоколов передачи данных.

4. Снижение пользовательской активности на 24 % на фоне роста нагрузки на систему.

При этом система демонстрирует высокую эффективность:

- обеспечивает 95,5 % актуальных данных;
- использует систему мониторинга Zabbix;
- применяет оценку качества по шести показателям.

Для дальнейшего улучшения ЕСИМО необходимо:

- обновить устаревшее оборудование;
- унифицировать работу региональных узлов;
- улучшить взаимодействие между компонентами системы;
- повысить надёжность и удобство использования.

ЕСИМО остаётся критически важной системой для морской деятельности России, однако требует дальнейшего развития в соответствии с современными требованиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексахина Л.В.* Информационное обеспечение стратегирования развития морской деятельности // Экономика и управление: теория и практика. 2023. Том 9, № 1. С. 5–13.

2. *Белова К.В.* Применение методов и средств сервис-ориентированной инфраструктуры в технологии интеграции ЕСИМО // Молодой учёный. 2010. № 4 (15). С. 113–116. <https://moluch.ru/archive/15/1354/> (дата обращения: 15.05.2025).

3. *Воронцов А.А., Смирнова Е.В., Лебедева Н.Я., Лебедев Н.Н., Немынов М.П., Гореликова Л. М., Нужденкова Е.М.* Электронный морской атлас — Web-интеграция пространственных ресурсов ЕСИМО // ArcReview. 2011. № 1 (56). <https://arcreview.esri-cis.ru/2011/03/11/electronic-marine-atlas> (дата обращения: 15.05.2025).

4. *Вязилов Е.Д., Дорофеев Е.В., Мельников Д.А., Минков О.А.* Стандартизация форм средств таблично-графического и картографического отображения гидрометеорологической информации. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2023. 126 с.

5. *Вязилов Е.Д., Михайлов Н.Н., Мельников Д.А.* Методика определения интегрального показателя для оценки функционирования центров ЕСИМО // Труды XIX Международной конференции «Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных (DAMDID/ RCDL'2017), Москва, 10–13 октября 2017 года, CEUR-WS, 2017. С. 122–128. <https://www.researchgate.net/publication/321804135> (дата обращения: 15.05.2025).

6. *Вязилов Е.Д., Мельников Д.А.* Повышение осведомлённости руководителей предприятий морской деятельности для адаптации к опасным и экстремальным явлениям // Океанологические исследования. 2024. № 52 (2). С. 169–182. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2024.52\(2\).9](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2024.52(2).9). (дата обращения: 15.05.2025).

7. *Вязилов Е.Д., Михайлов Н.Н.* Интеграция гетерогенных информационных ресурсов в области морской деятельности: информационные, технологические и организационные аспекты // Вычислительные технологии. 2005. Том 10, часть 1: Специальный выпуск. С. 21–29. <https://cyberleninka.ru/article/n/integratsiya-geterogennyh-informatsionnyh-resurovov-v-oblasti-morskoj-deyatelnosti> (дата обращения: 15.05.2025).

8. *Голубничая Е.Ю., Денесюк Н.И.* Мониторинг сети с использованием специализированного программного обеспечения Zabbix // VI Научный форум «Телекоммуникации: теория и технологии» ТТТ-2023. Материалы XXV Международной научно-технической конференции. Казань: Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева (КАИ), 2023. С. 190–191. <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-monitoringa-zabbix> (дата обращения: 15.05.2025).

9. *Горбунова С.П., Кириченко М.А.* Применение информационных ресурсов и технологий ЕСИМО для выявления нарушений правил охраны и использования природных ресурсов на особо охраняемых природных территориях Российской Федерации // Научно-практическая конференция «Россия в десятилетия ООН наук об океане» (24–28 октября 2022 г.). М.: РТУ МИРЭА., 2022. <https://istina.msu.ru/conferences/506364583/> (дата обращения: 15.05.2025).

10. *Землянов И.В.* Современное состояние системы мониторинга морской среды Российской Федерации (обзор) // Океанологические исследования // J. of Oceanological Research. 2024. Том 52, № 2. С. 107–120. <https://jor.ocean.ru/index.php/jor/article/view/1058/858> (дата обращения: 15.05.2025).

11. *Ивкина Н.И., Галаева А.В.* Прогнозирование ветрового волнения на каспийском море с помощью модели swan // Гидрометеорология и экология. 2023. № 2. С. 36–45. <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-vetrovogo-volneniya-na-kaspiyskom-more-s-pomoschyu-modeli-swan> (дата обращения: 15.05.2025).

12. *Концепция* полнофункциональной Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (проект) — нормативный

методический документ, разработанный в рамках подпрограммы «Создание Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане, III этап (2008–2013 гг.)» ФЦП «Мировой океан». [Электронный ресурс]. http://portal.esimo.ru/esimo_static/documents/ts_esimo_2011.pdf (дата обращения: 15.05.2025).

13. Михайлов Н.Н. Облик ЕСИМО — решения, характеристики и основные направления применения и развития // Материалы конференции «Использование средств и ресурсов Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане для информационного обеспечения морской деятельности в Российской Федерации» (ЕСИМО'2012). Обнинск, 25–27 сентября 2012 г. ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. С. 209–217. <https://www.meteorf.gov.ru/press/news/1021/> (дата обращения: 15.05.2025).

14. 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. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38563876> (дата обращения: 15.05.2025).

15. Михайлов Н.Н., Вязилов Е.Д., Воронцов А.А., Мельников Д.А. ЕСИМО — основа информационного обеспечения морской деятельности в России. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2025. 262 с.

16. Морская доктрина Российской Федерации от 31 июля 2022 г. Официальный интернет-портал правовой информации. [Электронный ресурс]. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_423278/fa0bc05bbfb4ba6938de55f929a48759bc575 814. (дата обращения: 15.05.2025).

17. Постановление Правительства РФ № 836 от 29 декабря 2005 г. «Об утверждении Положения о Единой государственной системе информации об обстановке в Мировом океане». [Электронный ресурс]. <https://rulaws.ru/government/Postanovlenie-Pravitelstva-RF-ot-29.12.2005-N-836/> (дата обращения: 15.05.2025).

18. Приказ от 18 ноября 2020 г. № 600 об утверждении методик расчёта целевых показателей национальной цели развития Российской Федерации «Цифровая трансформация». Список изменяющих документов (в ред. Приказа Минцифры России от 14.01.2021 № 9). [Электронный ресурс]. https://portal.eskigov.ru/system/documents/uploads/001/049/696/original/ВПЦТ_Минкомсвязь_России_утверждена_06_09_2021.pdf?1631032252 (дата обращения: 15.05.2025).

19. РД 52.27.881–2019 Руководство по гидрометеорологическому обеспечению морской деятельности. М.: ФГБУ «Гидрометцентр России», 2019. 132 с. https://standartgost.ru/g/%D0%A0%D0%94_52.27.881-2019 (дата обращения: 15.05.2025).

20. *Ростов И.Д., Рудых Н.И.* Ресурсы, технологии и региональные компоненты Государственной системы ЕСИМО для информационного обеспечения морской деятельности и поддержки научных исследований // Вестник Дальневосточного отделения РАН. 2013. № 6. С. 237–244. <https://elibrary.ru/item.asp?id=22936890> (дата обращения: 15.05.2025).
21. *Руководство по обеспечению функционирования Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане.* Рекомендовано МВК по вопросам обеспечения ЕСИМО. Протокол заседания Комиссии от 04.02.2013 г. № 13. [Электронный ресурс]. http://portal.esimo.ru/esimo_static/documents/ts_esimo_2011.pdf. (дата обращения: 15.05.2025).
22. *Холод А.Л.* Обзор продуктов Службы мониторинга морской среды Copernicus, доступных для Арктического региона // Морской гидрофизический журнал. 2017. № 2. С. 28–38. <https://xn-c1agq7a.xn-p1ai/static/assets/files/2017/02/20170204.pdf> (дата обращения: 15.05.2025).
23. *Míguez B.M., Novellino A., Vinci M., Claus S.* The European Marine Observation and Data Network (EMODnet): Visions and Roles of the Gateway to Marine Data in Europe // *Frontiers in Marine Science*. 2019. Vol. 6. P. 1–24. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00313> (дата обращения: 15.05.2025).
24. *Jutz S., Milagro-Pérez M.P.* Copernicus: the European Earth Observation programme European Space Agency, ESA/ESRIN // *REVISTA DE TELEDETECCIÓN*. 2020. N 56. P.V–XI. <https://www.researchgate.net/publication/347209436> (дата обращения: 15.05.2025).
25. *Pecci L., Fichaut M., Schaap D.* SeaDataNet, an enhanced ocean data infrastructure giving services to scientists and society // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2020. 012042. Vol. 509. P. 1–2. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/509/1/012042> (дата обращения: 15.05.2025).

УДК 551.465

СОЗДАНИЕ ТИПОВОГО УНИФИЦИРОВАННОГО МОРСКОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО СПРАВОЧНИКА

**А.А. Воронцов¹, А.М. Булыгин²,
Г.И. Нефёдова³, С.А. Баталкина⁴**

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

¹ av10921@meteo.ru, ² bam524@mail.ru,

³ gin@meteo.ru, ⁴ slim@meteo.ru

Введение

Активное развитие морской деятельности в последнее время требует максимально полного обеспечения разнородной информацией, причём информация нужна не только о текущем гидрометеорологическом состоянии морской среды, но и режимно-климатические характеристики по выбранному водному объекту, и другая справочная информация.

Подготовка и выпуск различной информационной продукции, которая направлена на поддержку научных исследований и разнообразную деятельность в море, началась довольно давно — от бумажных справочных изданий общего назначения до специализированных режимно-справочных пособий в электронном виде.

Современные требования пользователей такого рода информационной продукции изменили представление о справочных изданиях по морской природной среде, а активно развивающиеся компьютерные технологии [1] позволили совместить на функциональном уровне исходную информацию (базы данных), методы и модели, программные средства получения выходной продукции. И сейчас справочники, как правило, — это онлайн информация в Интернет-среде, конкретизированная под задачу или пользователя. Настало время для изменения справочных изданий в сторону унификации не только для различных потребителей, но и унификации представления информационной продукции.

Создание типового унифицированного справочника

В продолжение развития справочных изданий по морской природной среде была рассмотрена идея подготовки нового справочника в виде типового унифицированного морского климатического справочника, главная цель которого — повысить эффективность информационного обеспечения морской деятельности [2].

Надо отметить, что ранние издания [3–5] в бумажном виде (морские гидрометеорологические ежемесячники и ежегодники, специализированные справочные пособия по гидрометеорологии и гидрохимии шельфа морей РФ, научно-прикладные справочники по климату страны, книги по климатическому описанию морей) отличались довольно большим разнообразием не только по набору характеристик, но и по масштабам обработки исходной информации. Методология и алгоритмы обработки исходных данных для этих справочных изданий были основаны на реализации ведомственных нормативных документов или на разных авторских решениях.

Практическая реализация морских справочников в целом основана на ряде информационных, функциональных и технологических требований.

Во-первых, это максимально возможное использование всех доступных источников для формирования базы данных с полноценной информационной полнотой. И получаемая на основе баз данных информационная продукция должна максимально полно удовлетворять запросам потребителей при решении их задач.

Во-вторых, с точки зрения функциональности, морской справочник должен будет поддерживать информационное обеспечение научных исследований и морской деятельности в заданном объекте с учётом всех аспектов специфики выполняемых работ (судоходство, аварийно-спасательные операции, портовое строительство, портовая деятельность, включая логистику грузов и др.).

Естественно, работа пользователя с интерактивным справочником должна основываться на интуитивно понятном интерфейсе.

Именно на основе всех вышеперечисленных основных требований были разработаны стартовые решения по реализации

морских справочников на основе ГИС/СУБД/Интернет-технологий для получения комплексной информации о состоянии природной среды и обеспечения потребителей более мобильными справочными пособиями. Для получения климатических (режимно-справочных) характеристик по морям России и ключевым районам Мирового океана была разработана базовая технология, предназначенная для получения регламентированной обобщённой и справочной информации на основе распределённой интегрированной базы исходных данных (материалы наблюдений на прибрежных станциях и постах, в открытом море на научно-исследовательских и попутных судах, данных буйковых измерений), которая была трансформирована в специализированные базы данных по гидрометеорологическим условиям морской среды [6, 7].

И, поскольку эта технология должна была поддерживать весь цикл проведения комплексной обработки данных по морской природной среде — от усвоения данных в базе до получения выходной продукции, то её функциональность должна быть ориентирована на выполнение ряда технологических этапов: комплексный контроль данных, формирование таблиц базы данных, выполнение расчётов, получение метаинформации, получение выходной продукции в табличном и графическом видах, создание тематических электронных карт по гидрометеорологическим параметрам. Вся технология организована в виде отдельных независимых компонент для упрощения управления её работой.

На основе этой технологии были подготовлены новые справочные пособия как квазиоперативного [8], так и климатического [9] плана. Для получения режимных статистических характеристик использованы различные алгоритмы как из классической статистики [10] (средние арифметические и экстремальные значения, оценки повторяемости и обеспеченности элементов по градациям, параметры распределения: СКО, дисперсия, коэффициенты асимметрии и эксцесса и др.), так и алгоритмы обработки малых выборок [11] (квантильная пятичисловая сводка, трёхсреднее значение, размах и др.).

Вышеуказанная технология позволила получить серию морских электронных справочников нового поколения в виде морских атласов «Климат морей России и ключевых районов Мирового океана», доступных в Интернет (<http://www.esimo.ru/atlas/>), и морских справочников по Чёрному, Азовскому, Карскому, Каспийскому морям (расположены на портале Единой информационной системы об обстановке в Мировом океане в разделе [http://www.esimo.ru/atlas/spravochnik_*](http://www.esimo.ru/atlas/spravochnik_*.)). В общем, эти режимно-справочные пособия содержат сведения о климатических характеристиках морской среды, которые были получены по отечественным и зарубежным данным, накопленным в Государственном фонде ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» за многолетний временной период. В состав параметров морского атласа были включены температура и солёность морской воды, плотность, содержание кислорода, скорость звука, температура воздуха, скорость ветра, уровень моря, высота ветровых волн.

При развитии справочных пособий и подготовке унифицированных справочников было принято формировать эти пособия в виде расчётнонезависимых разделов (табл. 1).

Таблица 1

Фрагмент структуры типового справочника

Раздел	Подраздел	Параметр
Метеорология	Ветер	Характеристики ветра в прибрежной зоне Характеристики ветра в открытом море
- " -	Температура воздуха	Характеристики температуры воздуха в прибрежной зоне Характеристики температуры воздуха в прибрежной зоне
- " -	Атмосферное давление	Характеристики атмосферного давления в прибрежной зоне Характеристики атмосферного давления в открытом море
- " -	Горизонтальная видимость	Характеристики видимости в прибрежной зоне Характеристики видимости в открытом море
Гидрология	Уровень моря	Характеристики уровня моря в прибрежной зоне
Гидрофизика	Солёность воды	Характеристики солёности в прибрежной зоне Характеристики солёности в открытом море

Продолжение табл. 1

Раздел	Подраздел	Параметр
Гидрофизика	Температура воды	Характеристики температуры воды в прибрежной зоне Характеристики температуры воды в открытом море
Гидрофизика	Плотность воды	Характеристики плотности воды в открытом море
Гидрофизика	Скорость звука	Характеристики скорости звука в открытом море
Гидрофизика	Устойчивость	Характеристики устойчивости в открытом море
Лёд	Ледовые условия	Ледовые условия в прибрежной зоне
Гидрохимия	Содержание кислорода	Характеристики кислорода в открытом море
- " -	Общий фосфор	Характеристики общего фосфора в открытом море
- " -	Фосфаты	Характеристики фосфатов в открытом море
- " -	Нитраты	Характеристики нитратов в открытом море
- " -	Нитриты	Характеристики нитритов в открытом море
- " -	Щёлочность	Характеристики щёлочности в открытом море
- " -	pH	Характеристики pH в открытом море
- " -	Аммонийный азот	Характеристики аммонийного азота в открытом море
- " -	Сероводород	Характеристики сероводорода в открытом море
Загрязнение	Нефть в воде	Характеристики загрязнителя в открытом море
- " -	Фосфор органический	Характеристики загрязнителя в открытом море
- " -	Нефть в грунте	Характеристики загрязнителя в открытом море
- " -	Фенол	Характеристики загрязнителя в открытом море
- " -	Детергенты	Характеристики загрязнителя в открытом море
- " -	Свинец	Характеристики загрязнителя в открытом море
- " -	Медь	Характеристики загрязнителя в открытом море
- " -	Железо общее	Характеристики загрязнителя в открытом море
- " -	Мышьяк	Характеристики загрязнителя в открытом море
- " -	ДДТ	Характеристики загрязнителя в открытом море
- " -	ДДЭ	Характеристики загрязнителя в открытом море
- " -	ДДД	Характеристики загрязнителя в открытом море

Окончание табл. 1

Раздел	Подраздел	Параметр
- " -	ДДЕ	Характеристики загрязнителя в открытом море
- " -	Гамма ГХЦГ	Характеристики загрязнителя в открытом море
- " -	метафос	Характеристики загрязнителя в открытом море
- " -	полихлорбифенилы	Характеристики загрязнителя в открытом море
- " -	альфа ГХГЦ	Характеристики загрязнителя в открытом море
- " -	альдрин	Характеристики загрязнителя в открытом море
- " -	цинк	Характеристики загрязнителя в открытом море
- " -	кадмий	Характеристики загрязнителя в открытом море
- " -	кобальт	Характеристики загрязнителя в открытом море
- " -	серебро	Характеристики загрязнителя в открытом море
- " -	гептахлор	Характеристики загрязнителя в открытом море

Внутри справочника для каждого параметра определена общепринятая характеристика, для которой рассчитываются и приводятся справочные данные (табл. 2)

Таблица 2

Используемые характеристики в типовом справочнике

Параметр	Характеристика
Метеопараметр (ветер, давление, видимость)	Используемые материалы
- " -	Экстремумы за многолетний период
- " -	Экстремумы за выбранный период
- " -	Стандартная статистика за многолетний период по месяцам, сезону, году
- " -	Стандартная статистика за выбранный период по месяцам, сезону, году
- " -	Статистика малых выборок за многолетний период по месяцам, сезону, году
- " -	Статистика малых выборок за выбранный период по месяцам, сезону, году
- " -	Тематические карты для открытого моря по месяцам
Метеопараметр (температура воздуха)	Используемые материалы
- " -	Многолетний ход по месяцам

Продолжение табл.2

Параметр	Характеристика
- " -	Экстремумы за многолетний период
- " -	Экстремумы за выбранный период
- " -	Стандартная статистика за многолетний период по месяцам, сезону, году
- " -	Стандартная статистика за выбранный период по месяцам, сезону, году
- " -	Статистика малых выборок за многолетний период по месяцам, сезону, году
- " -	Статистика малых выборок за выбранный период по месяцам, сезону, году
- " -	Повторяемость
- " -	Обеспеченность
- " -	Редкая обеспеченность
- " -	Аномалии за многолетний период
- " -	Аномалии за выбранный период
- " -	Переход температуры через 0°C за многолетний период
- " -	Характеристики холодных пятидневок за многолетний период
- " -	Тематические карты для открытого моря по месяцам
Гидрологический параметр (уровень моря)	Используемые материалы
- " -	Экстремумы за многолетний период
- " -	Экстремумы за выбранный период
- " -	Стандартная статистика за многолетний период по месяцам, сезону, году
- " -	Стандартная статистика за выбранный период по месяцам, сезону, году
- " -	Статистика малых выборок за многолетний период по месяцам, сезону, году
- " -	Статистика малых выборок за выбранный период по месяцам, сезону, году
- " -	Повторяемость и обеспеченность уровня
- " -	Редкая обеспеченность среднего уровня
- " -	Редкая обеспеченность максимального уровня
- " -	Редкая обеспеченность минимального уровня
- " -	Редкая обеспеченность среднего уровня за навигационный период

Продолжение табл. 2

Параметр	Характеристика
- " -	Редкая обеспеченность максимального уровня за навигационный период
- " -	Редкая обеспеченность минимального уровня за навигационный период
Гидродинамический параметр (волнение)	Используемые материалы
- " -	Экстремумы за многолетний период
- " -	Экстремумы за выбранный период
- " -	Стандартная статистика за многолетний период по месяцам, сезону, году
- " -	Стандартная статистика за выбранный период по месяцам, сезону, году
- " -	Статистика малых выборок за многолетний период по месяцам, сезону, году
- " -	Статистика малых выборок за выбранный период по месяцам, сезону, году
- " -	Повторяемость и обеспеченность высот волн
- " -	Редкая обеспеченность среднего уровня
- " -	Редкая обеспеченность высот волн
- " -	Тематические карты высот волн
Гидрофизический параметр (температура воды, солёность воды, плотность воды, скорость звука, устойчивость)	Используемые материалы
- " -	Экстремумы за многолетний период
- " -	Экстремумы за выбранный период
- " -	Стандартная статистика за многолетний период по месяцам, сезону, году
- " -	Стандартная статистика за выбранный период по месяцам, сезону, году
- " -	Статистика малых выборок за многолетний период по месяцам, сезону, году
- " -	Статистика малых выборок за выбранный период по месяцам, сезону, году

Окончание табл. 2

Параметр	Характеристика
Гидрохимический параметр (содержание кислорода, общий фосфор, фосфаты, нитраты, нитриты, щёлочность, рН, аммонийный азот, сероводород)	Используемые материалы
- " -	Экстремумы за многолетний период
- " -	Экстремумы за выбранный период.
- " -	Стандартная статистика за многолетний период по месяцам, сезону, году
- " -	Стандартная статистика за выбранный период по месяцам, сезону, году
- " -	Статистика малых выборок за многолетний период по месяцам, сезону, году
- " -	Статистика малых выборок за выбранный период по месяцам, сезону, году
- " -	Тематические карты для открытого моря по месяцам и по горизонтам
Загрязнение (нефть в воде, фосфор органический, нефть в грунте, фенол, детергенты, свинец, медь, ртуть, железо общее, мышьяк, ДДТ, ДДЭ, ДДД, ДДЕ, гамма-ГХЦГ, метафос, полихлорбифенилы, альфа-ГХЦГ, альдрин, цинк, кадмий, кобальт, серебро, гептахлор)	Используемые материалы
- " -	Экстремумы за многолетний период
- " -	Экстремумы за выбранный период
- " -	Стандартная статистика за многолетний период по месяцам, сезону, году
- " -	Стандартная статистика за выбранный период по месяцам, сезону, году
- " -	Статистика малых выборок за многолетний период по месяцам, сезону, году
- " -	Статистика малых выборок за выбранный период по месяцам, сезону, году

Разработка типового интерактивного справочника должна быть основана на интерактивной работе со связанной базой данных справочника, при этом любые изменения базы данных должны быть тут же отражены в выходной продукции по принципу: изменения в базе — синхронные изменения в справочнике.

В заключение отметим, что применение различных электронных справочников, включая новое издание — типовой унифицированный морской климатический справочник, становится одним из обязательных и важнейших условий успешного выполнения всех задач, так или иначе связанных с морской деятельностью.

Дополнительно укажем, что распоряжением Правительства РФ № 2205-р от 08.12.2010 г. была утверждена Стратегия развития морской деятельности в России до 2030 года, в которой среди основных проблем и рисков работ в море был отмечен недостаточный уровень развития информационного обеспечения морской деятельности.

Создание типового унифицированного морского климатического справочника в интерактивной реализации должно повысить уровень информационного обеспечения морской деятельности в различных областях: безопасности мореплавания, защиты морской среды от загрязнения с судов, гидрометеорологической безопасности работ по освоению месторождений минеральных и энергетических ресурсов на шельфе морей РФ, в управлении рациональным морским природопользованием, а также в поддержке научных исследований по региону исследований и работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поткина Е.С., Холопова Л.А. Развитие информационных технологий // Концепт. 2014. Спецвыпуск № 09. URL: <http://e-koncept.ru/2014/14612.htm> (дата обращения: 30.06.2025).
2. Воронцов А.А., Степаненко С.Р. О развитии обслуживания гидрометеорологической информацией // Актуальные вопросы современной науки. 2013. С. 15–26.
3. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Т. 3: Азовское море. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 218 с.

4. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР*. Т. V: Азовское море. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 237 с.
5. *Climatic Atlas of the Sea of Azov 2008* / G. Matishov, S. Levitus (Eds.). Washington D.C.: NOAA Atlas NESDIS 65. U.S. Government Printing Office. 2008. 148 p.
6. *Воронцов А.А., Баталкина С.А., Нефёдова Г.И.* Специализированная база данных по гидрометеорологическим условиям прибрежной зоны морей России // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023623536 от 19.10.2023 г.
7. *Воронцов А.А., Нефёдова Г.И., Баталкина С.А.* База океанографических данных по морям РФ для оценки современного климата // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 202362334 от 04.10.2023 г.
8. *Дьяков Н.Н., Булыгин А.М., Липченко А.Е., Любецкая Т.В., Мальченко Ю.А., Мезенцева И.В., Копейкина Т.Н., Белогудов А.А., Воронцов А.А., Баталкина С.А., Нефёдова Г.И., Эмина Л.А.* Бюллетень гидрометеорологического состояния Чёрного и Азовского морей в 2022 году. ISBN 978-5-6048661-7-7. Обнинск: Изд-во «Артифекс» — Ижевск: ООО «Принт». 2023. 198 с.
9. *Воронцов А.А., Нефёдова Г.И., Баталкина С.А., Булыгин А.М.* Морской климатический справочник по Чёрному морю // <http://www.esimo.ru/atlas/spravochnik> (дата обращения: 09.12.2024).
10. *Руководящие указания ВМО по расчёту климатических норм* // ВМО. № 1203. 2017. 32 с.
11. *Рожков В.А.* Теория и методы статистического оценивания случайных величин и функций с гидрометеорологическими примерами. В 2-х кн. СПб.: Гидрометеоиздат, 2001–2002. 998 с.

УДК 551.582.2

ВОЗДЕЙСТВИЕ ОПАСНЫХ И НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ: РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Л.Н. Воробьёва¹, А.Т. Санина²

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

Введение

Обеспечение устойчивого социального и экономического развития страны требует учёта всех влияющих на неё факторов, в том числе факторов природной среды. В последние десятилетия усиливается воздействие неблагоприятных условий погоды на социально-экономическую систему во всём мире и в России. Влияние погоды и климата на различные отрасли экономики и социальную сферу жизни населения и общества в целом приводит к существенным потерям, которые хорошо известны по оценкам, выполненным ВМО, Мюнхенской Компанией перестрахования (Munich Re), по сведениям национальных гидрометеорологических служб различных стран, а также по исследованиям Росгидромета [1–5]. Согласно данным, представленным ВМО, за период с 1970 по 2019 г. произошло более 11 000 бедствий, произошедших в результате опасных явлений, связанных с погодой, климатом и водой, в результате чего погибло чуть более двух миллионов человек и был нанесён ущерб в размере 3,64 триллиона долларов США. Размер потерь за период с 2010 по 2019 г. в 7,8 раза превышает потери за период с 1970 по 1979 год [6].

Российская Федерация расположена на обширной территории, занимающей восточную часть Европы и северную часть Азии, для которой характерно разнообразие географических, климатических и гидрометеорологических условий. Вследствие этого социальная и экономическая деятельность России существенно

зависит от влияющих на неё природных факторов. Так, по данным МЧС, в 2023 году на долю ЧС природного характера пришлось 30 % от общего числа ЧС, материальный ущерб от природных ЧС составил 19,3 млрд рублей [7].

Широкое разнообразие природных явлений и условий погоды обуславливает необходимость учитывать их во всех видах деятельности человека. Росгидромет ведёт наблюдения более чем за тридцатью метеорологическими, агрометеорологическими, гидрологическими, морскими и гелиогеофизическими опасными явлениями, составляет прогнозы и передаёт их в интересах всех пользователей и заинтересованных лиц с целью проведения ими защитных мероприятий и, следовательно, сокращения социально-экономического ущерба.

Особенности географического положения страны, синоптических процессов и значительное разнообразие климатических условий способствуют частому образованию стихийных гидрометеорологических явлений и обуславливают характер их распределения в пространстве и времени. Необходимо отметить, что для каждого региона присущ свой набор опасных гидрометеорологических явлений, которые имеют наибольшее воздействие на социально-экономическую сферу общества. Концентрация опасной погоды имеет неравномерный характер, следовательно, и воздействие её на отдельные регионы страны может проявляться с разной степенью опасности — сильнее или слабее.

В первом разделе данной статьи приводится анализ статистики воздействия опасных явлений (ОЯ) и неблагоприятных гидрометеорологических явлений (НГЯ) погоды, нанёсших ущерб с 1991 по 2024 год, по группам явлений для всех субъектов РФ.

Субъекты Российской Федерации, ущерб по которым включён в базу «Сведения об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях, которые нанесли материальный и социальный ущерб на территории России» входят в восемь федеральных округов (ФО): Центральный ФО, Северо-Западный ФО, Приволжский ФО, Южный ФО, Северо-Кавказский ФО, Дальневосточный ФО, Сибирский ФО, Уральский ФО.

Во втором разделе статьи рассмотрены региональные особенности воздействия ОЯ и НГЯ, показана динамика их распространения в отдельно взятых субъектах, их распределение по группам явлений и отраслям экономики для каждого ФО за последние 20 лет. Для получения и анализа статистических данных по каждому ФО отобраны субъекты, в которых наблюдалось наибольшее количество ОЯ и НГЯ, нанёсших ущерб экономическому и социальному развитию страны по сравнению с другими субъектами, входящими в этот ФО.

Всего ФО — 8, следовательно, исследуемых субъектов — 8: Краснодарский край (Южный ФО); Алтайский край (Сибирский ФО); Сахалинская область (Дальневосточный ФО); Ставропольский край (Северо-Кавказский ФО); Самарская область (Приволжский ФО); Челябинская область (Уральский ФО); Воронежская область (Центральный ФО); Мурманская область (Северо-Западный ФО).

1. Основные результаты статистического анализа воздействия опасных гидрометеорологических явлений с зафиксированным ущербом на территории РФ

Статистика воздействия опасных гидрометеорологических явлений с зафиксированным ущербом на территории РФ представлена на основании анализа сведений базы данных «Сведения об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях, которые нанесли материальный и социальный ущерб на территории России» (Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019621326), которая ведётся в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» с 1997 года по настоящее время. Структура и содержание базы данных определены в руководящих документах и методических указаниях Росгидромета [8, 9] и приведены в статьях авторов [10, 11].

Статистические данные по воздействию ОЯ и НГЯ на социально-экономическую систему за разные периоды публиковались многократно, при этом использовались понятия, которые сформулированы в [12]:

1. 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 ОЯ и НГЯ наблюдается в течение длительного периода времени (например атмосферная засуха продолжительностью несколько месяцев), это также фиксируется как один случай.

2. Количество ОЯ и НГЯ, воздействующих на социально-экономическую систему. Если в рассматриваемом случае воздействия наблюдается несколько опасных гидрометеорологических явлений и неблагоприятных явлений погоды, учитываются только те из них, интенсивность и продолжительность которых достигает 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 представлен многолетний ряд количества опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений погоды, нанёсших ущерб экономике и населению страны за период 1991–2024 гг., и тенденция частоты их появления. Выявленная тенденция (линейный тренд) носит положительный характер — по мере продолжения ряда наблюдается рост частоты появления опасных явлений.

Рис. 2 наглядно демонстрирует неравномерное распределение по всей территории РФ опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений, нанёсших экономические и социальные потери субъектам РФ с 1991 по 2024 год. Наибольшее количество (более 700) ОЯ и НГЯ нанесли ущерб в Краснодарском, Алтайском и Красноярском краях (1009, 912 и 775 ОЯ соответственно). От 500 до 700 ОЯ и НГЯ нанесли ущерб в шести регионах РФ: Республика Северная Осетия – Алания (547), Кемеровская область (570), Забайкальский край (570), Ставропольский край (600), Сахалинская область (624), Новосибирская область (638). От 300 до 500 ОЯ и НГЯ нанесли ущерб в 16 субъектах РФ. От 300 до 200 ОЯ и НГЯ

наблюдалось в 18 субъектах и менее 200 ОЯ и НГЯ — в 39 субъектах РФ.

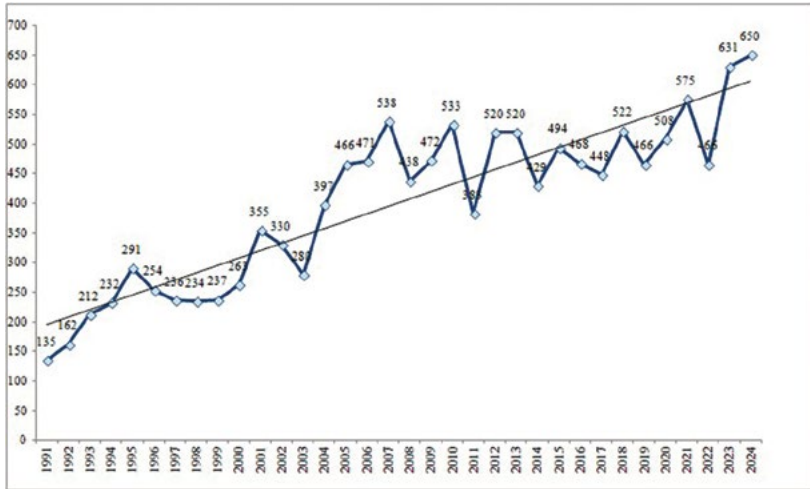


Рис. 1. Количество ОЯ и НГЯ, нанёсших социально-экономические потери на территории РФ за период с 1991 по 2024 г.

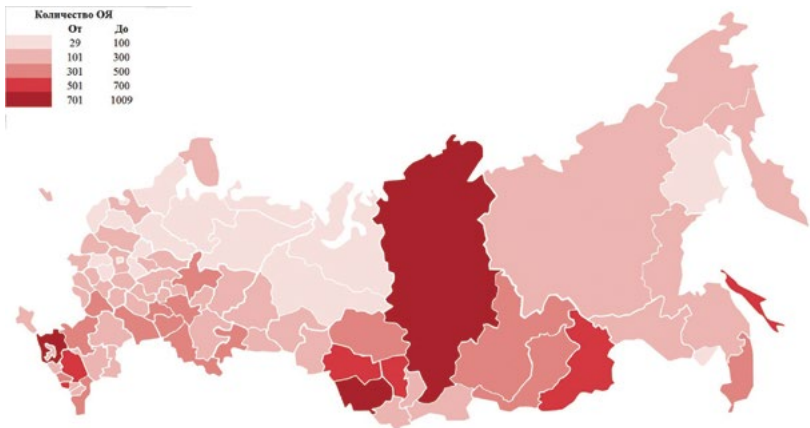


Рис. 2. Распределение количества ОЯ и НГЯ, нанёсших социально-экономические потери с 1991 по 2024 г. по субъектам РФ

Анализ данных показал большой разброс общего количества опасных гидрометеорологических явлений среди всех субъектов РФ. Например, в Ненецком АО произошло наименьшее количество ОЯ, нанёсших ущерб (29), а в Краснодарском крае — наибольшее количество ОЯ и НГЯ. Это можно объяснить отличием у этих двух субъектов территориальных, административных (Ненецкий АО является самым малонаселённым субъектом) и географических особенностей. Поэтому интересно было бы рассмотреть динамику и оценить характер наблюдавшихся ОЯ по территориям конкретных субъектов с наибольшим количеством ОЯ и НГЯ, нанёсших социальные и экономические потери.

Как и в предыдущих исследованиях по ОЯ, приводящих к социальным и экономическим потерям, было проведено объединение явлений, имеющих одинаковый характер воздействия на природу и наносящих похожий ущерб в 10 группах: Ветер, Снег, Дождь, Жара+Мороз, Природные пожары, Наводнения, Агрометеорология, Лавины и сели, Гидрология, Комплекс неблагоприятных явлений (КНЯ), и проанализирована частота появления каждой из групп (как одного ОЯ) [10].

Как видно из рис. 3, наиболее многочисленными по количеству опасных явлений с ущербом за весь период (1991–2024 гг.) оказались группы Ветер, Дождь, КНЯ, Наводнения.

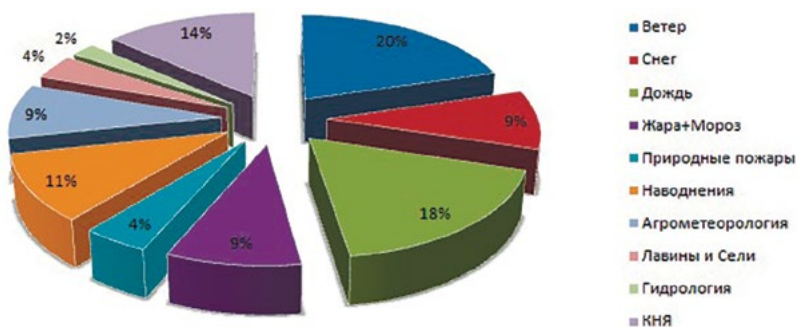


Рис. 3. Вклад каждой группы ОЯ и НГЯ в нанесённый ущерб с 1991 по 2024 г.

2. Результаты статистического анализа воздействия опасных гидрометеорологических явлений на примере отдельных субъектов

Задачами настоящего раздела являются демонстрация результатов анализа воздействия ОЯ и НГЯ, нанёсших социально-экономический ущерб в восьми отобранных субъектах для каждого федерального округа. Эти субъекты были выбраны из общего списка субъектов по каждому ФО, в котором было наибольшее количество ОЯ и НГЯ, нанёсших ущерб за последние 20 лет (с 2005 по 2024 г.). Этот период выбран не случайно и связан с более подробным и единым подходом к учёту количества ОЯ и НГЯ. Ниже перечислены отобранные субъекты с количеством произошедших ОЯ и НГЯ:

Краснодарский край — 790;
Алтайский край — 673;
Сахалинская область — 408;
Ставропольский край — 453;
Самарская область — 327;
Челябинская область — 242;
Воронежская область — 268;
Мурманская область — 109.

На рис. 4 показана тенденция изменения частоты появления ОЯ на территориях выбранных субъектов за период 2005–2024 г. Анализ линейных трендов рассматриваемых субъектов РФ показал, что они не имеют явно выраженных тенденций, но можно выделить некоторые периоды с наибольшим количеством ОЯ.

На рис. 5 в виде диаграммы показан вклад (в количественном соотношении) каждой группы опасных явлений в общее число ОЯ и НГЯ с ущербом в каждом из этих восьми субъектов за последние двадцать лет.

Как видно из рис. 5, наиболее частое воздействие на выбранные регионы оказывают следующие группы явлений: КНЯ, Ветер, Дождь, Снег, Агрометеорология. Но есть и региональные особенности. Так, наибольшее количество случаев воздействия группы Снег зафиксировано в Сахалинской области (более 38 % всех ОЯ

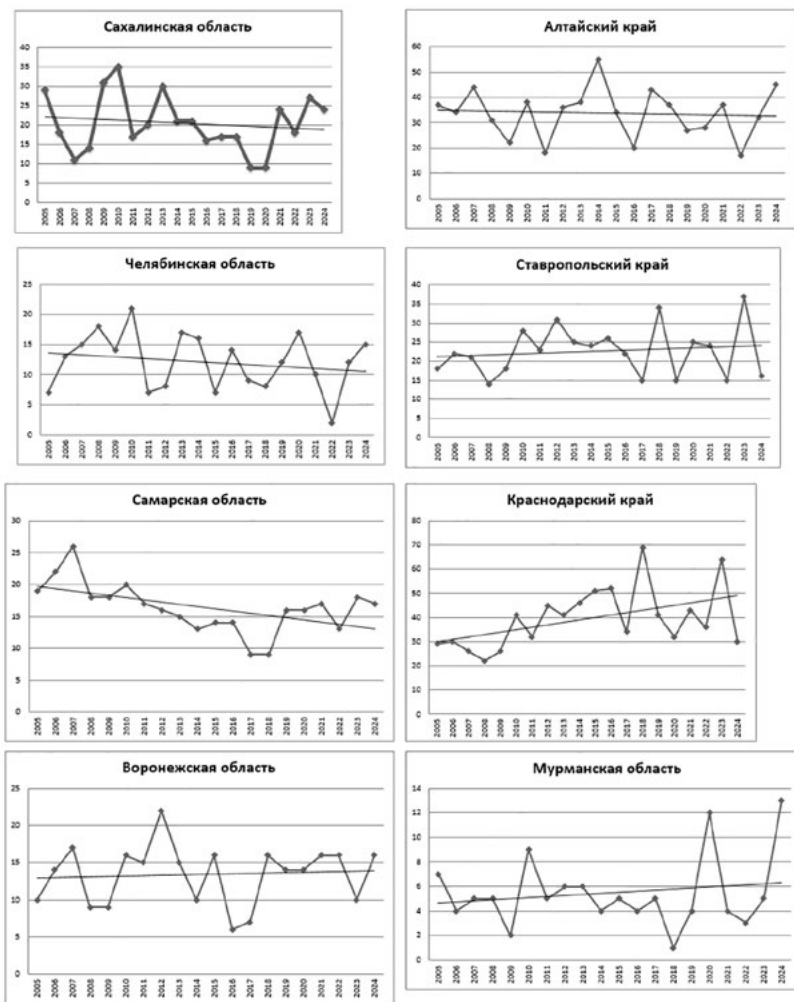


Рис. 4. Тенденция изменения количества ОЯ и НГЯ с ущербом за 2005–2024 гг. по 8 субъектам РФ

по региону). Наибольшее количество случаев групп КНЯ, Ветер, Агрометеорология выявлено в Алтайском крае. В Челябинской области чаще всего ущерб наносился группами Дождь, Ветер, Жара+Мороз. Субъекты, расположенные на юге Европейской

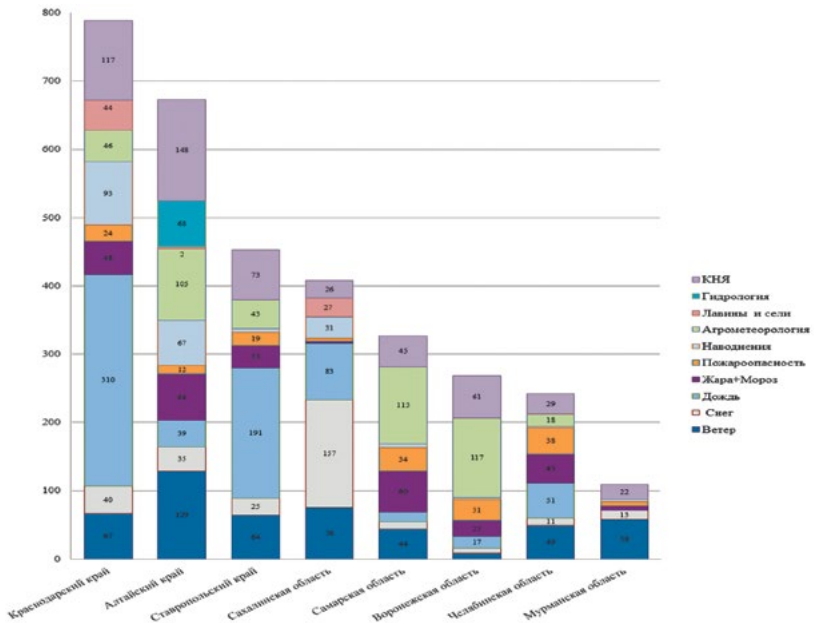


Рис. 5. Вклад каждой группы явлений в нанесённый ущерб по отдельным субъектам за период с 2005 по 2024 год

территории России, наиболее часто страдали от групп Дождь и КНЯ. В Краснодарском и Ставропольском краях 39 и 26 % соответственно всего ущерба от ОЯ и НГЯ в этих регионах пришлось на группу Дождь. В Самарской и Воронежской областях за последние 20 лет существенный ущерб был нанесён группами агрометеорологических явлений, КНЯ, Жара+Мороз. В Мурманской области более 50 % явлений, нанёсших ущерб в этом регионе, пришлось на группу Ветер. Таким образом, в вышеперечисленных субъектах выделяются группы явлений, от которых наиболее вероятно нанесение ущерба.

При анализе нанесённого ущерба очень важно иметь его оценку для конкретной отрасли народного хозяйства и населения. В таблице представлены данные распределения количества ОЯ и НГЯ, нанёсших ущерб отдельным отраслям экономики в выбранных субъектах с 2005 по 2024 год.

Таблица

**Распределение количества ОЯ и НГЯ по отраслям экономики
с 2005 по 2024 год**

Наименование отрасли	Субъекты РФ							
	Краснодарский край	Алтайский край	Ставропольский край	Сахалинская область	Самарская область	Воронежская область	Челябинская область	Мурманская область
Авиация	4	9	2	48	1	1	6	13
Автотранспорт	245	163	89	182	39	32	44	64
Железнодорожный транспорт	31	2	2	43	-	-	3	1
Жилищно-коммунальное хозяйство	378	185	181	99	80	55	72	10
Сельское хозяйство	261	185	216	25	185	146	58	-
Лесное хозяйство	25	13	19	4	34	36	41	6
Нанесение ущерба жизни и здоровью людей	40	30	16	10	17	11	18	1
Образование	5	21	1	31	5	2	6	9
Водосеть	32	26	15	12	7	9	10	1
Связь	8	11	13	7	-	2	6	-
Теплосеть	29	13	20	5	19	9	8	2
Теплоэнергетика	16	3	13	-	11	8	4	-
Электроэнергетика	166	172	127	125	65	72	82	54

Примечание: «-» — данных по ущербу нет.

Анализ таблицы показывает, что во всех выбранных субъектах от ОЯ и НГЯ, приводящих к экономическим и социальным потерям, за период 2005–2024 гг. особенно пострадали жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ), автотранспорт, сельское хозяйство и электроэнергетика. Наибольший ущерб сельскому хозяйству нанесли ОЯ и НГЯ в Ставропольском крае, Самарской и Воронежской областях, Алтайском крае. Наибольший ущерб автотранспортной системе нанесён в Сахалинской и Мурманской

областях. Наибольшие потери в ЖКХ получены в Краснодарском крае. В Мурманской области наиболее уязвимой оказалась электроэнергетика.

Заключение

Проведённое исследование позволило оценить количественную и качественную стороны произошедших опасных природных явлений как на территории всей России, так и на территории отдельных субъектов.

Согласно проведённому исследованию подтверждается тенденция роста общего количества ОЯ и НГЯ, наносящих ущерб экономике и населению страны за весь период — с 1991 по 2024 год. На территории России начиная с 2000-х годов, наблюдается существенный рост общего количества опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений. Особенно это проявилось в 2007, 2010, 2021, 2023 и 2024 гг., когда было зарегистрировано 538, 533, 575, 631 и 650 опасных явлений соответственно.

Линейные тренды многолетних рядов за период 2005–2024 гг. рассматриваемых субъектов РФ показали, что они не имеют явно выраженных тенденций, но можно выделить отдельные периоды с наибольшим количеством ОЯ. Увеличение количества ОЯ к концу 20-летнего периода наблюдается в Ставропольском крае (Северо-Кавказский ФО), Алтайском крае (Сибирский ФО), Мурманская область (Северо-Западный ФО).

Анализ произошедших ОЯ и НГЯ показал, что наиболее частое воздействие на выбранные регионы оказывают следующие группы явлений: КНЯ, Ветер, Дождь, Снег, Агрометеорология. Кроме того, в вышеперечисленных субъектах выявлены группы явлений, от которых наиболее вероятно нанесение ущерба. В субъектах, расположенных на европейской части РФ, наибольшие потери наносят группы: Дождь, Ветер, КНЯ и Агрометеорология. В субъектах, расположенных на азиатской части РФ, наибольший ущерб наносят Ветер, Снег и КНЯ.

Как и в предыдущих исследованиях было подтверждено, что особенно пострадали от ОЯ и НГЯ такие отрасли, как ЖКХ, автотранспорт, сельское хозяйство и электроэнергетика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. Оценка макроэкономических последствий изменения климата на территории Российской Федерации на период до 2030 года и дальнейшую перспективу. М.: Росгидромет; ДАРТ, 2011. 254 с.
2. Порфирьев Б.Н. Экономика природных катастроф // Экономическая политика. 2015. № 4. С. 21–40.
3. Порфирьев Б.Н., Макарова Е.А. Экономическая оценка ущерба от природных бедствий и катастроф // Вестник Российской академии наук. 2014. Т. 84, № 12. С. 1059–1072.
4. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. 30 October 2006. URL: <http://www.cambridge.org/9780521700801> (дата обращения: 03 марта 2025 г.)
5. Порфирьев Б.Н. Экономическая оценка людских потерь в результате чрезвычайных ситуаций // Вопросы экономики. 2013. № 1. С. 48–68.
6. Атлас смертности и экономических потерь в результате экстремальных метеорологических, климатических и гидрологических явлений (1970–2019 гг.) // ВМО. № 1267. 90 с.
7. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2023 году». URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/7343> (дата обращения: 15 апреля 2025 г.).
8. Рекомендации по сбору, ведению и хранению сведений об опасных природных явлениях. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Росгидромет. 04 мая 2009 г.
9. РД 52.88.699–2008. Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений. М.: Росгидромет, 2008.
10. 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.
11. Шамин С.И., Санина А.Т. Основные тенденции изменения частоты появления опасных гидрометеорологических явлений на территории Российской Федерации // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 42–50.
12. Коршунов А.А., Шаймарданов В.М., Шаймарданов М.З. Система накопления и обработки данных об опасных гидрометеорологических явлениях в России // Метеорология и гидрология. 2019. № 3. С. 86–92.

УДК 551.510.42 (571.1)

МИГРАЦИЯ БД ИЗ СУБД ORACLE В СУБД POSTGRESQL В РАМКАХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

А.А. Доценко¹, Г.И. Нефёдова²

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
¹ doc17aleks@gmail.com, ² gin@meteo.ru

Постановка задачи

В настоящее время в практике Центра океанографических данных (ЦОД) и в Государственной системе информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) применяется СУБД Oracle, как основное хранилище данных и основной инструмент содержательной переработки данных.

В основу программных средств накопления, хранения и преобразования данных в ЦОД положена идея использования СУБД высокого уровня, которая может обеспечить накопление большого объёма исходных (наблюдённых) данных (порядка 20 Тбайт), содержательную обработку исходных данных и получение производных данных также большого объёма СУБД Oracle (рис. 1).

The screenshot displays the Oracle SQL Developer environment. On the left, a tree view shows the database structure. The main window shows a table with columns: TIME_ZONE, NAME, VALUE, UNIT, and several other columns. The table contains multiple rows of data, including values like '1000000', '1000000', '1000000', etc.

Рис. 1. Пример хранимых данных в базе данных в Oracle

Такая СУБД была закуплена, сотрудники прошли обучение по работе с этой СУБД и использовали её в течение последних 20 лет.

Согласно решениям Правительства РФ, такого рода программные средства должны быть заменены на российский аналог или свободно распространяемые программные средства.

В качестве замены СУБД Oracle было принято решение использовать объектно-реляционную систему управления базами данных PostgreSQL.

Основной задачей является поиск и применения алгоритма замены Oracle на PostgreSQL.

Что понимают под миграцией баз данных

Под миграцией баз данных (БД) понимают два типа процессов [1]:

- однократное перемещение базы данных между системами с прекращением поддержки той системы, из которой осуществляется перенос;
- преобразование базы данных, меняющее версию и затрагивающее схему (это преобразование может быть как в виде апгрейда, так и отката, если возникает такая необходимость).

Для понимания актуальности проблемы миграции БД следует рассмотреть стандартную ситуацию, при которой возникает в ней необходимость. Например, почти каждая компания, работающая на рынке не первый год, накапливает немалый объём информации, причём достаточно разнородной. И, как правило, такая информация хранится в разных базах данных. В определённый момент у персонала могут возникнуть трудности с сопровождением, к тому же большинство из этих информационных систем устаревают, что накладывает ряд технических ограничений на их поддержку.

И для того, чтобы надёжно защитить конфиденциальность информации, хранящейся в этих базах данных, как раз и проводят их миграцию. Миграция БД даёт возможность избавиться от ограничений поддержки, поскольку БД переводятся под управление современных систем. Ещё один случай, когда эта процедура также необходима, — контроль версий ПО, если это ПО разрабатывается несколькими разработчиками.

Подводя итоги, отметим, что миграция БД может осуществляться для:

- обеспечения безопасности и конфиденциальности данных;
- синхронизации кода и контроля версий при коллективной разработке приложений;
- облегчения масштабирования приложений и сайтов;
- повышения стабильности при работе с данными;
- импортозамещения СУБД;
- сокращения расходов по сопровождению ИС;
- полноценной работы с современными технологиями (большие данные, искусственный интеллект);
- увеличения производительности систем хранения данных.

Существует несколько разновидностей миграции БД. Часть из них относятся к хранимым данным и приложениям. Такие виды миграции связаны либо с преобразованием хранимых данных в новый формат, либо с модернизацией ПО. Миграция БД осуществляется одним из двух способов:

- полная: перенос всей БД из старой СУБД в новую;
- версионная: обновление БД до последней версии для достижения совместимости ПО.

Миграция БД выполняется ручным способом или автоматически. Выбор зависит от текущих условий. Так, если в компании используется старая СУБД, поддержка которой давно прекращена, трудности при переносе неизбежны и мигрировать почти наверняка придётся вручную.

В чём заключается полная миграция базы данных

Рассмотрим процесс полной миграции БД. Организационные моменты включают выбор технологий переноса, определение правил настройки доступа для участвующих в процессе. Также важно продумать, как будет выполняться тестирование после миграции и исправление ошибок, которые могут возникнуть в ходе переноса.

В рабочую группу должны входить две команды IT-специалистов, одна из которых разбирается в старой СУБД, а вторая — в

новой. В обязанности отдельных сотрудников входит мониторинг процесса. Причём мониторинг желательно проводить вне зависимости от того, будет ли проведена миграция вручную или автоматически.

Следующий важный момент — определение объёма данных, подлежащих переносу, и их состава. Также в рамках подготовки важно предусмотреть, что делать в случае возникновения нештатных ситуаций. Например, если случились сбои или ошибки (например, была нарушена целостность и корректность хранимых данных), у команды должны быть предусмотрены методы отката БД к исходному состоянию.

Технологические моменты включают следующие этапы:

а) подготовка шаблонов загрузки данных, в которых содержатся технические описания (это, например, поля и правила их заполнения в том случае, если выполняется миграция между разнородными системами);

б) определение списка источников выгрузки данных в случае, если их несколько, что позволит избежать несогласованности при переносе;

в) выгрузка данных: скорость процесса зависит от разных факторов, и чем дольше выполняется выгрузка, тем больше рисков, поэтому стоит заранее позаботиться о том, чтобы этот процесс прошёл безболезненно (для этого перед выгрузкой проводятся тесты);

г) сопоставление исходных и загрузочных данных (этот процесс нередко занимает по объёму до половины от всего процесса переноса, также в рамках сопоставления создаются правила преобразования данных, подлежащих миграции, — правила пишутся в виде скриптов);

д) далее данные выгружаются из источника, трансформируются и загружаются в приёмник, причём для начала лучше провести тестовые процедуры и при необходимости внести коррективы ещё до реального переноса;

е) завершающий этап — сверка данных для проверки их работоспособности.

В чём заключается версионная миграция базы данных

Версионная миграция БД — распространённая процедура, когда необходим контроль версий ПО, которое разрабатывается несколькими разработчиками. Этот процесс имеет свою специфику: важно при версионной миграции БД соблюдать последовательность переноса данных и сделать так, чтобы каждый SQL-запрос выполнялся однократно. В противном случае возможны потери данных, и тогда придётся задействовать резервную копию для восстановления.

Версионная миграция БД выполняется по-разному. Это, например, методы инкрементных и идемпотентных изменений или уподобление структуры БД исходному коду. Для каждого из этих методов предусмотрен набор инструментов, позволяющих автоматизировать процесс и свести к минимуму количество ошибок.

Выбор метода определяется рядом принципов:

- любая версия БД должна иметь возможность обновления до любой версии, причём откат БД на старые версии тоже не должен быть проблемой;
- получение SQL-запросов должно быть как можно более простым;
- БД должна иметь возможность создаваться с нуля с новой структурой;
- желательно продумать миграцию так, чтобы исключить редактирование БД вручную или сделать так, чтобы этот процесс после переноса был минимален.

Поиск метода для осуществления автоматизированной миграции базы данных

Для решения поставленной задачи необходимо найти метод осуществления автоматизированной полной миграции базы данных из СУБД Oracle на СУБД PostgreSQL. Множество российских организаций столкнулись с подобной проблемой миграции данных СУБД. Применялись различные методы для осуществления переноса БД, такие как ручной перенос, создание специализированных конвертеров или использование уже готовых.

Существует множество различных конвертеров СУБД Oracle в PostgreSQL, таких как:

- Ispirer Toolkit,
- CYBERTEC MIGRATOR,
- Full Convert и многие другие.

Но многие из них платные или имеют какие-либо ограничения, поэтому далее будет рассмотрен бесплатный конвертер Ora2Pg [2].

Ora2Pg — это бесплатный инструмент, используемый для миграции базы данных Oracle в PostgreSQL. Он подключается к базе данных Oracle, автоматически сканирует её и извлекает её структуру или данные, а затем генерирует SQL-скрипты, которые можно загрузить в базу данных PostgreSQL.

Ora2Pg можно использовать для любых целей — от реинжиниринга базы данных Oracle до миграции огромной корпоративной базы данных или простой репликации некоторых данных Oracle в базу данных PostgreSQL. Она очень проста в использовании и не требует никаких знаний о базе данных Oracle, кроме указания параметров, необходимых для подключения к базе данных Oracle.

Установка и настройка конвертера

У программы Ora2pg нет графического интерфейса и взаимодействие с ней происходит через командную строку. Перенос БД можно производить как на операционных системах Unix, так и на ОС Windows. Однако Ora2Pg состоит из Perl-скрипта (Ora2pg) и Perl-модуля (Ora2Pg.pm), поэтому для её установки и установки необходимых модулей DBD::Oracle и DBD::Pg на ОС Windows в документации Ora2pg предлагается использовать Strawberry Perl.

Strawberry Perl — это среда perl для MS Windows, содержащая всё необходимое для запуска и разработки приложений на языке perl. После её установки и запуска достаточно ввести следующие команды для установки модулей Perl, необходимых для работы Ora2pg (Oracle и PostgreSQL уже должны быть установлены):

```
сranm DBD::Oracle  
сranm DBD::Pg
```

Далее необходимо скачать и разархивировать архив ora2pg-24.3.zip. После введения следующих команд установка Ora2pg будет завершена:

```
cd «Путь до содержимого архива ora2pg-24.3.zip»
perl Makefile.PL
gmake && gmake install
```

Подготовка и настройка проекта миграции

Для настройки работы Ora2pg необходимо сначала создать проект переноса, используя команды:

```
cd «Путь директории установленной Ora2Pg»
ora2pg --init_project «Название проекта»
```

После создания проекта создастся директория проекта, в которой будет файл конфигурации переноса. Он и содержит параметры работы Ora2pg. Перечислим основные, которые необходимо изменить:

- путь до директории Oracle;
ORACLE_HOME «Путь до директории Oracle»
- адрес БД Oracle и роль, через которую Ora2pg будет экспортировать данные;
ORACLE_DSN «Адрес БД»
ORACLE_USER «Пользователь, который имеет доступ к БД в Oracle»
ORACLE_PWD «Пароль пользователя Oracle»
- режим экспорта схемы;
EXPORT_SCHEMA 1
- указание схемы Oracle (оставить без названия схемы при необходимости экспорта всех доступных схем);
SCHEMA «Oracle схема/пользователь на экспорт»
- адрес БД PostgreSQL и роль, через которую Ora2Pg будет импортировать данные (в PostgreSQL необходимо заранее завести соответствующую БД).
PG_DSN «Адрес БД с указанием её названия»
PG_USER «Пользователь PostgreSQL»
PG_PWD «Пароль пользователя PostgreSQL»

Это лишь основные параметры работы Ora2pg, но при необходимости можно воспользоваться множеством дополнительных опций, включающих в себя настройку кодировки данных БД, настройку работы с различными объектами БД, настройку конвертации типов данных и многое другое. В зависимости от сложности, переносимой БД миграция может завершиться неудачей, но для решения различных возможных проблем в файле конфигурации есть возможность включить режим отладки, а также настроить вышеупомянутые параметры переноса.

Например, при переносе базы данных в ЦОД были применены следующие дополнительные настройки проекта:

- подробный вывод в консоль всех выполняемых программой действий;

```
DEBUG 1
```

- тип транзакций для обращения к Oracle;

```
TRANSACTION readonly
```

- остановка выполнения команд при обнаружении ошибки (отключена, так как по причине объёма БД было принято решение не останавливать перенос из-за каждой возникающей ошибки, а фиксировать сразу всё для их дальнейшего устранения);

```
STOP_ON_ERROR 0
```

- определение применяемого типа данных в PostgreSQL для данных типа numeric() в Oracle;

```
DEFAULT_NUMERIC numeric
```

- указание, что пользователь, обращающийся к Oracle, имеет доступ к информации о доступах других пользователей;

```
USER_GRANTS 0
```

- параметры, связанные с кодировкой, указываемой при создании SQL-файлов структур и при переносе данных. (Ниже отображён вариант настройки для экспорта структуры, при переносе данных первые три из этих параметров закомментировать, добавив символ # в начале строки, а у последнего параметра заменить 0 на 1.)

```
NLS_LANG AMERICAN_AMERICA.CL8MSWIN1251
```

```
NLS_NCHAR AL16UTF16
```

```
CLIENT_ENCODING WIN1251
```

```
FORCE_PLSQL_ENCODING 0
```

Экспорт структуры БД

После установки и настройки Ora2Pg можно приступить к переносу БД. Первым этапом переноса является экспорт структуры базы данных в SQL-файлы, которые дальше можно будет импортировать в PostgreSQL.

На этом этапе Ora2Pg обращается к БД в Oracle, извлекает необходимую структуру БД, подготавливает PL/pgSQL код и сохраняет его в SQL-файле. Чтобы определить тип экспортируемой структуры, необходимо использовать ключевое слово TYPE в файле с настройками проекта миграции либо указывать тип в команде для запуска Ora2Pg. TYPE принимает следующие значения:

- TABLE: извлекать все таблицы с индексами, первичными ключами, ограничениями уникальности, внешними ключами и ограничениями-проверками.

- VIEW: извлекать только представления.

- GRANT: извлекать роли, преобразуемые в группы PostgreSQL, пользователей и права для всех объектов.

- SEQUENCE: извлекать все последовательности и их текущие значения.

- TABLESPACE: извлекать пространства для таблиц и индексов.

- TRIGGER: извлекать событийные триггеры.

- FUNCTION: извлекать функции.

- PROCEDURE: извлекать процедуры.

- PACKAGE: извлекать пакеты и тела пакетов.

- INSERT: извлекать данные через оператор INSERT.

- COPY: извлекать данные через оператор COPY.

- PARTITION: извлекать секции по диапазонам и спискам с подсекциями.

- TYPE: извлекать пользовательские типы Oracle.

- FDW: извлекать таблицы Oracle как сторонние таблицы для oracle_fdw.

- MVIEW: экспортировать материализованные представления.

- QUERY: автоматически преобразовывать SQL-запросы Oracle.

- DBLINK: создать сервер обёртки сторонних данных Oracle, чтобы использовать его как dblink.

- SYNONYM: экспортировать синонимы Oracle как представления на базе других объектов схемы.
- DIRECTORY: экспортировать каталоги Oracle как объекты расширения external_file.
- LOAD: отправлять набор запросов с использованием нескольких соединений с Postgres Pro.
- TEST: выполнить сравнение БД Oracle и Postgres Pro.
- TEST_COUNT: выполнить сравнение количества строк в таблицах Oracle и Postgres Pro.
- TEST_VIEW: подсчитать число строк, возвращаемых представлениями на обеих сторонах.
- TEST_DATA: выполнить проверку корректности строк на обеих сторонах.
- SEQUENCE_VALUES: экспорт DDL, чтобы установить последние значения последовательностей.

Чтобы каждый раз для смены типа экспорта не менять конфигурационный файл или команду Ora2Pg, можно использовать автоматически генерируемый при создании проекта миграции скрипт export_schema.psl.

Этот скрипт при запуске будет поочерёдно выполнять экспорт основных типов структуры БД, которые в нём указаны.

По окончании работы этого скрипта все созданные SQL-файлы будут храниться в директории schema в каталогах с соответствующими названиями, так что при необходимости их можно посмотреть или редактировать.

Пример экранного представления при выполнении экспорта таблиц в SQL-файл с помощью Ora2Pg показан ниже на рис. 2.

Импорт структуры БД

Следующим этапом миграции является импорт ранее вынесенной в файлы с разрешением .sql структуры БД. Для этого необходимо использовать psql-команду для импорта файлов:

cd «Директория проекта миграции»

psql --port=«Порт БД в PostgreSQL» --username=«Имя пользователя PostgreSQL» «Название БД» < «Директория проекта»\schema\»Тип данных»s\»Тип данных».sql

«Пароль пользователя PostgreSQL»

Данную команду необходимо применить для каждого типа структуры БД. При необходимости можно создать скрипт, аналогичный `export_schema.psl`, но для импорта структуры БД. Однако, так как многие типы структур ссылаются на другие типы, следует учитывать порядок импорта, иначе возможна ситуация, когда импортируемый объект может ссылаться на ещё не импортированные структуры.

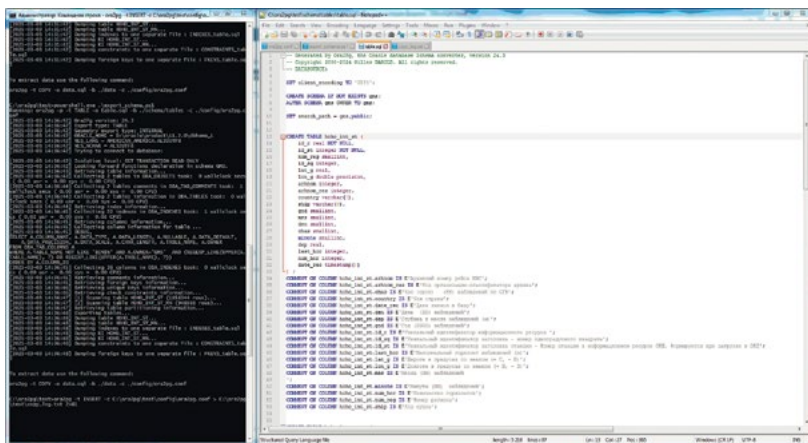


Рис. 2. Пример экспорта таблиц в SQL-файл с помощью Ora2Pg

Для удобного отображения вывода Ora2Pg также рекомендуется перенаправлять поток вывода с консоли в файл, так как это может помочь для обнаружения и анализа ошибок импорта. Это можно сделать добавлением следующей строки перед вводом пароля пользователя:

> «Директория проекта»\schema\»Тип данных»s\log.txt 2>&1

Перенос данных БД

Последний этап миграции заключается в переносе самих данных (пример приведён на рис. 3) из Oracle в подготовленную структуру БД в PostgreSQL. Если в конфигурационном файле проекта Ora2Pg уже заданы все необходимые параметры, такие

как адрес БД в Oracle и PostgreSQL и данные пользователей для подключения к БД, то остаётся ввести команду с типом INSERT или COPY:

ora2pg -t «INSERT или COPY» -s «Путь до конфиг файла»

Стоит отметить, что в конфигурационном файле можно настроить конкретные схемы или таблицы для переноса с помощью параметров:

- SCHEMA;
- ALLOW.

Как раз за счёт параметра ALLOW можно настраивать таблицы, которые будут задействованы при следующем выполнении команды Ora2Pg. Причём этот параметр будет учитываться не только при переносе данных, но и при экспорте структуры БД из Oracle, что можно использовать для работы с локальными участками схемы. Этот параметр также может помочь при переносе данных, так как при обнаружении ошибки Ora2Pg в любом случае прекратит работу с данными и оставшиеся таблицы в PostgreSQL не будут заполнены. Также по этой же причине на этапе переноса данных, как и на этапе импорта структуры, рекомендуется перенаправлять поток вывода с консоли в файл.

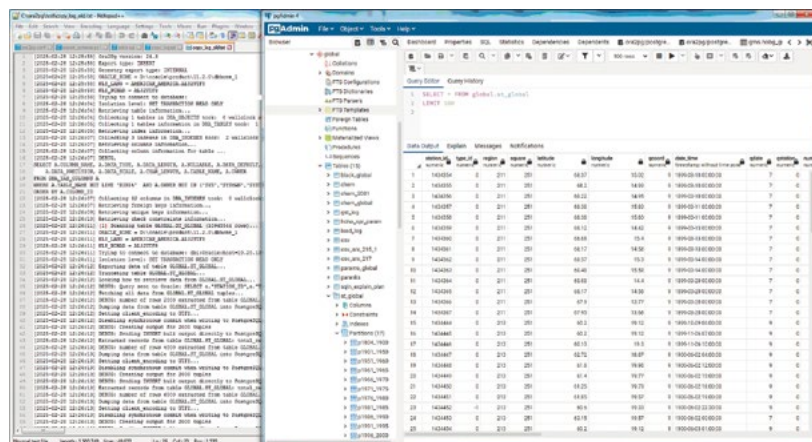


Рис. 3. Пример перенесённых данных в PostgreSQL

Частые проблемы

После выполнения этого этапа миграция будет завершена. Но в большинстве случаев, если переносимая БД имеет хотя бы среднюю комплексность, то могут возникнуть различные проблемы на любом этапе миграции. При осуществлении миграции БД в ЦОД были выявлены следующие проблемы:

- низкая приспособленность Ora2Pg к работе на операционных системах Windows: Ora2Pg легче устанавливать и использовать на ОС Unix. Например, автоматически генерируемый скрипт `export_schema.psl` пришлось исправлять для его корректной работы, а скрипт для импорта структуры БД реализован только для Unix систем;

- проблемы с кодировками UTF-8 и WIN1251: в Oracle переносимая БД была заполнена данными в кодировке WIN1251, но в PostgreSQL данные было принято хранить в кодировке UTF-8. В Ora2Pg есть функционал для перекодирования данных, но для этого требуется корректно настроить его работу в конфигурационном файле, а именно параметры `NLS_LANG`, `NLS_NCHAR`, `CLIENT_ENCODING` и `FORCE_PLSQL_ENCODING`. Без настройки этих параметров могут возникнуть проблемы с отображением кириллицы в PostgreSQL и `psql`;

- разница в синтаксисе PL/SQL и PL/pgSQL: структуры объектов в Oracle описываются на процедурном расширении языка SQL PL/SQL [3], а в PostgreSQL – PL/pgSQL. Это очень важный фактор, влияющий на миграцию БД, и в Ora2Pg есть функционал для решения множества проблем, связанных с этим. Однако Ora2Pg не может полностью перенести весь код с языка PL/SQL на PL/pgSQL, особенно у сложных структур БД. По этой причине в большинстве случаев требуется вручную переписывать код сложных структур на PL/pgSQL;

- множество других небольших проблем, которые оказались достаточно затратными по времени из-за малого количества информации об их устранении в Интернете.

Иллюстрация поэтапного переноса таблиц БД приведена на рис. 4.

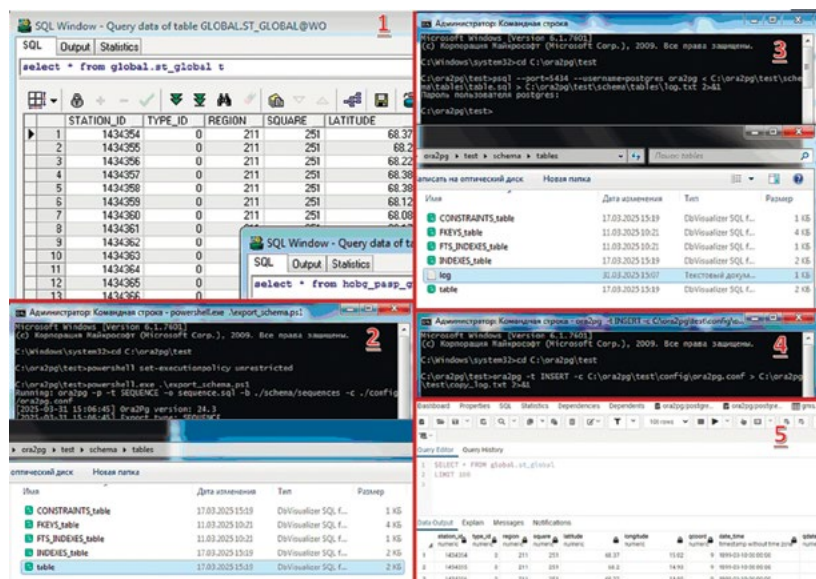


Рис. 4. Поэтапный перенос таблиц БД (1 этап — исходные данные в Oracle, 2 — экспорт структуры БД, 3 — импорт структуры БД, 4 — перенос данных БД, 5 — исходные данные в PostgreSQL)

Заключение

В итоге работы по поиску методов для миграции базы данных из системы управления базами данных Oracle в систему управления базами данных PostgreSQL в рамках процесса по импортозамещению программных средств было принято решение использовать open-source-приложение Ora2Pg.

В ходе применения данной утилиты для миграции БД в Центре океанографических данных был проанализирован процесс работы конвертера. Несмотря на то, что с использованием конвертера возникали различные проблемы, большая часть исходной БД была перенесена без необходимости в ручном переносе, а именно из основных видов структуры БД были перенесены: 84 схемы, 2898 таблиц, 406 процедур и функций, 296 последовательностей, 568 представлений и 265 триггеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Статьи* о миграции с Oracle на PostgreSQL от разработчиков СУБД Postgres Pro. URL: <https://postgrespro.ru/blog/pgsql/5969645?ysclid=m1qe0eq0tt87196886> (дата обращения: 04.03.2025).
2. *Документация* конвертера Ora2Pg. URL: <https://ora2pg.darold.net/documentation.html> (дата обращения: 04.03.2025).
3. *Документация* процедурного расширения языка SQL PL/SQL. URL: <https://docs.oracle.com/en/database/oracle/oracle-database/19/lnpls/index.html> (дата обращения: 04.03.2025).

УДК 551.465

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ НЕАРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ РОССИИ В ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

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

Глобальное потепление температуры воздуха — это основная тенденция изменений климата на протяжении последних десятилетий. Температура приземного воздуха в приморских районах неарктических морей России (Чёрное, Азовское, Каспийское и Балтийское моря [1]) также демонстрирует уверенный рост, о чём свидетельствуют данные наблюдений на метеорологических станциях. Термический режим в верхнем слое неарктических (без дальневосточных) морей, который определяется взаимодействием с атмосферой, тепловым балансом, ветровым и конвективным перемешиванием вод, также свидетельствует о неуклонном повышении значений средних температур в последние десятилетия [2]. Для проведения сравнительного анализа изменчивости температуры морской воды в прибрежных районах российских секторов указанных морей были взяты данные наблюдений за период 1977–2024 гг. по всем гидрометеорологическим станциям (ГМС) (табл. 1).

Таблица 1

Перечень ГМС, данные которых использованы в настоящей работе

ГМС	Широта, °	Долгота, °	Период, годы
<i>Чёрное море</i>			
Евпатория	45,200	33,400	1977–2024
Севастополь	44,600	33,500	1977–2024
Херсонес	44,600	33,400	1977–2024

Окончание табл. 1

ГМС	Широта, °	Долгота, °	Период, годы
Ялта	44,500	34,200	1977–2024
Феодосия	45,000	35,400	1977–2024
Анапа	44,900	37,300	1977–2024
Новороссийск	44,700	37,800	1935–2024
Геленджик	44,600	38,000	1977–2024
Туапсе	44,100	39,100	1961–2024
Сочи	43,500	39,800	1977–2024
Азовское море			
Заветное	4506	3624	1977–2024
Керчь	4524	3630	1977–2024
Опасное	4524	3636	1977–2024
Мысовое	4530	3548	1977–2024
Таганрог	4712	3900	1977–2024
Очаковская коса	4700	3906	1977–2024
Ейск-порт	4642	3818	1923–2024
Должанская	4636	3748	1977–2024
Приморско-Ахтарская	4600	3812	1968–2024
Темрюк-порт	4518	3724	1968–2024
Тамань	4512	3642	1977–2024
Каспийское море			
Дербент	42,100	48,400	1977–2024
Изберг	42,500	47,900	1961–2024
Махачкала	43,000	47,500	1961–2024
о. Тюлений	44,500	47,500	1938–2024
Каспийский	45,400	47,400	1938–2023
о. Искусственный	45,400	47,600	1941–2023
Балтийское море			
Выборг	60,700	28,700	1977–2024
Озерки	60,200	29,000	1977–2024
Лисий Нос	60,000	29,900	1977–2024
Невская устьевая	59,900	30,300	1977–2024
Ломоносов	59,900	29,800	1977–2024
Кронштадт	60,000	29,800	1977–2024
Открытое	54,500	21,000	1977–2024
Пионерский	54,900	20,200	1977–2024
Балтийск	54,600	19,900	1977–2024
Краснофлотское	54,300	19,600	1977–2024

Для получения интегральных характеристик по температуре воды и воздуха данные станций группировались по отдельным районам. Всего было выбрано шесть районов:

- в Чёрном море: район побережья Краснодарского края (Анапа, Новороссийск, Геленджик, Туапсе, Сочи) и район побережья Крыма (Евпатория, Севастополь, Херсонес, Ялта, Феодосия);
- в Азовском море — все станции (Заветное, Керчь, Опасное, Мысовое, Таганрог, Очаковская коса, Ейск-порт, Должанская, Приморско-Ахтарская, Темрюк-порт, Тамань);
- в Каспийском море — все станции (Дербент, Изберг, Махачкала, о. Тюлений, Каспийский, о. Искусственный);
- в Балтийском море: район Финского залива (Выборг, Озерки, Лисий Нос, Невская устьевая, Ломоносов, Кронштадт) и район Калининградской области (Открытое, Пионерский, Балтийск, Краснофлотское).

Для проведения сравнительного анализа были использованы данные специализированной базы данных [3], по которой рассчитывались средние за год, за тёплый (май–октябрь) и холодный (ноябрь–апрель) сезоны. При этом, расчёты проводились для всего доступного периода наблюдений (1977–2024 гг.) и для современных климатических периодов (1981–2010 и 1991–2020 гг.). В некоторых случаях для уточнения оценивались температуры за последние три года (2021–2024 гг.).

Изменчивость температуры воды

В неарктических морях средние характеристики температуры воды тёплого сезона (май–сентябрь) за период 1977–2024 гг. приведены в табл. 2. Характеристики холодного сезона (октябрь–апрель) даны ниже — в табл. 3.

Таблица 2

Средние характеристики температуры воды на ГМС за период 1977–2024 гг. в тёплый сезон

ГМС	V	VI	VII	VIII	IX
Выборг	10,74	16,98	19,99	19,13	7,66
Озерки	9,39	15,75	19,14	18,39	8,22

Окончание табл. 2

ГМС	V	VI	VII	VIII	IX
Лисий Нос	12,43	17,97	20,49	18,64	6,3
Невская устьевая	8,54	14,9	18,31	17,71	7,63
Ломоносов	11,84	17,31	20,08	18,74	7,13
Кронштадт	10,46	16,5	19,61	18,6	7,57
Открытое	14,52	18,38	20,16	19,8	9,35
Пионерский	9,67	14,66	18,11	18,62	11,58
Балтийск	12,11	16,4	19,05	19,46	10,99
Краснофлотское	14,94	18,73	20,42	20,08	9,85
Дербент	15,58	21,49	25,05	25,62	16,94
Изберг	15,44	21,18	24,37	24,82	16,48
Махачкала	15,51	20,72	23,43	24,32	16,09
о. Тюлений	18,99	23,77	26,01	25,14	13,63
Каспийский	19,80	24,57	26,41	25,52	13,18
о. Искусственный	17,24	22,86	25,50	24,65	12,49
Евпатория	15,49	19,99	22,33	23,58	16,25
Севастополь	15,65	21,06	23,72	24,68	17,53
Херсонес	15,34	20,49	23,22	24,38	17,22
Ялта	14,62	19,44	22,81	24,59	18,07
Феодосия	14,21	18,41	21,74	23,71	16,36
Анапа	15,47	20,78	23,70	24,63	17,29
Новороссийск	15,56	20,57	23,28	24,47	18,59
Геленджик	16,43	21,62	24,52	25,50	18,70
Туапсе	15,56	20,56	24,13	25,43	19,12
Сочи	15,66	20,52	24,51	25,93	19,89
Заветное	15,70	20,75	23,37	23,88	14,79
Керчь	16,88	22,48	24,63	24,64	14,92
Опасное	15,99	22,06	24,77	24,78	14,93
Мысовое	16,03	22,00	24,69	24,72	15,01
Таганрог	18,25	23,09	25,03	23,94	11,59
Очаковская коса	18,20	23,06	24,78	23,51	11,04
Ейск-порт	18,09	23,12	25,24	24,26	12,45
Должанская	17,72	22,93	25,06	24,35	12,58
Приморско-Ахтарская	18,00	22,73	24,85	24,02	12,51
Темрюк-порт	17,41	22,87	25,58	25,12	14,49
Тамань	18,14	23,46	25,77	25,16	13,87

Дополнительно к средним характеристикам из рядов наблюдений выбраны экстремумы. Максимумы температур воды приходятся на июль в Балтийском, Каспийском и Азовском морях:

- в Азовском море максимум температуры воды наблюдался 25,77 °С на станции Тамань;
- в Финском заливе Балтики — 20,49 °С (ГМС Лисий Нос), а в Калининградской области — 20,42 °С (ГМС Краснофлотское);
- в Каспийском море максимум достиг значения 26,41 °С на станции Каспийский.

В Чёрном море максимум температуры воды сдвинут на август, на побережье Краснодарского края максимум зарегистрирован 25,93 °С (ГМС Сочи), а на побережье Крыма — 24,68 °С в Севастополе.

Таблица 3

**Средние характеристики температуры воды на ГМС
за период 1977–2024 гг. в холодный сезон**

ГМС	XI	XII	I	II	III	IV
Выборг	2,46	0,39	0,05	0,02	0,21	2,37
Озерки	3,59	0,78	0,06	-0,02	0,04	1,55
Лисий Нос	1,69	0,20	0,03	0,01	0,08	2,71
Невская устьевая	2,58	0,35	0,03	0,01	0,13	1,96
Ломоносов	2,15	0,32	0,05	0,02	0,20	3,22
Кронштадт	2,55	0,35	0,00	-0,05	0,06	2,24
Открытое	4,28	1,14	0,60	0,64	2,05	7,57
Пионерский	7,47	4,06	2,34	1,68	2,54	5,50
Балтийск	6,17	2,58	1,31	1,13	2,37	6,64
Краснофлотское	4,81	1,50	0,77	0,80	2,44	8,25
Дербент	11,38	6,79	4,17	3,33	5,20	10,04
Изберг	11,04	6,26	3,62	2,74	4,50	9,37
Махачкала	10,47	5,65	3,22	2,52	4,54	9,50
о. Тюлений	7,33	2,64	1,04	1,14	4,2	12,04
Каспийский	6,28	1,87	0,91	1,18	4,45	12,76
о. Искусственный	5,44	1,08	0,24	0,33	2,66	10,5
Евпатория	11,43	7,56	5,27	4,88	6,65	10,65
Севастополь	13,14	9,57	7,47	6,89	7,89	10,69
Херсонес	12,96	9,75	7,93	7,41	8,16	10,71
Ялта	13,88	10,84	9,06	8,11	8,26	10,10

Окончание табл. 3

ГМС	XI	XII	I	II	III	IV
Феодосия	11,53	7,93	6,26	5,71	6,65	9,80
Анапа	12,68	9,34	7,29	6,57	7,85	10,84
Новороссийск	14,43	11,05	8,82	7,87	8,38	10,86
Геленджик	14,28	10,79	8,69	7,94	8,82	11,58
Туапсе	14,57	11,16	9,06	8,29	8,99	11,31
Сочи	15,41	11,91	9,84	9,05	9,39	11,48
Заветное	9,08	5,89	4,06	3,43	5,31	10,15
Керчь	8,93	5,04	2,88	2,43	4,80	10,57
Опасное	8,88	4,82	2,58	1,93	4,06	9,67
Мысовое	8,73	4,23	2,05	1,83	3,93	9,29
Таганрог	4,73	1,10	0,32	0,32	2,55	10,64
Очаковская коса	4,50	1,47	0,62	0,68	3,36	11,01
Ейск-порт	5,98	1,78	0,53	0,61	3,31	10,82
Должанская	6,11	1,91	0,60	0,64	3,12	10,40
Приморско-Ахтарская	6,12	2,02	0,86	0,99	3,96	11,34
Темрюк-порт	8,15	3,77	1,92	1,81	4,48	10,56
Тамань	7,79	3,68	2,11	2,11	5,05	11,42

Минимальные значения температуры воды наблюдаются в январе-феврале. В Азовском море минимум температуры воды зафиксирован 0,32 °С в Таганроге (январь и февраль). В Финском заливе Балтики в холодное время года наблюдались отрицательные значения температуры воды на ГМС Кронштадт — -0,05 °С (февраль), а в Калининградской области — 0,60 °С на ГМС Открытое (январь). В Каспийском море в январе минимум достиг значения 0,24 °С на ГМС о. Искусственный. В Чёрном море минимум температуры воды наблюдался в феврале месяце: на побережье Краснодарского края зарегистрирован 6,57 °С в Анапе, а на побережье Крыма — 4,88 °С в Евпатории.

Годовой ход температуры воды в прибрежной зоне неарктических морей традиционен (для примера на рис. 1 показаны характеристики по Чёрному морю).

Размах годовых колебаний температуры воды в неарктических морях изменяется от 19,36 °С (побережье Краснодарского края) до 26,17 °С (в Каспийском море).

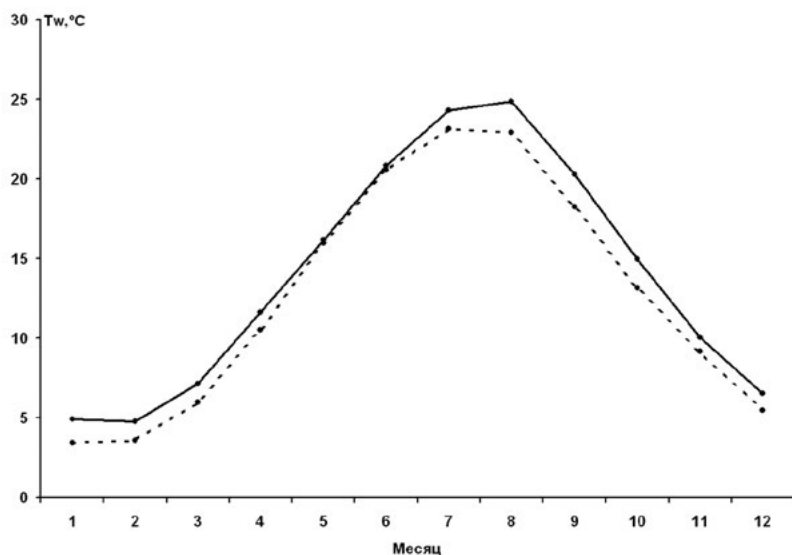


Рис. 1. Годовой ход температуры воды по многолетним данным ГМС черноморского побережья Краснодарского края (сплошная линия) и побережья Крыма (пунктир)

Изменение средних характеристик температуры воды на прибрежных станциях российского сектора Чёрного моря за климатический период 1991–2020 гг. по сравнению с климатическим периодом 1981–2010 гг. в зимний период на отдельных станциях доходит до 0,5 °C (табл. 4).

И такая положительная тенденция со временем усиливается: средняя температура воды в прибрежных районах за последние четыре года выросла по сравнению со средней за 1991–2020 гг. в пределах от 1,80 до 3,69 °C

Отметим, что в зимний период в Чёрном море температура поверхностных вод побережья Краснодарского края (Анапа, Новороссийск, Геленджик, Туапсе, Сочи) устойчиво выше температуры поверхностных вод побережья Крыма — станции Евпатория, Севастополь, Херсонес, Ялта, Феодосия (за период 1977–2024 гг. эта разность составляет 1,54 °C, в периоды 1981–2010 и 1991–2020 гг. она равна 1,55 и 1,57 °C соответственно).

Таблица 4

**Средние характеристики температуры воды на ГМС Чёрного моря
за последние десятилетия в зимний период**

ГМС	Средняя T_w , °C, за 1977– 2024 гг.	Средняя T_w , °C, за 1981– 2010 гг.	Средняя T_w , °C, за 1991– 2020 гг.	Средняя T_w , °C, за 2021– 2024 гг.
Евпатория	5,27	5,59	5,93	9,62
Севастополь	7,47	7,79	8,01	10,59
Херсонес	7,93	8,13	8,53	10,60
Ялта	9,06	9,09	9,51	11,39
Феодосия	6,26	6,42	6,74	9,17
Анапа	7,29	7,34	7,84	10,83
Новороссийск	8,82	9,10	9,39	11,56
Геленджик	8,69	8,89	9,31	11,65
Туапсе	9,06	9,36	9,65	11,78
Сочи	9,84	10,07	10,38	12,18

При рассмотрении аномалий температуры воды в двух разных районах Чёрного моря заметно, что характер изменчивости параметра практически одинаков (рис. 2).

В летний период также подтверждается положительная тенденция у температуры воды: за период 1991–2020 гг., по сравнению с 1981–2010 гг., она колеблется от 0,22 до 0,66 °C (табл. 5). В последние годы (2021–2024), по сравнению с предыдущим тридцатилетием, также наблюдается повышение средней температуры воды в пределах 0,66–1,22 °C.

Летом в Чёрном море температура поверхностных вод побережья Краснодарского края также выше температуры поверхностных вод побережья Крыма (за период 1977–2024 гг. эта разность составляет 1,16 °C, в периоды 1981–2010 и 1991–2020 гг. она равна 1,04 и 0,95 °C соответственно). Такое превышение температуры воды у побережья Краснодарского края, по сравнению с крымским побережьем, прослеживается в течение нескольких десятков лет.

На рис. 3 приведён временной ход температуры воды в холодный и тёплый периоды, интегральных по станциям побережья Краснодарского края и побережья Крыма. Практически всё время воды побережья Краснодарского края теплее вод побережья Крыма.

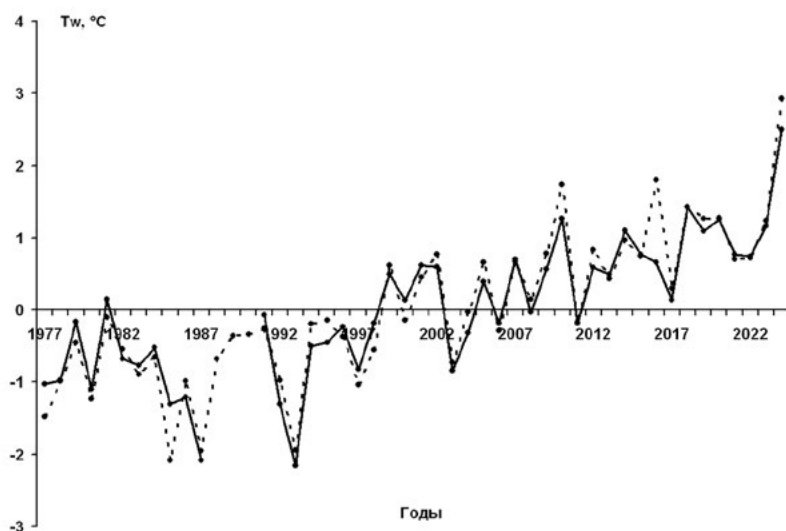


Рис. 2. Временной ход аномалий температуры воды по многолетним данным ГМС черноморского побережья Краснодарского края (сплошная линия) и побережья Крыма (пунктир)

Таблица 5

Средние характеристики температуры воды на ГМС Чёрного моря за последние десятилетия в летний период

ГМС	Средняя Tw, °C, за 1977–2024 гг.	Средняя Tw, °C, за 1981–2010 гг.	Средняя Tw, °C, за 1991–2020 гг.	Средняя Tw, °C, за 2021–2024 гг.
Евпатория	19,75	21,70	22,02	22,92
Севастополь	20,74	22,92	23,29	24,04
Херсонес	20,36	22,60	22,82	23,48
Ялта	20,19	21,90	22,50	23,72
Феодосия	19,15	20,95	21,53	22,58
Анапа	20,60	22,61	23,00	23,84
Новороссийск	20,83	22,62	23,02	23,84
Геленджик	21,56	23,55	23,85	24,81
Туапсе	21,40	23,12	23,66	24,71
Сочи	21,70	23,33	23,99	24,93

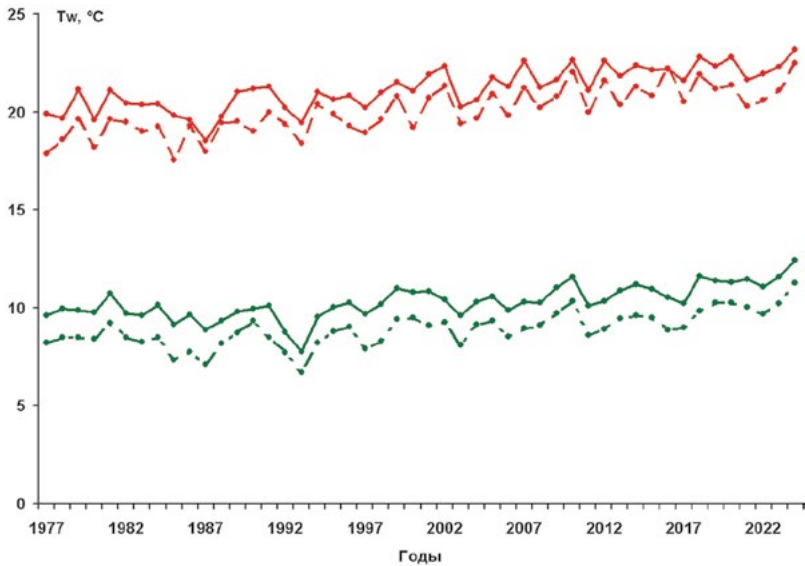


Рис. 3. Температура воды по данным ГМС черноморского побережья Краснодарского края (красная сплошная — лето, зелёная сплошная — зима) и побережья Крыма (красный пунктир — лето, зелёный пунктир — зима)

Изменение средних характеристик температуры воды на прибрежных станциях Азовского моря за климатический период 1991–2020 гг., по сравнению с климатическим периодом 1981–2010 гг., в зимний период на отдельных станциях достигает до 1,25 °C (табл. 6), причём в северо-западной части моря эта разница превосходит аналогичные характеристики южного побережья.

Такая положительная тенденция усиливается: средняя температура за последние четыре года выросла, по сравнению со средней за 1991–2020 гг., в пределах от 0,66 до 1,82 °C.

Летом в Азовском море также наблюдается положительная тенденция: за климатический период 1991–2020 гг., по сравнению с климатическим периодом 1991–2020 гг., и составляет от 0,20 °C (ГМС Темрюк-порт) до 1,304 °C (в Заветном) (табл. 7). В последние пять лет также в основном наблюдается повышение средней летней температуры воды.

Таблица 6

**Средние характеристики температуры воды на ГМС Азовского моря
за последние десятилетия в зимний период**

ГМС	Средняя Тв, °С, за 1977– 2024 гг.	Средняя Тв, °С, за 1981– 2010 гг.	Средняя Тв, °С, за 1991– 2020 гг.	Средняя Тв, °С, за 2021– 2024 гг.
Заветное	6,32	5,30	6,55	8,37
Керчь	5,77	5,05	5,90	7,52
Опасное	5,32	4,55	5,51	7,12
Мысовое	5,00	4,12	5,26	7,08
Таганрог	3,30	3,17	3,39	4,05
Очаковская коса	3,67	3,47	3,78	5,02
Ейск-порт	3,83	3,71	3,98	5,14
Должанская	3,83	3,35	3,79	5,45
Прим.-Ахтарск	4,22	3,95	4,36	5,02
Темрюк-порт	5,2	4,99	5,27	6,25
Тамань	5,36	4,91	5,39	7,22

Таблица 7

**Средние характеристики температуры воды на ГМС Азовского моря
за последние десятилетия в летний период**

ГМС	Средняя Тв, °С, за 1977– 2024 гг.	Средняя Тв, °С, за 1981– 2010 гг.	Средняя Тв, °С, за 1991– 2020 гг.	Средняя Тв, °С, за 2021– 2024 гг.
Заветное	19,78	19,16	20,46	20,56
Керчь	20,74	20,17	21,21	21,85
Опасное	20,58	20,04	21,22	21,40
Мысовое	20,59	20,03	21,15	21,76
Таганрог	20,21	20,04	20,38	21,13
Очаковская коса	19,72	19,28	19,84	21,51
Ейск-порт	20,51	20,33	20,78	21,12
Должанская	20,29	20,13	20,49	21,00
Прим.-Ахтарск	20,19	20,00	20,32	20,76
Темрюк-порт	21,03	21,02	21,22	20,94
Тамань	21,11	20,73	21,34	22,24

Изменение средних характеристик температуры воды на прибрежных станциях российского сектора западной части

Каспийского моря за климатический период 1991–2020 гг., по сравнению с климатическим периодом 1981–2010 гг., в зимний период составляет от 0,04 до 0,42 °C (табл. 8). Такая положительная тенденция со временем усиливается: средняя температура за последние четыре года выросла, по сравнению со средней за 1991–2020 гг., в пределах от 0,82 °C на станции Изберг до 3,35 °C в Махачкале.

Таблица 8

Средние характеристики температуры воды на ГМС Каспийского моря за последние десятилетия в зимний период

ГМС	Средняя T_w , °C, за 1977–2024 гг.	Средняя T_w , °C, за 1981–2010 гг.	Средняя T_w , °C, за 1991–2020 гг.	Средняя T_w , °C, за 2021–2024 гг.
Дербент	6,81	6,78	6,89	7,92
Изберг	6,4	6,42	6,46	7,28
Махачкала	6,2	5,93	6,09	9,44
о. Тюлений	5,06	4,70	4,95	7,92
Каспийский	4,92	4,69	5,11	6,35
о. Искусственный	4,19	4,50	4,79	-

В летний сезон для Каспийского моря характерна положительная тенденция: средняя температура воды за период 1991–2020 гг. повысилась, по сравнению с периодом 1981–2010 гг., в пределах 0,21–0,57 °C (табл. 9). В последние четыре года также наблюдается повышение средней летней температуры воды от 0,50 до 1,06 °C.

Таблица 9

Средние характеристики температуры воды на ГМС Каспийского моря за последние десятилетия в летний период

ГМС	Средняя T_w , °C, за 1977–2024 гг.	Средняя T_w , °C, за 1981–2010 гг.	Средняя T_w , °C, за 1991–2020 гг.	Средняя T_w , °C, за 2021–2024 гг.
Дербент	21,13	20,98	21,19	22,25
Изберг	20,79	20,72	20,79	21,50
Махачкала	20,47	20,13	20,43	22,91
о. Тюлений	21,58	21,34	21,63	23,05
Каспийский	22,02	21,87	22,44	22,94
о. Искусственный	20,52	20,33	20,61	21,16

Изменение средних характеристик температуры воды на прибрежных станциях российского сектора восточной части Балтийского моря за климатический период 1991–2020 гг., по сравнению с климатическим периодом 1981–2010 гг., в зимний период составляет от 0,14 °С на станции Невская устьевая до 0,33 °С — на станции Пионерский (табл. 10).

Надо отметить, что средние температуры воды на побережье Финского залива ниже на 2–3 °С, чем на станциях Калининградского побережья.

Характерно, что в последние четыре года положительная тенденция средних зимних температур воды сохраняется на многих станциях российского сектора Балтийского моря (эти характеристики приведены в табл. 10).

Таблица 10

Средние характеристики температуры воды на ГМС Балтийского моря за последние десятилетия в зимний период

ГМС	Средняя T_w , °С, за 1977–2024 гг.	Средняя T_w , °С, за 1981–2010 гг.	Средняя T_w , °С, за 1991–2020 гг.	Средняя T_w , °С, за 2021–2024 гг.
Выборг	0,95	0,81	0,96	1,19
Озерки	1,00	0,86	1,14	1,09
Лисий Нос	0,78	0,69	0,85	0,89
Невская устьевая	0,84	0,75	0,89	0,92
Ломоносов	0,99	0,88	1,10	1,13
Кронштадт	0,84	0,75	0,95	0,93
Открытое	2,71	2,61	2,82	3,26
Пионерский	3,94	3,71	4,04	5,19
Балтийск	3,36	3,22	3,41	4,32
Краснофлотское	3,08	2,90	3,21	3,96

В летний сезон для прибрежных вод Балтийского моря характерна положительная тенденция: средняя температура воды за период 1991–2020 гг. повысилась, по сравнению с периодом 1981–2010 гг., в пределах от 0,30 до 0,48 °С (табл. 11).

В последние четыре года также наблюдается повышение средней летней температуры воды от 0,80 до 1,67 °С (подтверждающие оценки этих характеристик в виде средних температур воды в тёплый период приведены ниже — в табл. 11).

Таблица 11

Средние характеристики температуры воды на гидрометеорологических станциях Балтийского моря за последние десятилетия в летний период

ГМС	Средняя T_w , °C, за 1977– 2024 гг.	Средняя T_w , °C, за 1981– 2010 гг.	Средняя T_w , °C, за 1991– 2020 гг.	Средняя T_w , °C, за 2021– 2024 гг.
Выборг	14,76	14,55	14,88	16,55
Озерки	14,11	13,85	14,19	15,75
Лисий Нос	14,8	14,52	15,00	16,36
Невская устьевая	13,43	13,23	13,68	14,51
Ломоносов	14,78	14,54	14,99	16,35
Кронштадт	14,41	14,20	14,66	15,76
Открытое	16,21	16,06	16,36	17,18
Пионерский	14,73	14,52	14,95	16,09
Балтийск	15,64	15,48	15,85	17,04
Краснофлотское	16,56	16,36	16,80	17,60

Практически для всех неарктических морей России (без дальневосточных морей) в последние десятилетия наблюдается положительный тренд температуры воды в прибрежных районах (примеры временного хода и виды линейных трендов на разных станциях приведены далее на рис. 4–6).

Коэффициенты линейного тренда температуры воды в прибрежных районах Чёрного, Азовского, Каспийского и Балтийского морей варьируют от 0,02 до 0,05 за последние 55 лет.

При рассмотрении более длинных рядов наблюдений за температурой воды в прибрежных зонах неарктических морей (например ряд наблюдений на станции Приморско-Ахтарская (показан на рис. 5) начинается с 1923 года, т.е. более 100 лет) коэффициент линейного тренда снижается до 0,01.

Однако данные наблюдений в период 1977–2024 гг. показывают нарастание коэффициента линейного тренда температуры воды (на той же станции Приморско-Ахтарская коэффициент линейного тренда составляет 0,461). Отметим, что при рассмотрении изменения температуры воды на более поздний период на той же станции видно, что коэффициент линейного тренда ещё более увеличивается.

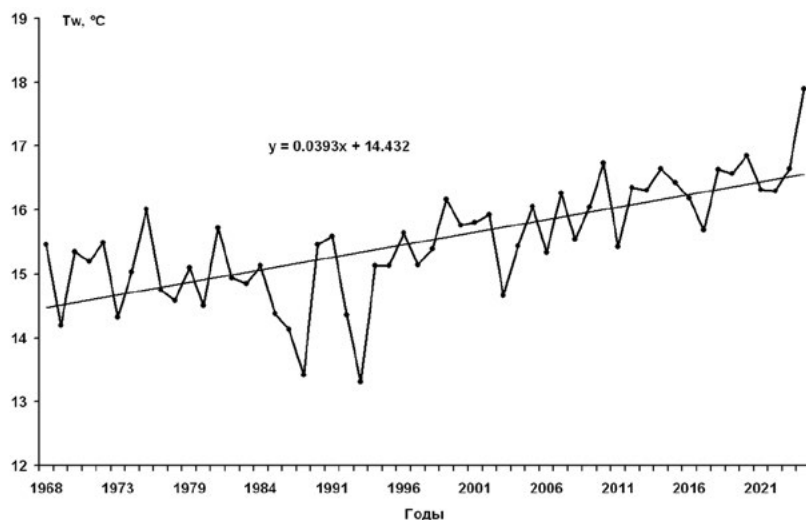


Рис. 4. Температура воды по данным станции Новороссийск (Чёрное море) за период 1968–2024 гг.

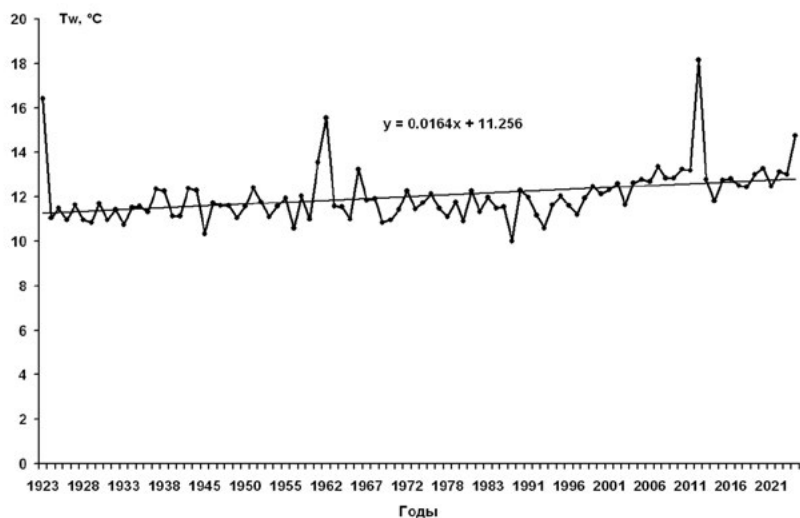


Рис. 5. Температура воды по данным станции Приморско-Ахтарская (Азовское море) за период 1923–2024 гг.

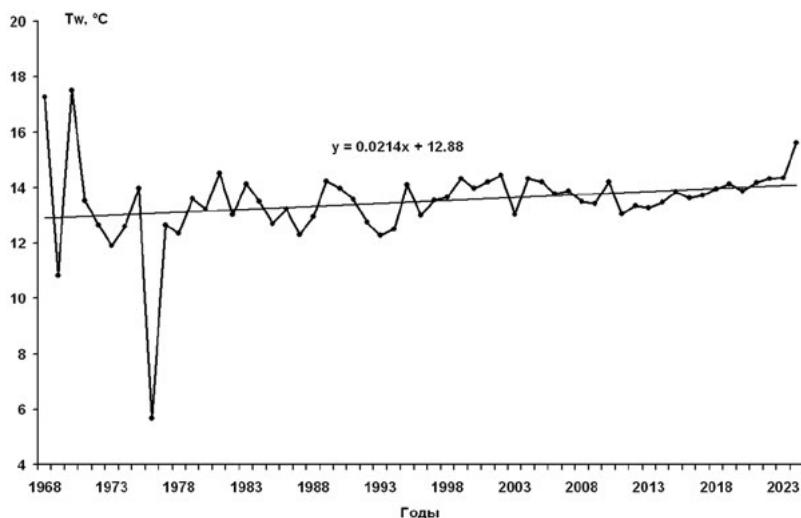


Рис. 6. Температура воды по данным ГМС Изберг (запад Каспийского моря) за период 1968–2024 гг.

Тем самым можно констатировать, что в последние десятилетия наблюдается явное ускорение процессов потепления прибрежных вод в неарктических морях РФ, что особенно заметно при сравнении характерных оценок за разные периоды [4, 5].

На Балтике в Финском заливе на станции Кронштадт также наблюдается тенденция повышения температуры воды, здесь уравнение линии тренда выглядит как $y = 0,0365x + 6,7586$. На юге Балтийского моря (ГМС Балтийск) также видна положительная тенденция повышения температуры поверхностной воды, уравнение линии тренда: $y = 0,0351x + 8,7004$.

Нужно указать, что скорость увеличения температуры воды Балтийского моря ниже, чем на станциях Чёрного и Азовского морей, но выше, чем на станциях российского сектора Каспийского моря (рис. 4).

Заметим, что основной вклад в изменчивость температуры воды в прибрежных районах, рассматриваемых в настоящей статье неарктических морей России, вносит низкочастотная составляющая.

Помимо неё, в температурных колебаниях чётко выделяются квазигодовая и квазиполугодовая периодичности, выявленные с помощью спектрального анализа по методике, предложенной в [6].

Приведённый ниже на рис. 7 характерный для всех неарктических морей спектр температуры воды в прибрежной зоне показывает два преобладающих периода в температурных колебаниях (на всех станциях наблюдается повторяющийся вид этой оценки).

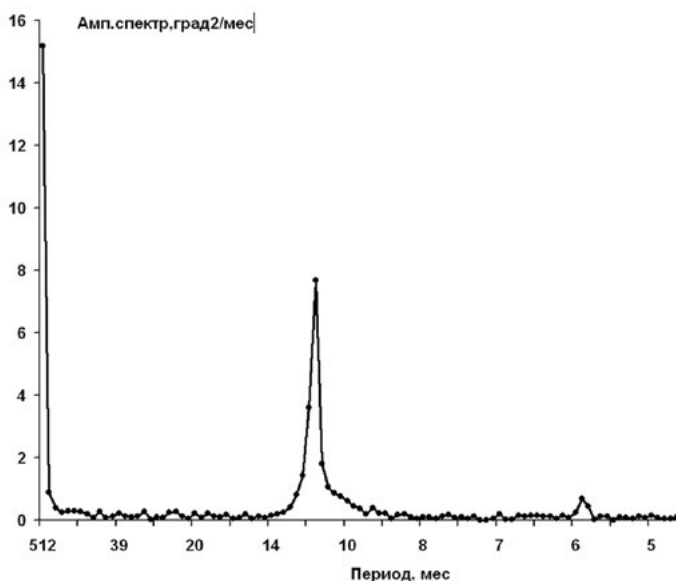


Рис. 7. Характерная оценка температурного спектра в прибрежных зонах неарктических морей

При рассмотрении аномалий температуры воды в неарктических морях заметны различия в скорости роста температур воды в прибрежных зонах: в Азовском море коэффициент тренда равен 0,0481, в Каспийском — 0,0416, в Чёрном — 0,0599 у берегов Крыма и 0,0522 — на Краснодарском побережье, в Балтике — 0,03552 в Финском заливе и 0,0404 — на побережье Калининградской области.

При этом наблюдается резкое увеличение аномалий температуры воды (более интенсивное потепление) по всем районам, начиная с 2018 года (рис. 8).

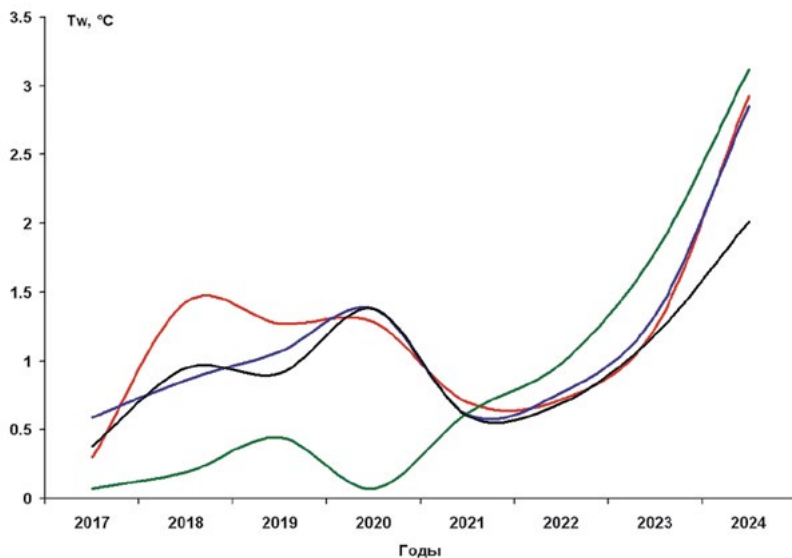


Рис. 8. Временной ход аномалий температуры воды в прибрежных зонах Чёрного (красная линия), Азовского (синяя линия), Каспийского (зелёная линия) и Балтийского (чёрная линия) морей

Таким образом, можно уверенно констатировать фактическое повышение температуры воды в прибрежных районах неарктических (без дальневосточных) морей в последние десятилетия.

Причём скорость потепления в разных морях различна: наибольшая скорость потепления наблюдается в Чёрном море, далее, по убывающей — Азовское, Каспийское и Балтийское моря. При этом наблюдается увеличение скорости потепления морской воды в прибрежных районах, что особенно заметно в последние несколько лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. М.: МГУ, 1982. 146 с.
2. 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. Шевердяев, С.В. Кумпан, И.А. Третьякова, А.Е. Цыганкова. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2014. 256 с.
3. 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 г.
4. 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.
5. Воронцов А.А., Булыгин А.М., Нефёдова Г.И. Тенденции климатических изменений термохалинных условий в прибрежных районах Чёрного и Азовского морей // Тезисы докладов Международной научно-практической конференции «Системы контроля окружающей среды-2024». Севастополь, 5–8 ноября 2024 г. Севастополь: ИП Куликов А.С., 2024. С. 71.
6. Попов Г.В. Особенности опции «Анализ Фурье» в таблице Excel при проведении спектрального анализа и для выявления периодических закономерностей во временных рядах экономических показателей. DOI: 10.17150/2411-6262.2023.14(4).1407-1417. EDN: OISMRT//Baikal Research Journal. 2023. Т. 14, № 4. С. 1407–1417.

УДК 551.465

ХАРАКТЕРИСТИКИ СКОРОСТИ ВЕТРА В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ ЧЁРНОГО МОРЯ В ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

А.А. Воронцов¹, Ф.С. Федотовский², С.А. Баталкина³

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

Введение

Глобальное потепление — основная тенденция климатических изменений на протяжении последних десятилетий. На побережье Чёрного моря также наблюдается рост гидрометеорологических характеристик в последние десятилетия [1, 2]. Для проведения анализа характеристик скорости ветра в прибрежных районах российского сектора Чёрного моря были взяты данные наблюдений за доступный период по всем гидрометеорологическим станциям (ГМС) (табл. 1).

Таблица 1

Перечень ГМС, данные которых использованы в настоящей работе

ГМС	Широта, °	Долгота, °	Период, годы
Черноморское	45,5	32,7	1977–2024
Евпатория	45,2	33,4	1977–2024
Севастополь	44,6	33,5	1977–2024
Херсонес	44,6	33,4	1977–2024
Ялта	44,5	34,2	1977–2024
Алушта	44,6	34,4	1979–2024
Феодосия	45,0	35,4	1977–2024
Анапа	44,9	37,3	1977–2024
Новороссийск	44,7	37,8	1933–2024
Геленджик	44,6	38,0	1977–2024
Туапсе	44,1	39,1	1961–2024
Сочи	43,5	39,8	1977–2024

Для получения интегральных характеристик по скорости ветра на побережье Чёрного моря данные станций группировались по двум районам: район побережья Краснодарского края (Анапа, Новороссийск, Геленджик, Туапсе, Сочи) и район побережья Крыма (Черноморское, Евпатория, Севастополь, Херсонес, Ялта, Алушта, Феодосия).

Для проведения сравнительного анализа были использованы материалы специализированной базы данных [3], по которой рассчитывались средние и экстремумы за многолетний год. При этом расчёты проводились для всего доступного периода наблюдений и для современных климатических периодов (1981–2010 и 1991–2020 гг.). Дополнительно для уточнения рассчитывались средние скорости ветра за последние четыре года (2021–2024 гг.).

Изменчивость скорости ветра

Средние скорости ветра на черноморском побережье невелики и колеблются в пределах 2–5 м/с (табл. 2–5). При этом на западе моря скорости ветра выше (3–5 м/с), чем в его восточной части (2–3 м/с). Это касается как крымского побережья, так и черноморского побережья Краснодарского края.

Таблица 2

Характеристики скорости ветра за период 1977–2024 гг.

ГМС	Средняя скорость ветра, м/с	Максимальная скорость ветра, м/с	Максимальная скорость ветра в порывах, м/с
Черноморское	4,41	43	40
Евпатория	4,13	25	28
Севастополь	3,68	23	29
Херсонес	4,86	22	61
Ялта	2,24	18	37
Феодосия	2,86	20	34
Анапа	4,69	25	36
Новороссийск	4,73	38	42
Геленджик	3,01	34	47
Туапсе	3,17	20	30
Сочи	2,45	27	38
Алушта	1,87	17	40

Таблица 3

Характеристики скорости ветра за период 1981–2010 гг.

ГМС	Средняя скорость ветра, м/с	Максимальная скорость ветра, м/с	Максимальная скорость ветра в порывах, м/с
Евпатория	4,12	21	28
Севастополь	3,79	20	29
Херсонес	5,03	22	61
Ялта	2,31	18	34
Феодосия	2,89	20	28
Анапа	4,83	25	36
Новороссийск	4,93	38	40
Геленджик	3,23	27	47
Туапсе	3,4	19	24
Сочи	2,6	21	38

Таблица 4

Характеристики скорости ветра за период 1991–2020 гг.

ГМС	Средняя скорость ветра, м/с	Максимальная скорость ветра, м/с	Максимальная скорость ветра в порывах, м/с
Черноморское	4,68	43	29
Евпатория	4,25	25	28
Севастополь	3,49	19	29
Херсонес	4,49	19	61
Ялта	2,25	18	27
Феодосия	2,56	20	28
Анапа	4,62	25	36
Новороссийск	4,84	38	42
Геленджик	2,79	27	47
Туапсе	3,08	18	30
Сочи	2,65	27	29
Алушта	1,84	16	40

В последние десятилетия наблюдается тенденция снижения скорости ветра, как среднего, так и максимального. Особенно эта тенденция заметна на данных за последние четыре года (табл. 5).

Таблица 5

Характеристики скорости ветра за период 2021–2024 гг.

ГМС	Средняя скорость ветра, м/с	Максимальная скорость ветра, м/с	Максимальная скорость ветра в порывах, м/с
Черноморское	3,68	28	40
Евпатория	3,66	16	27
Севастополь	3,54	23	29
Херсонес	4,31	18	28
Ялта	1,81	14	32
Феодосия	3,31	13	24
Анапа	4,40	21	32
Новороссийск	3,51	24	31
Геленджик	2,11	17	34
Туапсе	2,39	16	28
Сочи	1,79	15	33

Годовой ход средней и максимальной скорости ветра в прибрежной зоне Чёрного моря традиционен (на рис. 1 и 2 показаны данные разных участков побережья). Максимум средней скорости ветра, как правило, приходится на зиму (ноябрь–декабрь), при этом на краснодарском побережье максимум — 24 м/с — наблюдался в Новороссийске, а в Крыму — 28 м/с на станции Черноморское.

Характеристики ветра в разные сезоны отличны: для тёплого сезона (май–сентябрь) значения за различные периоды по крымскому побережью приведены в табл. 6, по побережью Краснодарского края — в табл. 7.

Таблица 6

Характеристики ветра на крымском побережье в тёплый сезон

Период, годы	Средняя скорость ветра, м/с	Максимум скорости ветра, м/с	Дата максимума	Максимум ветра в порывах, м/с
1977–2024	3,07	20	02.08.1977	61
1981–2010	3,10	18	06.09.1985	61
1991–2020	3,01	18	09.05.1993	61
2021–2024	2,84	17	17.06.2021	28

Таблица 7

Характеристики ветра на краснодарском побережье в тёплый сезон

Период, годы	Средняя скорость ветра, м/с	Максимум скорости ветра, м/с	Дата максимума	Максимум ветра в порывах, м/с
1977–2024	2,95	26	22.07.2006	44
1981–2010	3,08	26	22.07.2006	37
1991–2020	2,95	26	22.07.2006	37
2021–2024	2,39	23	30.09.2021	28

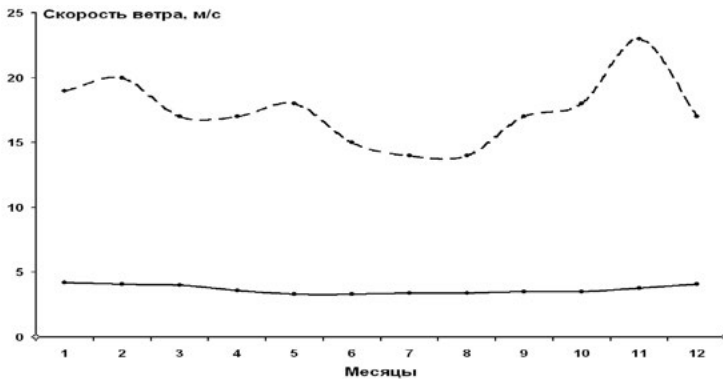


Рис. 1. Годовой ход средней (сплошная линия) и максимальной (пунктир) скорости ветра на ГМС Севастополь

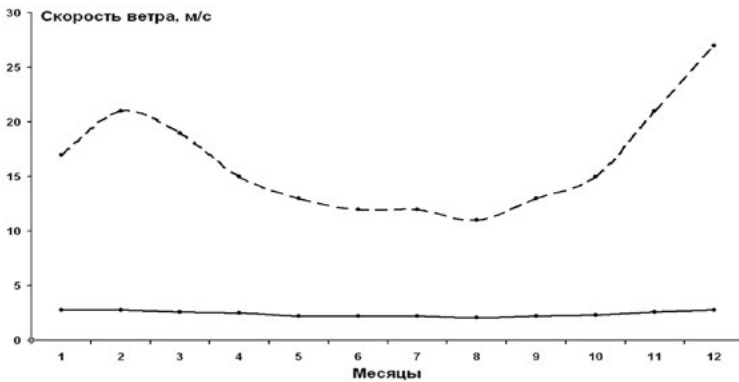


Рис. 2. Годовой ход средней (сплошная линия) и максимальной (пунктир) скорости ветра на ГМС Сочи

Аналогичные характеристики скорости ветра, полученные по данным в холодный сезон (октябрь–апрель) и рассчитанные за различные периоды, приведены в табл. 8 и 9.

Характеристики скорости ветра по крымскому побережью Чёрного моря показаны в табл. 8, а характеристики скорости ветра по черноморскому побережью Краснодарского края (российский сектор моря) — в табл. 9.

Таблица 8

Характеристики скорости ветра на черноморском побережье Крыма в холодный сезон

Период, годы	Средняя скорость ветра, м/с	Максимум скорости ветра, м/с	Дата максимума	Максимум ветра в порывах, м/с
1977–2024	3,78	43	29.12.1991	40
1981–2010	3,87	43	29.12.1991	40
1991–2020	3,66	43	29.12.1991	40
2021–2024	3,50	28	26.11.2023	40

Таблица 9

Характеристики скорости ветра на черноморском побережье Краснодарского края в холодный сезон

Период, годы	Средняя скорость ветра, м/с	Максимум скорости ветра, м/с	Дата максимума	Максимум ветра в порывах, м/с
1977–2024	4,08	38	25.11.1993	47
1981–2010	4,31	38	25.11.1993	47
1991–2020	4,06	38	25.11.1993	47
2021–2024	4,08	38	12.03.2021	34

Изменение средних характеристик скорости ветра на прибрежных станциях российского сектора Чёрного моря отчётливо прослеживается в последние десятилетия: налицо тенденция к снижению средних скоростей ветра и его порывов (рис. 3 и 4).

При рассмотрении временного хода средней и максимальной скорости ветра на различных станциях побережья Краснодарского края (для иллюстрации взята станция Сочи) и крымского побережья (для иллюстрации использованы данные станции

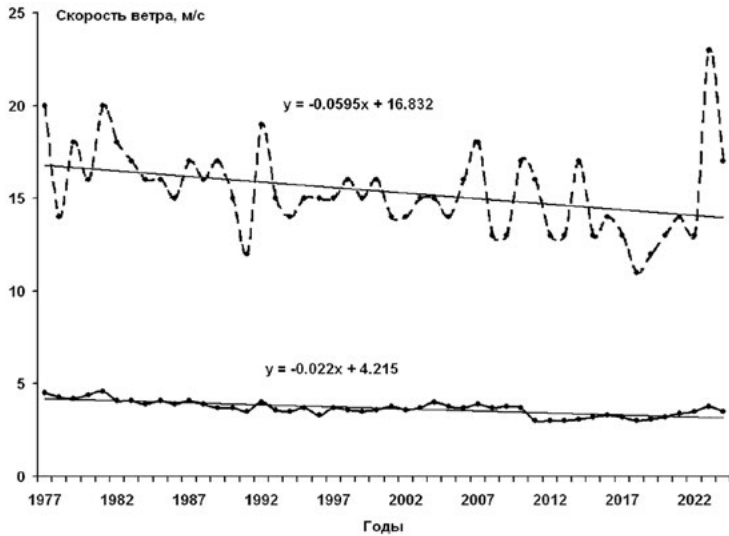


Рис. 3. Временной ход средней (сплошная линия) и максимальной (пунктир) скорости ветра на ГМС Севастополь

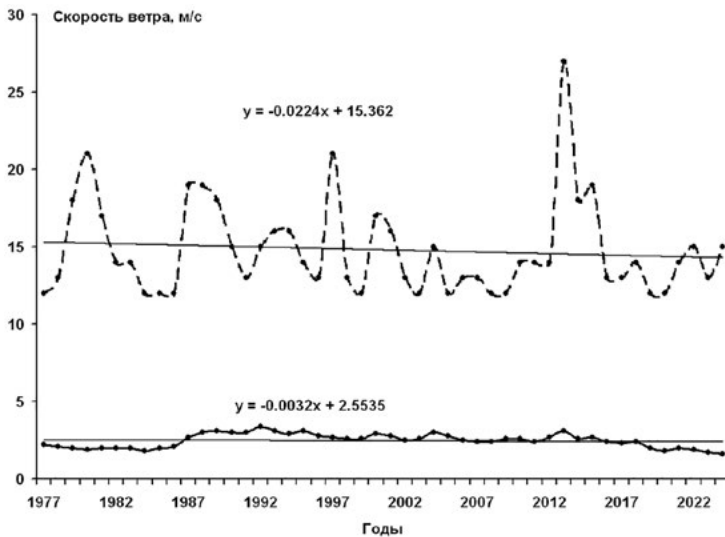


Рис. 4. Временной ход средней (сплошная линия) и максимальной (пунктир) скорости ветра на ГМС Сочи

Севастополь) заметен отрицательный тренд как в средней скорости ветра, так и в максимальной скорости ветра.

Отметим, что тренд максимальной скорости ветра более значителен, чем характеристики тренда средней скорости ветра.

Практически для всех гидрометеорологических станций Чёрного моря в последние десятилетия наблюдается отрицательный тренд скорости ветра (рис. 3 и 4). При этом, анализируя данные различных периодов (табл. 2–5), можно констатировать снижение скорости ветра на побережье в последние годы. Эта же тенденция отмечена в [4, 5].

При оценке спектров скорости ветра по методике, предложенной в [6], получено, что основной вклад в изменчивость скорости ветра в прибрежных районах Чёрного моря вносит низкочастотная составляющая. Помимо неё в колебаниях скорости ветра чётко выделяются квазигодовая и квазиполугодовая периодичности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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 и др. Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2014. 256 с.
2. 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.
3. 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 г.
4. Евстигнеев В.А. и др. Ветро-волновые условия прибрежной зоны Азово-Черноморского региона. Севастополь: ИПТС, 2017. 320 с.
5. Мельников В.А., Москаленко Л.В., Кузеванова Н.И. Ветровые циклы и климатические тренды Чёрного моря // Труды ГОИН. 2018. Вып. 219. С. 101–123.
6. Попов Г.В. Особенности опции «Анализ Фурье» в таблице Excel при проведении спектрального анализа и для выявления периодических закономерностей во временных рядах экономических показателей / Г.В. Попов. DOI: 10.17150/2411-6262.2023.14(4).1407-1417. EDN: OISMRT//Baikal Research Journal. 2023. Т. 14, № 4. С. 1407–1417.

УДК 551.465.7

О РАЗВИТИИ ТЁПЛОЙ И ХОЛОДНОЙ ФАЗ ЭЛЬ-НИНЬО — ЮЖНОГО КОЛЕБАНИЯ В 2023–2025 ГГ.

Н.А. Вязилова¹, А.Е. Вязилов²

¹ ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
nav@meteo.ru;

² ФГБУ «НПО ТАЙФУН», vyazilov@typhoon.obninsk.ru

Введение

Наиболее значимой модой изменчивости климатической системы океан-атмосфера в тропическом регионе является Эль-Ниньо — Южное колебание (ЭНЮК). Исследования показывают, что влияние ЭНЮК, как тёплых явлений (Эль-Ниньо), так и холодных (Ла-Нинья), на погоду и климат проявляется в различных районах земного шара. Наиболее значимое влияние, в том числе на экономику стран, общество и экосистемы, оказывают экстремально сильные события ЭНЮК.

Следует отметить, что несмотря на регулярное развитие событий ЭНЮК, наблюдаемых каждые 2–7 лет, в последние несколько десятилетий отмечаются значительные изменения в частоте, интенсивности и характере как тёплых событий — Эль-Ниньо, так и холодных — Ла-Нинья. Вследствие этих изменений в настоящее время в научной литературе было предложено разделять события ЭНЮК на разные типы в зависимости от пространственного распределения температуры поверхности океана (ТПО) в тропическом регионе Тихого океана [1]. Классический (или канонический) тип ЭНЮК определяется основной модой изменчивости ТПО и в литературе часто обозначается как канонический (или восточно-тихоокеанский). Центральнотихоокеанский тип ЭНЮК (или тип Модоки) обусловлен второй модой изменчивости ТПО в экваториальном регионе Тихого океана. Для идентификации явления Эль-Ниньо (Ла-Нинья) во многих исследованиях используется океанический индекс ЭНЮК (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 Nino 3-4, с координатами (120° з.д. – 170° з.д., 5° с.ш. – 5° ю.ш.), и публикуется на сайте Американского метеорологического центра. Согласно данному индексу, явление Эль-Ниньо (Ла-Нинья) представляет собой явление в экваториальной части Тихого океана, характеризующееся положительным (отрицательным) отклонением температуры поверхности океана от нормы по абсолютной величине на 0,5 °C и более в течение пяти последовательных месяцев.

Целью настоящей работы является изучение особенностей развития аномалий климатической системы в экваториальном районе Индийского и Тихого океанов в период 2023–2025 гг. в различные сезоны годового цикла. Исследование выполнено на основе данных массивов о температуре поверхности океана (NOAA Extended SST V5 [2]), атмосферных осадков (Arkin-Xie Precipitation STD — CMAP [3]) и удельной влажности, потенциальной температуры атмосферы и зональной составляющей скорости ветра на изобарических поверхностях в тропическом регионе (реанализ NCEP/NCAR-DOE [4]).

О типе и интенсивности Эль-Ниньо 2023–2024 гг.

Анализ временного изменения значений океанического индекса ЭНЮК показывает (рис. 1), что уже в осенние месяцы 2023 г. значения индекса существенно превышали +1,0, достигнув в декабре максимального положительного значения, равного +2. В последующие зимние месяцы 2024 г. значения океанического индекса превышали +1 и далее сохранялись положительными до апреля.

Знак и величина океанического индекса позволяет отнести Эль-Ниньо 2023/24 гг. к группе наиболее интенсивных тёплых событий ЭНЮК, отмеченных за период с 1979 по 2024 год, наряду с событиями 1982/83, 1997/98 и 2015/16 гг. Следует отметить, что перечисленные Эль-Ниньо, согласно индексам и многочисленным исследованиям относятся к классическому (или каноническому) типу. Эль-Ниньо 2023/24 гг. по характеру развития так же, как и

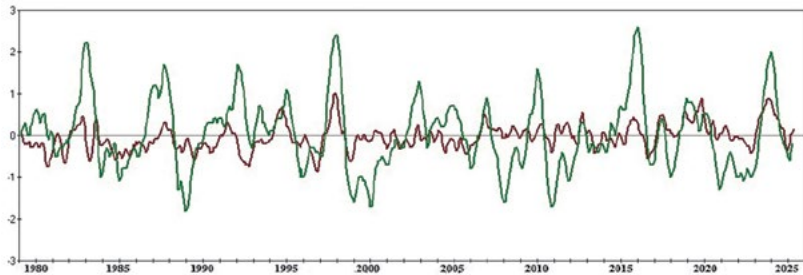


Рис. 1. Изменение значений океанического индекса ЭНЮК (линия зелёного цвета), а также скользящих средних значений за каждые три месяца индекса Индийского Диполя — DMI (линия коричневого цвета) [5].

вышеперечисленные интенсивные Эль-Ниньо, относится к каноническому типу. Канонический тип Эль-Ниньо 2023/24 гг. подтверждают карты пространственного распределения аномалий ТПО и осадков в экваториальном районе Тихого океана в летний и осенний сезоны 2023 года и в последующий зимний сезон 2023/24 гг. (рис. 2). Для сравнения на этом же рисунке представлено пространственное распределение ТПО и атмосферных осадков в осенний сезон 1997 г., год развития интенсивного Эль-Ниньо канонического типа. Максимальных значений аномалии ТПО в экваториальном районе Тихого океана достигли в осенние месяцы 2023 г. и наблюдались восточнее линии смены дат.

Важной особенностью пространственного распределения аномалий ТПО в летний и осенний сезоны, как в 2023 г., так и в 1997 г., является развитие отрицательных аномалий ТПО в восточной части и положительных аномалий в западной части экваториального района Индийского океана. Развитие аномалий ТПО в экваториальном регионе Тихого и Индийского океанов сопровождалось формированием интенсивных аномалий в поле атмосферных осадков. И в 2023, и в 1997 годах в Тихом океане наблюдалось смещение области осадков и конвекции из района Индонезии в центральную часть океана, в район линии смены дат, в Индийском океане — существенное ослабление осадков в районе океанической внутритропической зоны конвергенции

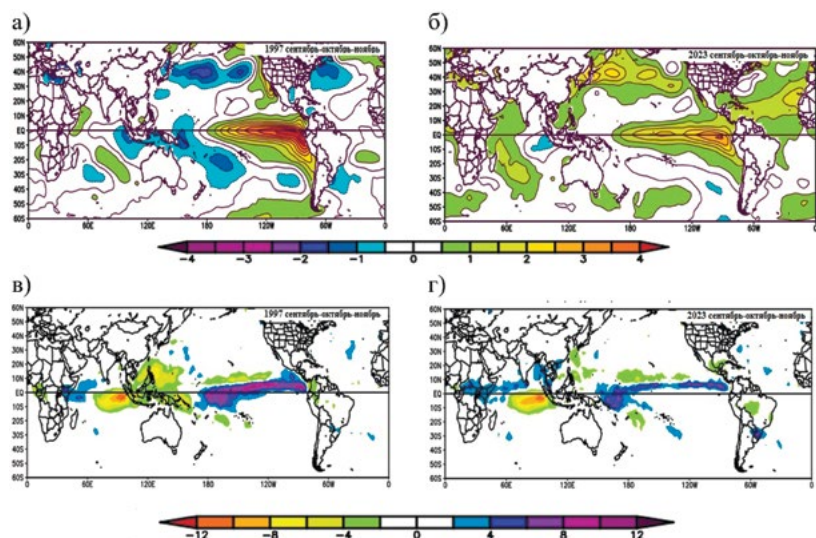


Рис. 2. Пространственное распределение средних значений аномалий температуры поверхности океана в °С (а, б) и атмосферных осадков в мм/сутки (в, г) в осенний сезон 1997 г. (а, в) и 2023 г. (б, г), в годы с Эль-Ниньо, рассчитанных, соответственно, по данным архивов ERSST.v5 SST [2] и Arkin-Xie Precipitation STD (CMAP) [3]

(ВЗК) в восточной части экваториального района океана и формирование интенсивных осадков в западной части океана. Характер аномалий ТПО и осадков в экваториальном районе Индийского океана свидетельствует о развитии и в 1997 г., и в 2023 г. положительной фазы Индийского диполя. Индийский диполь (Indian Ocean Dipole) является важной составляющей климатической системы тропиков Индийского и Тихого океанов, представляет моду климатической изменчивости в системе океан-атмосфера в экваториальном районе Индийского океана, имеет положительную и отрицательную фазы развития. В настоящее время для идентификации Индийского диполя используется индекс, впервые предложенный авторами работы [5], Dipole Mode Index — DMI, и который рассчитывается на основе аномалий температуры поверхности в экваториальном регионе Индийского океана как

разность аномалий ТПО в западной (50° в.д. – 70° в.д., 10° ю.ш. – 10° с.ш.) и юго-восточной части экваториального района Индийского океана (90° в.д. – 110° в.д., 10° ю.ш. – Equator). На рис. 1 представлен график временного изменения значений Dipole Mode Index (DMI) за период с 1979 по 2024 г., рассчитанных как скользящие средние за каждые три месяца. Из рисунка можно увидеть, что в годы наиболее интенсивных Эль-Ниньо — 1982, 1997, 2015 и 2023 — согласно положительным значениям индекса DMI, действительно наблюдалась положительная фаза Индийского диполя, однако наиболее высокие значения индекса отмечаются только в 1997 и 2023 гг.

Следует отметить, что и в 1997, и в 2023 году именно развитие положительной фазы Индийского диполя оказало решающее значение в усилении интенсивности летнего индийского муссона (летних осадков над Индией), который представляет важнейшее звено климатической системы в тропиках Индийского и Тихого океанов [6, 7].

Анализ вертикальных сечений распределения аномалий удельной влажности в течение 2023 г. показывает (рис. 3), что начиная с летнего и вплоть до зимнего сезона в экваториальной атмосфере Индийского и Тихого океанов наблюдалось значительное увлажнение нижних и средних слоёв атмосферы с максимальными значениями аномалий удельной влажности в районах аномальных осадков. В течение 1997 г., в отличие от 2023 г., в экваториальной атмосфере Индо-тихоокеанского региона, кроме зон аномального увлажнения в районах аномальных осадков, формируется обширная зона отрицательных аномалий удельной влажности в районе Индонезии. Максимальные значения аномалий удельной влажности, как положительные, так и отрицательные, наблюдались в зимний сезон 1997/98 гг. В районах максимального увлажнения средних слоёв тропосферы в верхней тропосфере, как в 2023, так и в 1997 году наблюдалось аномальное нагревание (рис. 3 в, г) с максимальными значениями аномалий потенциальной температуры в зимние сезоны 2023/24 и 1997/98 гг.

Увлажнение нижних и средних слоёв тропосферы с аномальным нагреванием верхних слоёв атмосферы в районах аномальных осадков в экваториальном районе Индо-Тихоокеанского региона сопровождалось формированием аномалий в поле зонального переноса в нижней и верхней тропосфере (рис. 3 д, е).

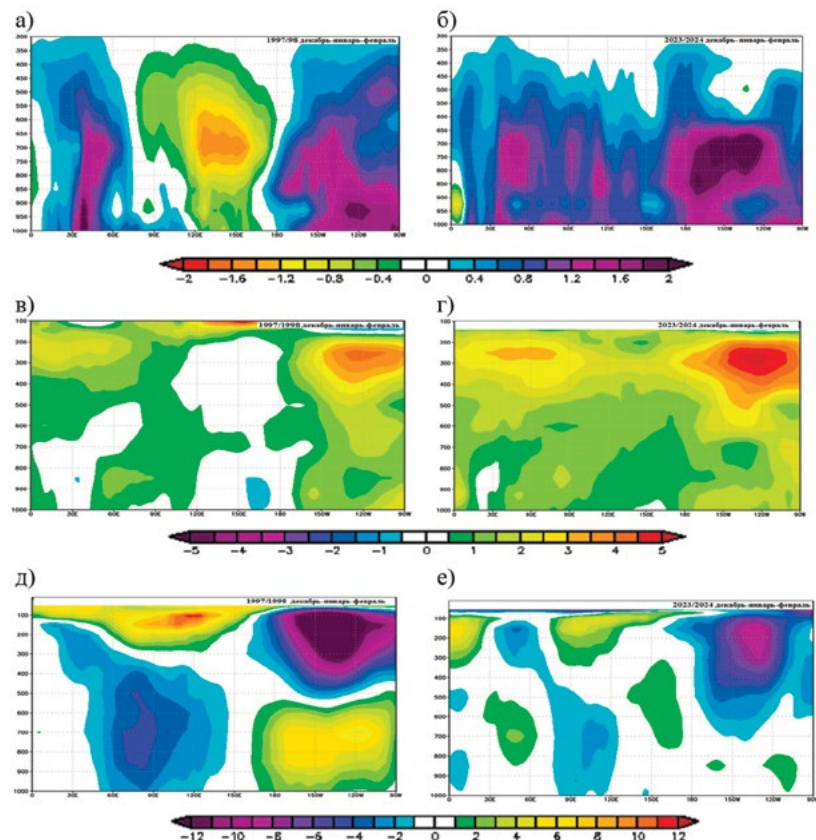


Рис. 3. Вертикальное распределение аномалий удельной влажности в г/кг (а, б), потенциальной температуры атмосферы в °K (в, г), и зональной скорости ветра в м/с^{-1} (д, е), осреднённых в полосе широт (10° ю.ш.–10° с.ш.) экваториального региона Индийского и Тихого океанов в зимний сезон (декабрь–январь–февраль) 1997/98 гг. (а, в, д) и 2023–2024 гг. (б, г, е), рассчитанных по данным архива NCEP-DOE [4]

Картина аномалий зонального переноса, наблюдаемая в течение развития Эль-Ниньо в 2023 г., в общем аналогична картине зонального переноса в 1997 г. В экваториальном районе Индийского океана уже в летние месяцы наблюдалось ослабление западного переноса в нижних слоях тропосферы и восточного переноса в верхних слоях как в 1997, так и в 2023 году. В западной и центральной части экваториального района Тихого океана, наоборот, наблюдалось усиление западного переноса в нижней тропосфере и восточного — в верхней. Максимальных значений аномалии зонального переноса достигают в последующий зимний сезон. Однако следует отметить, что интенсивность аномалий зонального переноса в нижних слоях тропосферы в 2023 г. более слабая по сравнению с аномалиями зонального переноса, наблюдаемыми в 1997 году.

О развитии холодной фазы ЭНЮК в 2024–2025 гг.

Анализ временного изменения океанического индекса ЭНЮК показал (рис. 1), что значение индекса изменилось с положительного на отрицательное уже в начале осеннего сезона 2024 г., значимых значений — до $-0,5^{\circ}\text{C}$ — достигло в декабре-январе, однако в последующие месяцы абсолютное значение индекса уменьшилось, что не позволяет идентифицировать развитие Ланинья в зимний сезон 2024/25 гг.

Следует отметить, что и 1998, и 2024 годы отличились усилением относительно многолетней нормы летних атмосферных осадков над Индией [8, 9]. Существенным отличием 1998 года является развитие в осенний сезон отрицательной фазы Индийского диполя, сопровождавшейся отрицательными аномалиями ТПО в западной и южной частях экваториального района Индийского океана и экстремально интенсивными осадками в районе Индонезии (рис. 4).

В поле аномалий температуры поверхности в осенние месяцы 2024 года отмечены невысокие отрицательные аномалии ТПО в экваториальном районе Тихого океана и довольно значительные положительные аномалии во всём экваториальном регионе Индийского океана, которые сохранялись и в последующий зимний

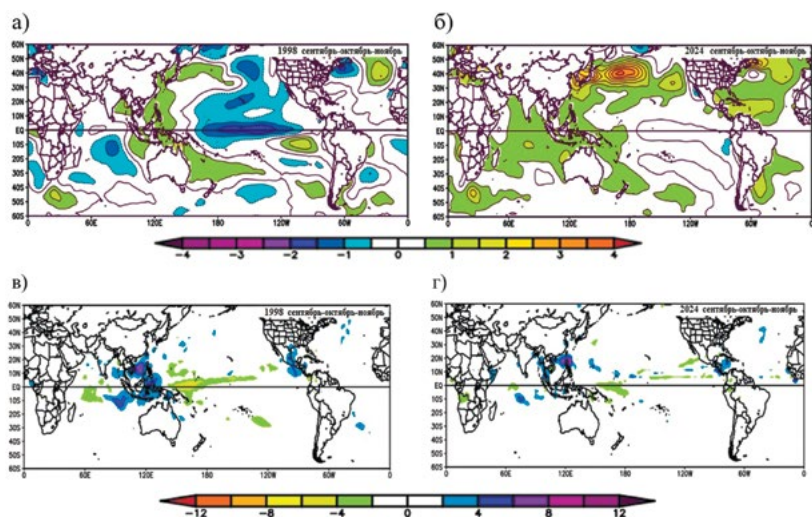


Рис. 4. Пространственное распределение средних значений аномалий температуры поверхности океана в °C (а, б) и атмосферных осадков в мм/сутки (в, г) в осенний сезон 1998 г. (а, в) и 2024 г. (б, г), в годы с Ла-Нинья, рассчитанных, соответственно, по данным архивов ERSST.v5 SST [2] и Arkin-Xie Precipitation STD (CMAP) [3]

сезон 2024/25 гг. и сопровождалась интенсивными осадками. Анализ вертикальных сечений распределения аномалий удельной влажности показывает (рис. 5), что, начиная с летнего и вплоть до зимнего сезона в 2024 г., в отличие от 1998 г., в экваториальной атмосфере Индийского океана и в районе Индонезии наблюдалось значительное увлажнение нижних и средних слоёв атмосферы с максимальными значениями аномалий удельной влажности в зимний сезон 2024/25 гг. В экваториальном районе Тихого океана и в западной части Индийского океана и в 2024, и в 1998 г. формировались сухие зоны, однако области этих зон и интенсивность отрицательных аномалий в 2024 г. существенно слабее, по сравнению с 1998 годом.

В районе максимального увлажнения в верхней тропосфере в зимний сезон 2024/25 гг. над экваториальным районом Индийского и западной частью Тихого океана наблюдалось аномальное

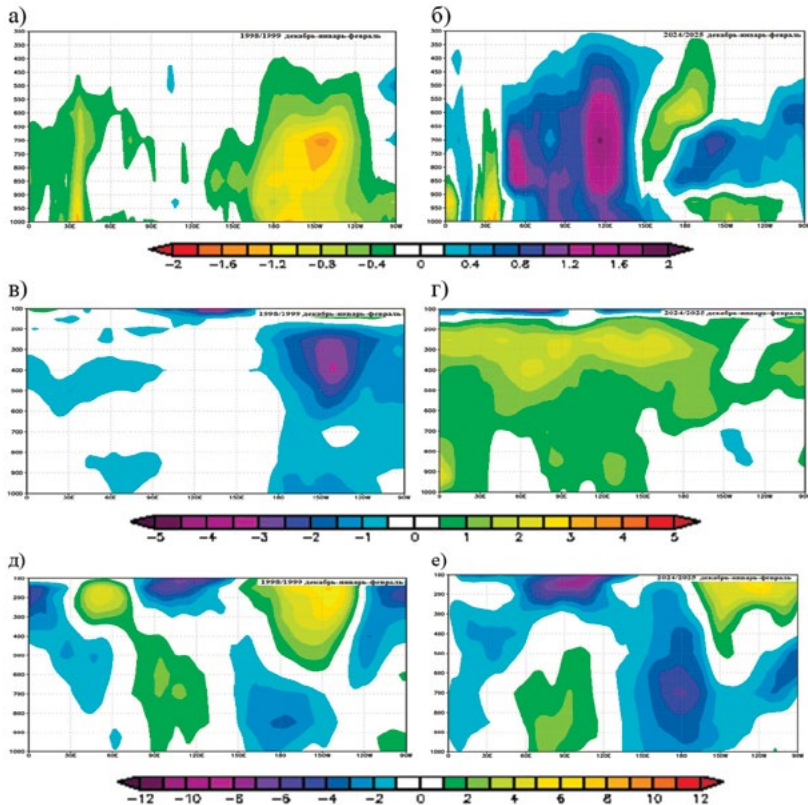


Рис. 5. Вертикальное распределение аномалий удельной влажности в г/кг (а, б), потенциальной температуры атмосферы в °K (в, г) и зональной скорости ветра в м/с^{-1} (д, е), осреднённых в полосе широт (10° ю.ш.– 10° с.ш.) экваториального региона Индийского и Тихого океанов в зимний сезон (декабрь–январь–февраль) 1998/99 гг. (а, в, д) и 2024/25 гг. (б, г, е), рассчитанных по данным архива NCEP-DOE [4]

нагревание в верхних слоях тропосферы (рис. 5г). Зимний сезон 1998 г. отличился интенсивным охлаждением средних и верхних слоёв тропосферы над экваториальным районом Тихого океана, районом интенсивных отрицательных аномалий ТПО.

В поле зонального переноса в нижней тропосфере и в зимний сезон 1998/99 гг., и в зимний сезон 2024/25 гг. наблюдались

интенсивные отрицательные аномалии в западной части экваториального района Тихого океана и положительные — в восточной части экваториального района Индийского океана, что говорит об активизации внутритропической зоны конвергенции (ВЗК) в нижней тропосфере в районе архипелага Индонезии, районе климатического положения ВЗК и атмосферных осадков в зимний сезон.

В верхней тропосфере в зимний сезон 1998/99 гг. сформировалась интенсивная зона дивергенции потоков над районом Индонезии, которая совместно с интенсивной зоной конвергенции в нижней тропосфере обеспечила условия для интенсификации восходящих потоков в данном районе и свидетельствует о положении вертикальной восходящей ячейки циркуляции в данном районе в данный сезон. Знак и интенсивность аномалий зонального переноса над центральным районом экваториального региона Тихого океана и над западной частью экваториального района Индийского океана свидетельствуют о положении в данных районах нисходящих ячеек циркуляции и сухой зоны, зоны ослабления осадков. В зимний сезон 2024/25 гг. картина аномалий зонального переноса показывает смещение зоны дивергенции в верхней тропосфере в западную часть экваториального района Тихого океана, что говорит не только об усилении, но и о значительном расширении зоны восходящих движений в районе Индонезии относительно климатической нормы.

Заключение

Сценарий развития климатических аномалий в тропическом регионе Индийского и Тихого океанов в течение 2023 г. фактически соответствует сценарию развития климатических аномалий в указанном регионе, наблюдавшемуся в 1997 году. И сценарий, и интенсивность аномалий климатической системы в экваториальном районе Индийского и Тихого океанов, отмеченные в процессе развития Эль-Ниньо в 2023–2024 гг., позволяет отнести данное Эль-Ниньо к экстремальным тёплым событиям ЭНЮК.

Важнейшей особенностью и 2023, и 1997 г. является не только развитие интенсивной положительной фазы ЭНЮК, Эль-Ниньо,

в Тихом океане в осенние и последующие зимние месяцы, но и интенсивной положительной фазы дипольного явления в регионе Индийского океана в летние и осенние месяцы, что подтверждается климатическими индексами, публикуемыми на сайте Национального метеорологического центра США.

Особенностью развития климатических аномалий в 2024 г. является невысокая интенсивность отрицательных аномалий ТПО в экваториальном районе Тихого океана и короткая продолжительность значимых значений океанического индекса, что говорит о развитии слабой и короткой холодной фазы ЭНЮК, в отличие от интенсивного Ла-Нинья, наблюдавшегося в зимний сезон 1998/99 гг. и продолжавшегося более двух лет, вплоть до весенних месяцев 2001 г. В отличие от 1998 г., отличившегося развитием интенсивной холодной фазы Индийского диполя, особенностью 2024 г. является сохранение в течение года интенсивных положительных аномалий температуры поверхности океана (ТПО) во всём экваториальном районе Индийского океана, что, возможно, оказало влияние на положение и интенсивность зональной и меридиональной ячеек циркуляции в тропическом регионе Индийского и Тихого океанов, и, как следствие, на развитие холодных аномалий ТПО в центральной части Тихого океана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kao H.-Y., Yu J.-Y. Contrasting eastern-Pacific and central-Pacific types of ENSO // *J. Climate*. 2009. Vol. 22. P. 615–6322.
2. Huang B., Trorne P.W., Banzon V.F. et al. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, Version 5 (ERSSTv5): Upgrades, Validations, and Intercomparisons // *J. Climate*. 2017. Vol. 30. P. 8179–8205.
3. 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. Vol. 78. P. 2539–2558.
4. Kanamitsu M., Ebisuzaki W., Woollen J., Yang S.-K., Hnilo J.J., Fiorino M., Potter G.L. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 2002. Vol. 83. P. 1631–1643.
5. Saji N.H., Goswami B.N., Vinayachandran P.N., Yamagata T. A Dipole Mode in the Tropical Indian Ocean // *Nature*. 1999. Vol. 401. P. 360–363.

6. Вязилова Н.А., Гущина Д.Ю. Об особенностях развития аномалий в тропиках Индийского и Тихого океанов в отдельные годы с Эль-Ниньо // Метеорология и гидрология. 2006. № 10. С. 24–35.

7. Вязилова Н.А. Муссонная циркуляция в Индийском океане и Эль-Ниньо — Южное колебание // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 77–98.

8. 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.

9. Rohini P. et al. Observed rainfall features during the southwest monsoon 2024 // Monsoon 2024: A Report, Indian Meteor. Department, New Delhi, India, 2025. P. 9–29.

УДК 551.571.7

СРЕДНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЧИВОСТИ КОЛИЧЕСТВА ОСАЖДЁННОЙ ВОДЫ В ТРОПОСФЕРЕ ПО РАДИОЗОНДОВЫМ ДАННЫМ РОССИЙСКИХ СТАНЦИЙ

А.В. Хохлова

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

Введение

Влажность в атмосфере является одним из важных климатических параметров (ECV, Essential Climatic Variables), рекомендованных ВМО для мониторинга и исследования. Основными характеристиками влажности являются удельная, абсолютная и относительная влажность, отношение смеси, а также содержание осаждённой воды в столбе. В связи с глобальными изменениями климата исследованию влажности в атмосфере и её изменчивости уделяется значительное внимание, поскольку потепление приводит к тому, что в атмосфере может содержаться больше водяного пара. Обзорную информацию по изменению влагосодержания в атмосфере можно увидеть на веб-ресурсе, на котором рассмотрены различные аспекты изменения климата [3]. Согласно теоретическим оценкам относительная влажность должна увеличиваться на 7 % при повышении температуры на 1 градус, однако наблюдения не показывают таких изменений. В ряде работ показано, что тенденции изменчивости влажности имели разный знак в разные периоды времени. Считается, что в среднем по всему земному шару содержание водяного пара в атмосфере увеличивается примерно на 0,4 мм/декаду. В то же время глобально осреднённая относительная влажность имеет тенденцию к уменьшению. Эта картина не является общей для всех регионов. Исследования влажности в атмосфере и её изменчивости проводятся в основном

данным массивов реанализа [2, 5, 7, 10], по спутниковым данным [7], по данным приборов для мониторинга содержания озона (Ozone Monitoring Instrument OMI) [4], по радиозондовым данным [7], по данным специализированного массива HadISDN [6]. Это специализированный глобальный массив значений приземной среднемесячной влажности на сетке 5×5 градусов. В массиве представлены средние значения и среднеквадратические отклонения различных характеристик влажности за период с 1973 года по текущее время.

Исследования выполнены для разных пространственных масштабов и разных временных периодов: по всему земному шару, для полушарий, для отдельных регионов [1, 8, 9]. Тенденции изменчивости влажности имеют различный характер над сушей, над морем, в разных регионах и в разные периоды времени. Следует также отметить, что исследования проводятся в основном для приземной влажности. Работ, посвящённых содержанию водяного пара в тропосфере, значительно меньше.

В настоящей работе выполнен анализ пространственного распределения средних значений и тенденций изменчивости влажности по многолетним радиозондовым данным российских аэрологических станций за период 1979–2024 гг. В качестве характеристики влажности выбрано содержание осаждённой воды, т.е. количество водяного пара в столбе воздуха от поверхности земли до стандартной изобарической поверхности 400 гПа.

Данные и метод

Для анализа использованы радиозондовые данные 118 российских аэрологических станций за период 1979–2024 гг. Содержание осаждённой воды Q в столбе от поверхности земли до 400 гПа рассчитано для каждой станции за каждый срок за период 1979–2024 гг. Для расчёта характеристик влажности имеются различные формулы. В настоящей работе для определения характеристик влажности воздуха использовались следующие формулы.

- Относительная влажность RH в %:

$$RH = 10^X \cdot 100,$$

где $X = \frac{D \cdot A \cdot B}{(B + T) \cdot (B + T - D)}$; $A = 7,665$; $B = 243,3$; T — темпера-

тура воздуха в градусах С; D — дефицит точки росы в градусах С.

- Давление насыщающего пара:

$$PHS = 6,1121 \cdot \exp \left(\frac{\left(18,678 - \frac{T}{234,5} \right) \cdot T}{T + 257,15} \right).$$

- Парциальное давление водяного пара PH :

$$PH = PHS \cdot TH.$$

Массовая доля влаги q :

$$q = \frac{622 \cdot PH}{P - 0,378 \cdot PH},$$

где P — давление воздуха.

- Количество осаждённой воды (интегральное влагосодержание) Q в слое:

$$Q = \frac{1}{g} \int_{P_1}^{P_2} q \cdot dp,$$

где g — ускорение свободного падения; P_1 и P_2 — давление воздуха на границах слоя.

После определения количества осаждённой воды за каждый срок выполнено осреднение по календарным месяцам года и по сезонам. Для оценки тенденций изменчивости построены временные ряды средних значений за каждый зимний и каждый летний сезон за период 1979–2024 гг. Для этих рядов методом наименьших квадратов получены коэффициенты линейных трендов. Значительную проблему при оценке тенденций изменчивости представляют пропуски в данных, особенно длительные. На некоторых российских станциях имеются пропуски в несколько месяцев и даже лет. На ряде станций, расположенных на севере европейской части России, в течение нескольких лет отсутствуют данные измерений влажности на высотах выше 400 гПа. Пропуски в данных, особенно длительные, нарушают однородность временных рядов и не позволяют сделать корректные оценки

временной изменчивости. Для того, чтобы минимизировать искажения временных рядов отсутствующие среднесезонные значения заменены соответствующими значениями за предыдущий год. Ниже средние значения количества осаджённой воды даны в единицах $\text{кг}/\text{м}^2$, что эквивалентно значениям в мм.

Результаты

На рис. 1 и 2 дано географическое распределение среднего содержания осаджённой воды Q в зимний и летний сезоны. Осреднение выполнено за все сезоны исследуемого периода 1979–2024 гг.

Диапазон средних значений Q на станциях составляет 1,74–11,94 $\text{кг}/\text{м}^2$. В зимний период наибольшее содержание влаги имеет место на западе и на юге европейской части России, где количество осаджённой воды достигает 9–10 $\text{кг}/\text{м}^2$. В более восточных регионах количество осаджённой воды зимой существенно меньше,



Рис. 1. Среднее за весь период количество осаджённой воды Q в столбе от поверхности земли до 400 гПа в зимний сезон. На врезке даны минимальное (Оймякон) и максимальное (Туапсе) значения Q

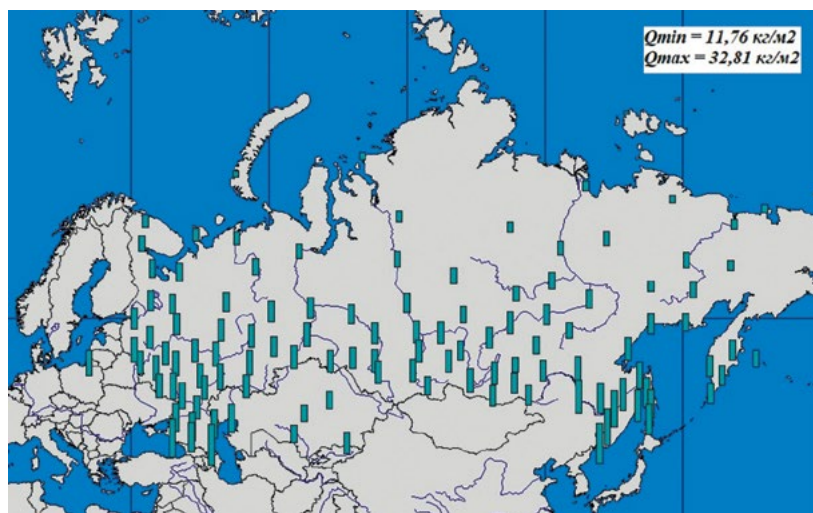


Рис. 2. Среднее за весь период количество осаждаемой воды Q в столбе от поверхности земли до 400 гПа в летний сезон. На врезке даны минимальное (о. Хейса) и максимальное (Махачкала) значения Q

минимальные значения имеют место в Якутии, т.е. в области восточно-сибирского антициклона. Восточнее, с приближением к океану, в Приморском крае и на Камчатском полуострове количество влаги увеличивается. Средние значения количества осаждаемой воды зимой в диапазоне долгот 30–60 градусов долготы составляют $7,3 \text{ кг/м}^2$, в диапазоне 60–90 градусов долготы — $5,1 \text{ кг/м}^2$, в диапазоне 90–170 градусов долготы — $3,2 \text{ кг/м}^2$.

В летний сезон таких сильных различий в содержании влаги не наблюдается, хотя в области восточно-сибирского антициклона содержание влаги существенно меньше, чем в других регионах. Средние значения количества осаждаемой воды составляют $21\text{--}22 \text{ кг/м}^2$ во всех регионах, кроме северной части Сибири.

Анализ временных рядов среднесезонных значений показал, что количество осаждаемой воды в целом уменьшается, хотя в разных регионах тенденция изменчивости может быть как положительной, так и отрицательной. В целом по всем станциям

статистическая значимость трендов по критерию Стьюдента невысока. Примерно на одной трети станций коэффициенты линейных трендов имеют уровень значимости 0,10, на остальных станциях тренды можно считать незначимыми. Однако, поскольку имеют место регионы с одинаковыми тенденциями, можно предположить, что они отражают реальную изменчивость влагосодержания в этих регионах.

На рис. 3 и 4 показано географическое распределение коэффициентов линейных трендов по всем станциям для зимнего и летнего сезонов. Как видно, увеличение количества осаждаемой воды имеет место на западе европейской части территории РФ и в прибрежных зонах, в то время как для восточной части европейской территории и для большей части азиатской территории скорее можно говорить об уменьшении.

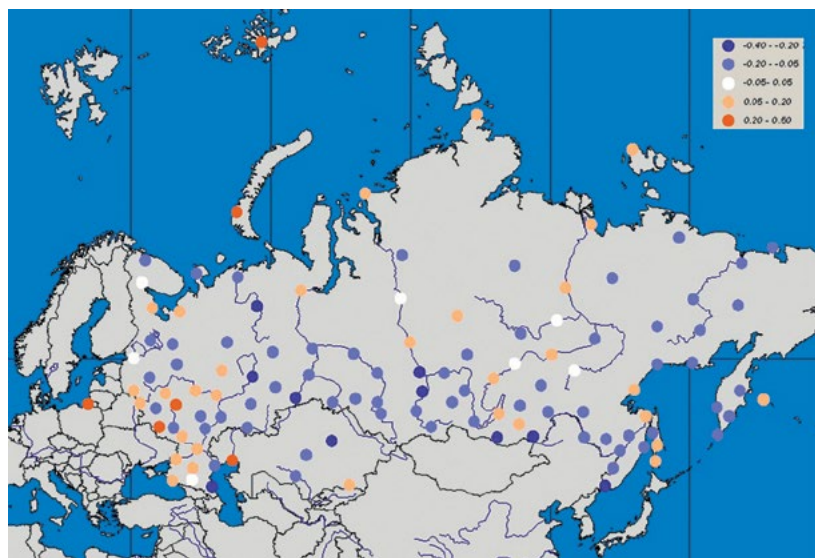


Рис. 3. Коэффициенты линейных трендов количества осаждаемой воды в столбе от поверхности земли до 400 гПа в зимний сезон. На врезке приведён диапазон значений коэффициентов линейных трендов в кг/м^2 за 10 лет



Рис. 4. Коэффициенты линейных трендов количества осаждаемой воды в столбе от поверхности земли до 400 гПа в летний сезон. На врезке приведён диапазон значений коэффициентов линейных трендов в $\text{кг}/\text{м}^2$ за 10 лет

Заключение

Полученные результаты позволяют предположить, что на большей части территории России за исследуемый период имело место уменьшение количества влаги в атмосфере. Исключение составляют запад европейской части, южная часть Восточной Сибири и побережье Северного Ледовитого и Тихого океанов, где влагосодержание увеличивается. Средний по всем станциям коэффициент линейного тренда составляет $-0,03 \text{ кг}/\text{м}^2$ за 10 лет зимой и $-0,06 \text{ кг}/\text{м}^2$ за 10 лет — летом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалёва А.А., Зеленина Л.И. Анализ изменения влажности воздуха в зоне Арктики и средней полосы (на примере городов Архангельск и Вологда) // Исследования в области естественных наук. 2015. № 3. [Электронный ресурс]. URL: <https://science.snauka.ru/2015/03/9550> (дата обращения: 03.06.2025).

2. *Adeliyi T.E., Akinsanola A.A.* Recent trends and variability of temperature and atmospheric water vapor over South Asia // *Atmos. Res.* 2024. Vol. 309. 107556. URL: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2024.107556> (PDF) Recent trends and variability of temperature and atmospheric water vapor over South Asia (дата обращения: 25.06.2025).
3. *Allan R.P. et al.* Global Changes in Water Vapor 1979–2020 // *J. Geophys. Res.: Atmospheres.* 2022. 127(12). DOI: 10.1029/2022JD036728 (PDF) Global Changes in Water Vapor 1979–2020 (дата обращения: 25.06.2025).
4. *Climate Signals | Mapping the Impact of Climate Change* (дата обращения: 25.06.2025).
5. *Borger C., Beirle S., Wagner T.* Analysis of global trends of total column water vapour from multiple years of OMI observations // *Atmos. Chem. Phys.* 2022. Vol. 22. P. 10603–10621. DOI: 10.5194/acp-2022-149 (PDF) Analysis of global trends of total column water vapour from multiple years of OMI observations (дата обращения: 25.06.2025).
6. *Douville H., Qasmi S., Ribes A., Bock O.* Global warming at near-constant tropospheric relative humidity is supported by observations // *Communication Earth & Environment.* <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00561-z> (PDF) Global warming at near-constant tropospheric relative humidity is supported by observations (дата обращения: 25.06.2025).
7. *Jones R.N., Ricketts J.H.* Regime changes in atmospheric moisture under climate change // *Atmosphere.* 2022. Vol. 13, N 10. 1577. <https://doi.org/10.3390/atmos13101577> (PDF) Regime Changes in Atmospheric Moisture under Climate Change (дата обращения: 25.06.2025).
8. *Krawczyk E.* Long-Term Changes in the Relative Humidity in Poland in 1966–2020 // *International J. of Climatology.* 2024. DOI: 10.1002/joc.8706. Long-Term Changes in the Relative Humidity in Poland in 1966–2020 (дата обращения: 25.06.2025).
9. *Trenberth K.E., Fasullo J., Smith L.* Trends and variability in column-integrated atmospheric water vapor // *Climate Dynamics.* 2005. Vol. 24. P. 741–758. DOI: 10.1007/s00382-005-0017-4 (PDF) Trends and variability in column-integrated atmospheric water vapor (дата обращения: 29.07.2025).
10. *Vicente-Serrano S.M., Nieto R., Gimeno L., Azorin-Molina C., Drumond A., Kenawy A., Dominguez-Castro F., Tomas-Burguera M., Peña-Gallardo M.* Recent changes of relative humidity: regional connections with land and ocean processes // *Earth Syst. Dynam.* 2018. Vol. 9. P. 915–937. www.earth-syst-dynam.net/9/915/2018/ (PDF) Variations in Moisture Supply from the Mediterranean Sea during Meteorological Drought Episodes over Central Europe (дата обращения: 25.06.2025).

УДК 551.465.7

О ЦИКЛОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА NCEP-DOE

Н.А. Вязилова

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

Введение

Внетропические циклоны, выходящие на Европейскую территорию России (ЕТР), могут оказывать значительное влияние на погоду и климат, а также на жизнь общества и различные отрасли экономики в данном регионе. Экстремальные циклоны могут сопровождаться аномально низким давлением, штормовой скоростью ветра и значительным экономическим ущербом. Согласно результатам, представленным в [1], более половины циклонов, идентифицированных на ЕТР за период с 1979 по 2018 г., и отличившихся экстремально глубоким атмосферным давлением и штормовой скоростью ветра, генерируются в Скандинавском регионе, районе Балтийского и Северного морей, которые относятся к северной зоне шторм-трека атлантических циклонов. Влияние этих циклонов проявляется в основном в северо-западном и центральном регионе ЕТР. Другим районом генерации циклонов, выходящих на ЕТР, является Средиземноморский регион, где, согласно выводам [1], было идентифицировано начало более трети всех экстремальных штормовых циклонов, вышедших на ЕТР за период исследования. Средиземноморские циклоны в исследованиях часто разделяют на две группы — западные и восточные [1–3]. Некоторые западные средиземноморские циклоны выходят на ЕТР через умеренные широты, часть циклонов, смещаясь через Балканский п-ов, выходят в район Чёрного моря. Средиземноморские циклоны из восточной части Средиземноморского региона выходят на ЕТР через Малую Азию и Чёрное

море, основное влияние оказывают на юго-восточные районы ЕТР, однако иногда могут продвигаться в центральные и северные районы страны.

К отдельной категории относятся полярные циклоны, выходящие на ЕТР из субполярных районов Атлантики. Максимальная плотность генезиса полярных циклонов, в том числе плотность центров глубоких и штормовых циклонов, наблюдается в прибрежном районе Баренцева и Норвежского морей в зимний сезон [4]. Большую часть циклонов, генерируемых в районе Баренцева моря, откуда, в основном, на ЕТР и выходят полярные циклоны, составляют циклоны с продолжительностью жизни не более суток. Влияние таких циклонов проявляется в прибрежной субполярной зоне РФ.

Количество циклонов, дошедших до ЕТР с акватории Атлантики, невелико, однако все они за историю жизни отличились низкими значениями атмосферного давления (глубиной циклона), а большинство из них — и штормовой скоростью приземного ветра. Циклоны с акватории Атлантики могут двигаться в направлении материка в основной зоне шторм-трека, перед выходом на ЕТР проходя через районы Северного и Балтийского морей. Циклоны из южной акватории Атлантического океана, достигая материка, могут сразу подниматься в северные широты, а могут двигаться в направлении Средиземного моря, и уже отсюда — далее в северо-восточном направлении. Большая часть атлантических циклонов, выходящих на ЕТР, имеют длину жизни более четырёх суток, оказывают влияние на погоду в северо-западном и западном районе ЕТР. Следует отметить, что к моменту выхода на ЕТР интенсивность атлантических циклонов ослабевает.

В оценке циклонической и штормовой активности сведения о траекториях внетропических циклонов и штормов, информация о районах генезиса и затухания циклонов, длине жизни циклонов и пути их передвижения относятся к числу наиболее распространённых и востребованных показателей. Для оценки экстремальности циклонической и штормовой активности в каком-либо районе не менее важными показателями являются также такие параметры, как количество центров циклонов, идентифицированных в

выбранном районе за определённый период времени и отличившихся экстремальными значениями атмосферного давления или штормовой скоростью ветра.

Целью настоящей работы является анализ распределения интегрального количества центров циклонов, идентифицированных на Европейской территории России, по районам генезиса траекторий циклонов, вышедших на ЕТР за период исследования с октября 1999 по сентябрь 2024 года. Распределение центров циклонов представлено для зимней и летней половины года по градациям атмосферного давления и максимальной скорости ветра.

Данные и методы исследования

Центры циклонов и траектории их смещения в настоящем исследовании рассчитаны на основе метода автоматической идентификации по 6-часовым данным атмосферного давления на уровне моря (MSLP) в узлах сетки $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ архива Национального метеорологического центра США, реанализа-2 NCAR/NCEP-DOE [5]. Результаты исследования представлены за период с октября 1999 по сентябрь 2024 года.

Идентификация циклонов проведена в регионе Северной Атлантики и Европы с координатами 30° с.ш. – 80° с.ш., 50° з.д. – 70° в.д. Используемые в данной работе метод идентификации циклонов и алгоритм смещения циклонов более подробно описаны в предыдущих работах авторов [6].

Для анализа скорости приземного ветра в районах циклонов использовались 6-часовые данные составляющих скорости ветра на поверхности 925 гПа. Возможность использования данных скорости ветра на выбранной поверхности в качестве приземных подтверждается анализом взаимосвязи между ветром на поверхности 925 гПа и скоростью ветра на уровне 10 м, проведённым в [7] по данным реанализа ERA-40. В настоящей работе максимальная скорость ветра и максимальная интенсивность осадков выбиралась из района, близкого к центру циклона радиусом в 5 градусов.

Из всех идентифицируемых циклонов для анализа отбирались только циклоны, выходящие на Европейскую территорию России (45° с.ш. – 65° с.ш., 30° в.д. – 60° в.д.) и имеющие длину жизни от трёх суток и более. Все траектории циклонов, выходящие на ЕТР, разделены на группы по районам генезиса, выделенные на рис. 1. Район генезиса для каждого циклона определялся по координатам начальной точки его траектории. Всего выделено шесть районов генезиса: район Северного моря (на карте — Арктический регион (AP), акватория Северной Атлантики (AT), район Северного моря (EUW), район Балтийского моря и Скандинавии (EUE), западная часть (MDW) и восточная часть (MDE) Средиземноморского региона. Для каждого района генезиса рассчитано суммарное количество центров циклонов в траекториях, идентифицированных на ЕТР в зимние и летние сезоны за период исследования (25 летних и 25 зимних сезонов): центров глубоких циклонов с давлением от 970 гПа и менее, а также центров циклонов со штормовой скоростью ветра от $17,2 \text{ м/с}^{-1}$ и более. Представлены карты пространственного распределения плотности центров глубоких и штормовых циклонов в траекториях циклонов, выходящих на ЕТР из районов генезиса.

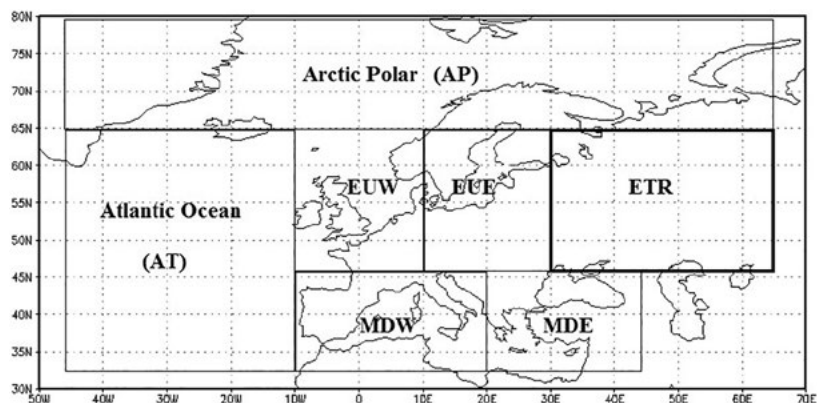


Рис. 1. Районы генезиса траекторий циклонов, выходящих на Европейскую территорию России

О повторяемости глубоких циклонов на Европейской территории России

На рис. 2 представлены карты пространственного распределения плотности центров глубоких циклонов в траекториях циклонов, вышедших на ЕТР из различных районов генезиса в летнюю половину года за весь период исследования, а в табл. 1 — распределение количества центров циклонов, идентифицированных исключительно на Европейской территории России за весь период исследования и в летнюю, и в зимнюю половину года по районам генезиса циклонов.

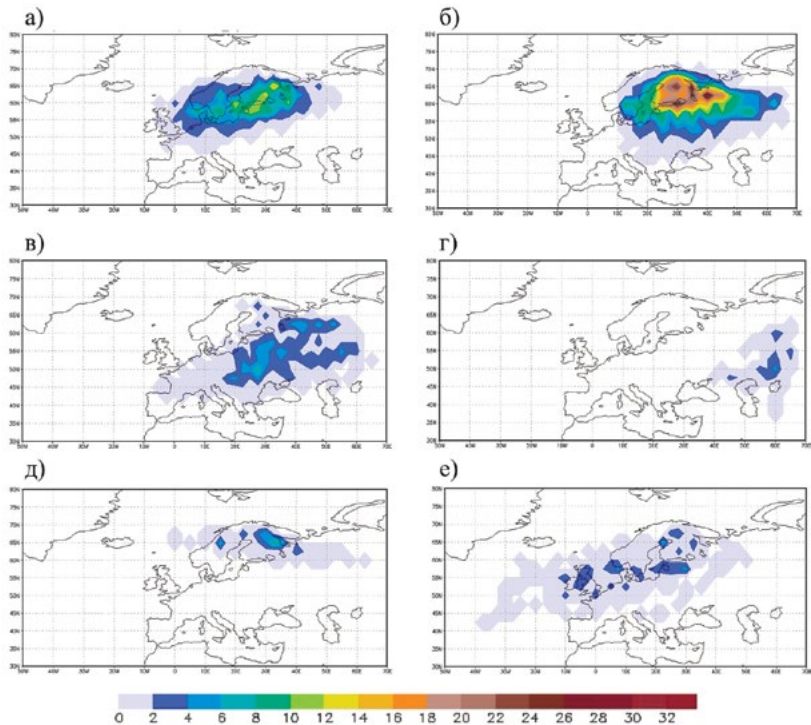


Рис. 2. Распределение плотности центров циклонов с давлением от 970 гПа и менее в траекториях циклонов, вышедших на ЕТР в летнюю половину года за период исследования из различных районов генезиса (рис. 1): а) EUW, б) EUE, в) MDW, г) (MDE), д) AP, е) AT

Таблица 1

Суммарное количество центров циклонов с атмосферным давлением более, равным и менее 970 гПа, идентифицированных на Европейской территории России в зимнюю и летнюю половину года за период исследования 1999–2024 гг., по районам генезиса траекторий циклонов, выходящих на ЕТР

Районы генезиса	Октябрь – март		Апрель – сентябрь	
	р > 970 гПа	р ≤ 970 гПа	р > 970 гПа	р ≤ 970 гПа
AP (67° с.ш.–80° с.ш., 50° з.д.–60° в.д.)	79	25	110	37
AT (30° с.ш.–65° с.ш., 50° з.д.–10° з.д.)	55	24	33	25
EUW (46° с.ш.–65° с.ш., 10° з.д.–10° в.д.)	201	171	79	220
EUE (46° с.ш.–65° с.ш., 10° в.д.–30° в.д.)	1115	1144	855	1262
MDW (35° с.ш.–45° с.ш., 10° з.д.–20° в.д.)	398	119	357	205
MDE (35° с.ш.–45° с.ш., 21° в.д.–60° в.д.)	498	74	483	102
ВСЕГО:	2346	1557	1917	1851

Анализ таблицы показывает, что в траекториях циклонов, вышедших из других районов генезиса на Европейскую территорию России, собственно на ЕТР всего за весь период исследования было идентифицировано 3903 центра циклонов в зимнюю (с октября по март) и 3778 центров в летнюю (с апреля по сентябрь) половину года. Из этого количества доля центров с экстремально низким давлением (от 970 гПа и менее) составила, соответственно, 1557 центров в зимний и 1851 — в летний сезоны. Таким образом, в среднем за одно полугодие (и летнее, и зимнее) на ЕТР наблюдалось около 150 центров циклонов, из них в зимние месяцы отмечено чуть более 60 центров с давлением от 970 гПа и менее, а в летнее время — более 70 центров.

Интенсивность и расположение максимальной плотности центров глубоких циклонов в районе смещения траекторий циклонов из каждого района генезиса, а также повторяемость количества центров циклонов на ЕТР по районам генезиса циклонов демонстрируют, что максимальный вклад в количество центров и умеренных, и глубоких циклонов на ЕТР и в зимний, и в летний сезон вносят траектории циклонов, выходящие из района Скандинавии, Балтийского и Северного морей (районы генезиса

EUE и EUW). Область максимальной плотности центров глубоких циклонов расположена в северо-западном районе ЕТР.

Другим важным районом генезиса циклонов, выходящих на ЕТР, является Средиземноморский регион. Следует отметить, что в большей части циклонов, вышедших на ЕТР из западной и восточной части Средиземноморского региона, атмосферное давление не опускалось до экстремальных значений как в зимние, так и в летние месяцы. Количество центров циклонов с экстремально низким и умеренным давлением на ЕТР в траекториях циклонов из западной части Средиземноморского региона составило, соответственно, 21 и 79 %, из восточной части — около 13 и 87 %.

О повторяемости штормовых циклонов на Европейской территории России

Для классификации силы шторма по скорости приземного ветра часто используют шкалу Бофорта, согласно которой термин «шторм» относится ко всем циклонам со скоростью ветра от $17,2 \text{ м/с}^{-1}$ (8 баллов), при этом циклоны со скоростями ветра от 8 до 10 баллов, или от $17,2$ до $24,5 \text{ м/с}^{-1}$, соответствуют определению «умеренный шторм», а циклоны со скоростью ветра $24,5 \text{ м/с}^{-1}$, и более относятся к «жестоким» штормам.

На рис. 3 представлены карты пространственного распределения плотности центров штормовых циклонов со скоростью ветра $24,5 \text{ м/с}^{-1}$ и более в траекториях циклонов, вышедших на ЕТР из различных районов генезиса в летнюю половину года за весь период исследования, а в табл. 2 представлено распределение количества центров штормовых циклонов, идентифицированных исключительно на Европейской территории России за весь период исследования и в летнюю, и в зимнюю половину года по районам генезиса циклонов.

Анализ распределения количества наблюдений штормового ветра, идентифицированных в районах центров циклонов на ЕТР, показывает (табл. 2), что основная часть этих наблюдений связана с циклонами, вышедшими на Европейскую территорию России из региона Скандинавского полуострова и Балтийского моря, — около 65 % наблюдений с умеренной и около 55 % — с «жесткой»

штормовой скоростью ветра в летние месяцы, и около 62 % и более 57 % — в зимнюю половину года. Наблюдения штормовой скорости ветра более 24,5 м/с, связанные со скандинавскими циклонами, зафиксированы практически на всей Европейской территории России, максимальная плотность наблюдений отмечена в северо-западном регионе ЕТР (рис. 3б). Влияние циклонов, генерируемых в районе Северного моря, проявляется только в северо-западном районе ЕТР (рис. 3а). К ним относится около 11 % наблюдений с умеренной штормовой скоростью ветра и около 6 % — с «жесточкой» скоростью ветра на ЕТР как в летние, так и в зимние месяцы.

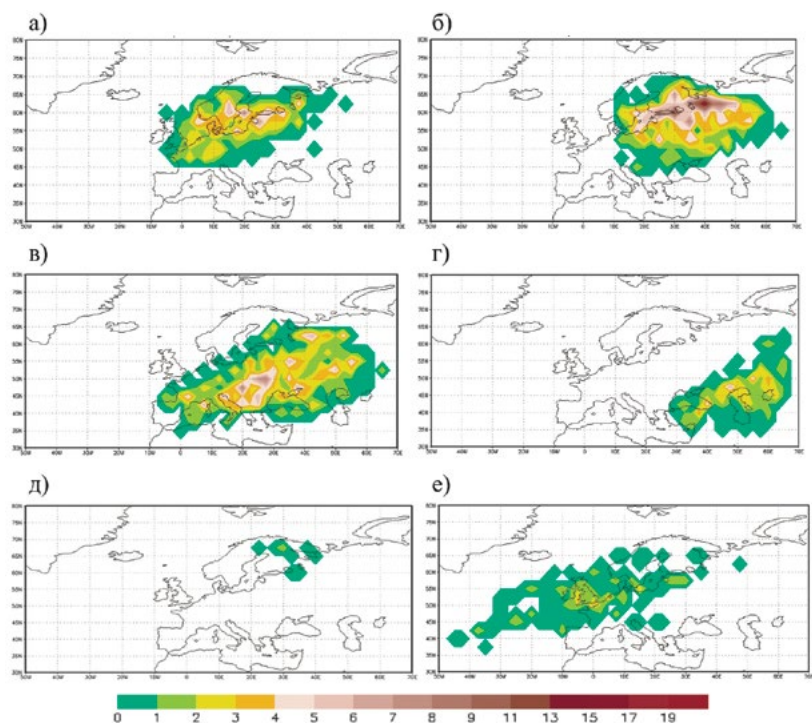


Рис. 3. Распределение плотности центров штормовых циклонов со скоростью ветра от 24,5 м/с⁻¹ и более в траекториях циклонов, вышедших на ЕТР в летнюю половину года за период с 2000 по 2024 г. из различных районов генезиса: а) EUW, б) EUE, в) MDW, г) MDE, д) AP и е) AT

Таблица 2

Количество центров штормовых циклонов с различной скоростью штормового ветра, идентифицированных на Европейской территории России в зимнюю и в летнюю половину года за период исследования 1999–2024 гг., по районам генезиса траекторий циклонов, выходящих на ЕТР

Районы генезиса	Октябрь – март		Апрель – сентябрь	
	17,2–24,4 м/с ⁻¹	≥ 24,5 м/с ⁻¹	17,2–24,4 м/с ⁻¹	≥ 24,5 м/с ⁻¹
AP (67° с.ш.–80° с.ш., 50° з.д.–60° в.д.)	51	2	80	23
AT (30° с.ш.–65° с.ш., 50° з.д.–10° з.д.)	29	20	27	5
EUW (46° с.ш.–65° с.ш., 10° з.д.–10° в.д.)	161	89	140	80
EUE (46° с.ш.–65° с.ш., 10° в.д.–30° в.д.)	910	693	783	812
MDW (35° с.ш.–45° с.ш., 10° з.д.–20° в.д.)	136	245	108	283
MDE (35° с.ш.–45° с.ш., 21° в.д.–60° в.д.)	107	205	107	209
ВСЕГО:	1394	1254	1245	1412

Значительная часть штормовых наблюдений на ЕТР связана также с циклонами, вышедшими из региона Средиземного моря. В общем количестве наблюдений штормового ветра в циклонах на ЕТР на долю средиземноморских циклонов приходится около 17 % наблюдений с умеренной и около 35 % с «жестокой» скоростью штормового ветра как в летнюю, так и зимнюю половину года. При этом в самой группе средиземноморских циклонов доля наблюдений умеренной штормовой скорости ветра, зафиксированной на ЕТР, составляет около 22 %, а доля «жестокой» скорости ветра — более 40 % и в летнюю, и в зимнюю половину года. Средиземноморские западные циклоны, выходя на ЕТР в западных районах России, формируют условия для развития штормового ветра в Причерноморском и Центральном регионах ЕТР (рис. 3в). Южные циклоны из восточной части Средиземного моря оказывают основное влияние на юго-восточные районы ЕТР (рис. 3г).

Важно отметить, что общее количество наблюдений штормовой скорости ветра (более 17,2 м/с⁻¹) в циклонах, и в случае скандинавских, и особенно в случае средиземноморских циклонов, превышает количество наблюдений экстремально низкого давления в центрах этих циклонов и в зимний, и в летний сезоны.

Это означает, что далеко не всегда штормовая скорость ветра наблюдается в глубоких циклонах, что подтверждают исследования отдельных траекторий экстремальных циклонов [8].

К циклонам, вышедшим на ЕТР из полярных широт, с умеренной штормовой скоростью ветра относится около 3 % в летний, и около 6 % — в зимний сезон, с «жестоккой» скоростью ветра — не более 2 %. Влияние арктических циклонов в формировании условий для развития штормового ветра проявляется в приполярном районе ЕТР. Циклоны, вышедшие на ЕТР из субтропических и умеренных широт акватории Северной Атлантики, оказывают влияние только на северо-западный район ЕТР, где и отмечены наблюдения штормовой скорости ветра, составляющие около 2 % от общего количества таких наблюдений на ЕТР.

Заключение

Максимальный вклад в количество наблюдений экстремально низкого давления на Европейскую территорию России и в зимний (около 73 %), и в летний сезоны (около 68 %) вносят циклоны, выходящие на ЕТР из района Скандинавии и Балтийского моря.

В общем количестве наблюдений штормового ветра в циклонах на ЕТР на долю циклонов, вышедших на Европейскую территорию России из региона Балтийского моря и Скандинавского полуострова, приходится около двух третей наблюдений с умеренной и около половины — «жестоккой» штормовой скорости ветра. На долю средиземноморских циклонов приходится около 17 % наблюдений с умеренной и около 35 % с «жестоккой» скоростью штормового ветра как в летнюю, так и зимнюю половину года.

В летнюю половину года количество наблюдений и экстремально низкого давления, и штормовой скорости ветра на ЕТР в циклонах, выходящих на Европейскую территорию России, как из северных, так и южных районов генезиса, существенно больше, по сравнению с зимними месяцами.

Важно отметить, что общее количество наблюдений штормовой скорости ветра (более $17,2 \text{ м/с}^{-1}$) в циклонах, и в случае скандинавских, и особенно в случае средиземноморских циклонов, превышает количество наблюдений экстремально низкого

давления в центрах этих циклонов и в зимний, и в летний сезоны. Это означает, что далеко не всегда штормовая скорость ветра наблюдается в глубоких циклонах. Данный вывод подтверждают исследования отдельных экстремальных циклонов на Европейской территории России [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Viazilova N.A., Viazilov A.E.* On climatology of storm cyclones entering European region of Russia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. ENVIROMIS-2020, Tomsk, 2020, 7–11 September.
2. *Казначеева В.Д., Шувалов С.В.* Климатические характеристики средиземноморских циклонов // Метеорология и гидрология. 2012. № 5. С. 41–52.
3. *Flocas H.A., Simmonds I., Kouroutzoglou J., Keay K., Hatzaki M., Bricolas V., Asimakopoulou D.* On Cyclonic Tracks over the Eastern Mediterranean // J. Climate. 2010. Vol. 23. P. 5243–5257.
4. *Вязилова Н.А.* Циклоны Баренцева моря по данным реанализа ERA5. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 220–231.
5. *Kanamitsu M., Ebisuzaki W., Woollen J., Yang S.-K., Hnilo J.J., Fiorino M., Potter G.L.* NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2002. Vol. 83. P. 1631–1643.
6. *Вязилова Н.А., Вязилов А.Е.* О циклонической активности в Северной Атлантике в зимний сезон по данным реанализов ERA-5 и NCEP-DOE // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 188. С. 81–92.
7. *Bengtsson L., Hodges K.I., Keenlyside N.* Will Extratropical Storms Intensify in a Warmer Climate? // J. Climate. 2009. Vol. 22. P. 2276–2301.
8. *Нестеров Е.С.* Экстремальные циклоны над морями европейской части России // Труды ГМЦ «Гидрометеорологические исследования и прогнозы». 2018. № 1 (367). С. 97–115.

УДК 551.524

ГОМОГЕНИЗАЦИЯ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ДАННЫХ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ 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

Относительная влажность воздуха (ОВВ) является одним из основных элементов мониторинга климата. Несмотря на это, данный параметр атмосферы не так часто используют при оценке климатических изменений.

Относительная влажность является комплексным параметром, так как зависит от температуры воздуха, количества водяного пара в воздухе и атмосферного давления. Посторонние, не имеющие отношения к климату, ошибки этих характеристик атмосферы сказываются на результатах оценки ОВВ. Влажность воздуха важна как для метеорологических исследований, так и для различных аспектов нашей жизни. Однако не менее важно иметь достоверную информацию, поскольку относительная влажность воздуха влияет на условия существования биологических и прочих объектов (здоровье населения, урожайность сельскохозяйственных культур, работа промышленных предприятий, строительство, потребность в энергии для осушения или орошения, обогрева или охлаждения и т.д.). Наличие достоверной информации об относительной влажности также полезно для исследований воздействия на изменение климата.

Нарушения однородности ряда данных могут возникать из-за перемещения пункта наблюдения, модификации конструкции прибора, изменения методов измерения, перерыва в наблюдениях, смены наблюдателя, технических ошибок и ряда других причин. Например, в Великобритании внедрение нового типа

датчиков (ёмкостные датчики относительной влажности, которые используются в автоматических метеостанциях) привело к погрешности измерений в 1–2 % [1]. На относительную влажность воздуха могут также сильно влиять местные факторы, такие как землепользование и ирригация. Поэтому, 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 осадков 521 станции на территории России [2]. Этот массив данных проверен на качество и подготовлен для использования [3], но собранные в нём записи неоднородны. Причины неоднородности данных неоднократно обсуждались сотрудниками института, однако тесты на однородность и вычисления однородных рядов не проводились [4].

Настоящая статья посвящена методам получения среднемесячных однородных данных относительной влажности за период инструментальных наблюдений — с 1966 по 2023 год — на 521 метеорологической станции России.

Данные и методы

Проблема однородности метеорологических данных давно находится в поле зрения многих исследователей, которые используют различные методы получения однородных рядов данных [5, 6]. Это связано с большим разнообразием сопутствующих помех и их весовым влиянием на измеряемые характеристики.

Некоторые методы научных групп [7], занятых решением проблемы однородности климатических рядов данных, были одобрены комиссией по климатологии при ВМО. В составе этой организации была создана целевая группа по гомогенизации данных (ТТ-НОМ) [8], в задачи которой входило выявление наиболее удобных и эффективных методов гомогенизации и контроля качества климатологических рядов. В результате работы ТТ-НОМ были выбраны десять пакетов программ для выполнения гомогенизации гидрометеорологических данных [8], различающиеся параметрами и вариантами использования.

Исследователи могут выбирать для гомогенизации тот метод, который наиболее оптимален для получения однородных рядов в их ситуации. Например, при гомогенизации данных относительной влажности в Австрии были использованы три разных пакета программ, предложенные ВМО [9], для оценки возможностей этих методов по обнаружению разрывов в рядах данных.

Ранее мы оценили набор программ, предложенных ВМО для гомогенизации рядов метеорологических данных, имеющихся в специализированном массиве ВНИИГМИ-МЦД. Наиболее оптимальным в условиях России оказался пакет RHtest [10]. Программа работает в среде R и реализует несколько тестов для обнаружения разрывов с учётом автокорреляций и расстояния от краёв ряда. Подробная информация об использовании пакета RHtest была представлена нами ранее в других работах [11, 12].

Результаты

Набор среднемесячных данных относительной влажности воздуха (Fobs), собранных на 521 станции за период с 1966 по 2023 год был обработан с помощью пакета RHtest. В итоге были составлены два ряда однородных данных среднемесячной влажности воздуха за каждый год исследуемого периода. Пакет RHtest реализует два метода получения однородного ряда. Первый однородный ряд рассчитывается методом коррекции данных с использованием записей соседних станций (Fhgn), а второй метод основан на использовании квантильного согласования (Fqm) [10]. Анализ результатов показал, что только 19,6 % станций (102) имеют однородные ряды данных. Одно нарушение однородности имеют 27,4 % станций, а 22,5 % имеют два нарушения однородности ряда. Максимальное количество нарушений однородности — восемь — выявлено только на двух станциях (табл. 1 и рис. 1).

Нарушения однородности повлияли на ряд данных как в положительную, так и в отрицательную сторону. Станций, где наблюдалось превышение однородности ряда, было больше (236, или 45,3 %), чем станций, где отмечалась отрицательная ошибка однородности (183, или 35,1 %) (рис. 2).

Таблица 1

Количество нарушений однородности данных относительной влажности
(Nerr — количество нарушений; Nst — количество станций;
N, % — количество станций в процентах)

Nerr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Nst	102	143	117	76	51	17	9	4	2
N, %	19,6	27,4	22,5	14,6	9,8	3,3	1,7	0,8	0,4

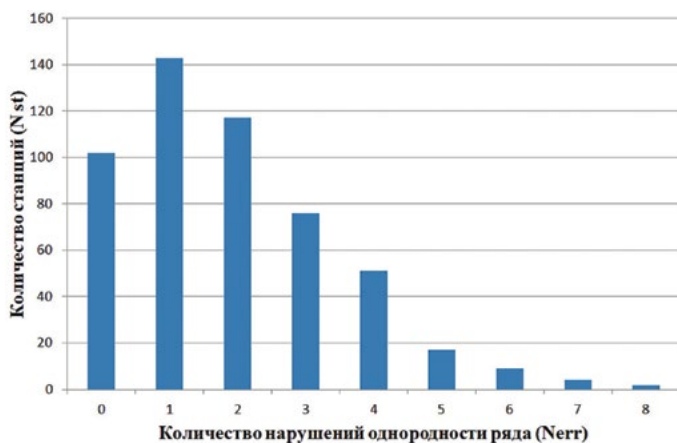


Рис. 1. Количество нарушений однородности ряда данных на исследуемых станциях

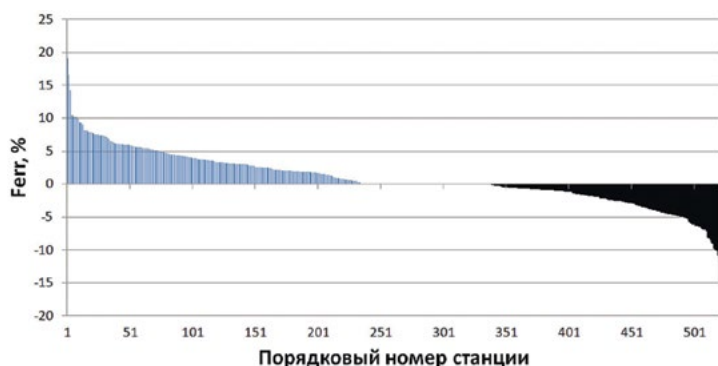


Рис. 2. Ошибка относительной влажности (Ferr, %)

Несмотря на то, что в отдельные месяцы имелись отрицательные ошибки однородности, расчёт средних месячных данных за исследуемый период показал, что неоднородные данные завышают ОВВ на 1,0–1,2 % по сравнению с однородными данными в модели HGN, и на 0,8–1,9 % — в модели QM (рис. 3).

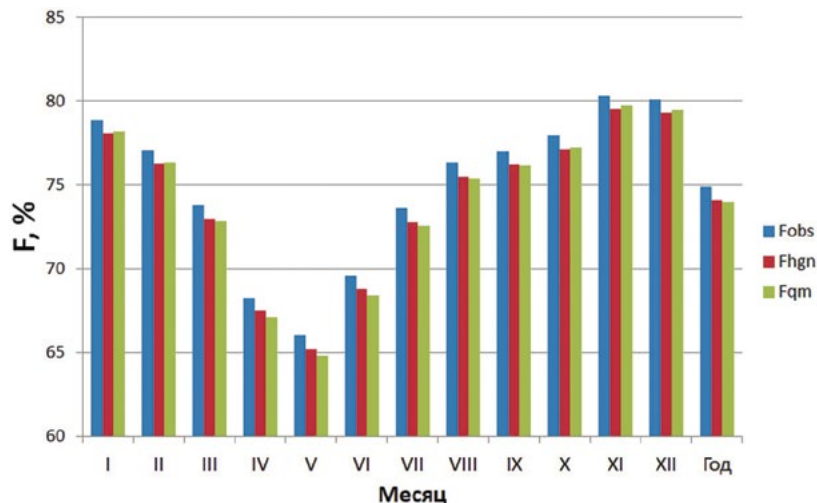


Рис. 3. Среднемесячная относительная влажность воздуха согласно неоднородным (*Fobs*) и однородным данным (*Fhgn*, *Fqm*) (по данным станций)

Исследуемые станции находятся на значительном расстоянии друг от друга [12]. Поэтому для получения полной картины распределения ОВВ по территории России были смоделированы карты с разрешением $15,66 \times 15,66$ км. При построении карт использовался метод интерполяции Кригинга. В результате на основе исходных (*Fobs*) и однородных (*Fhgn* и *Fqm*) данных были получены ежемесячные, сезонные и годовые карты относительной влажности (всего 51 карта). Статистические данные карт показали среднемесячные характеристики относительной влажности воздуха по всей территории России в среднем за период с 1966 по 2023 год (табл. 2–4).

Таблица 2

**Относительная влажность воздуха по данным наблюдений на станциях
(карты Fobs, %)**

Параметр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Fobs-min	57,63	57,4	58,71	45,02	49,35	53,19	51,36	50,66	59,92	61,19	61,57	59,21	64,89
Fobs-max	86,62	86,46	85,55	86,43	85,27	89,25	91,63	90,30	87,75	88,92	89,02	88,10	84,83
Fobs-mean	78,41	77,02	73,77	68,92	65,89	68,55	72,86	77,13	78,11	80,04	80,68	79,58	74,86
Std dev.	3,66	3,78	4,53	6,92	7,02	5,27	4,89	5,13	4,53	5,41	4,13	3,96	3,43

Таблица 3

**Относительная влажность воздуха по однородным данным
(карты Fhgn, %)**

Параметр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Fhgn-min	60,82	59,6	58,92	48,09	42,13	48,83	48,83	47,55	51,89	62,42	57,73	61,96	64,17
Fhgn-max	87,39	87,08	85,17	85,33	92,93	91,71	91,71	90,80	94,72	89,83	91,71	88,89	85,83
Fhgn-mean	77,87	76,44	72,89	67,72	66,32	72,38	72,38	72,38	78,01	79,04	80,05	79,02	74,40
Std dev.	3,85	4,09	4,58	6,16	9,63	5,45	5,45	5,84	6,34	5,48	4,36	4,18	4,05

Таблица 4

**Относительная влажность воздуха по однородным данным
(карты Fqm, %)**

Параметр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Fqm-min	60,19	59,5	58,75	47,92	42,28	48,78	46,85	46,07	52,05	62,3	57,29	61,73	63,83
Fqm-max	87,75	87,10	85,00	84,74	92,69	90,22	92,56	91,19	94,67	89,58	92,70	89,35	85,50
Fqm-mean	77,89	76,43	72,69	67,30	65,88	67,68	72,11	76,53	77,98	79,18	80,24	79,14	74,29
Std dev.	4,00	4,21	4,67	6,26	9,79	6,05	5,63	5,97	6,42	5,56	4,48	4,30	4,09

Сравнение однородных и неоднородных данных по данным моделированных карт показало, что ошибка неоднородности при гомогенизации двумя методами Fhgn-err и Fqn-err в среднем за год составляет примерно 0,47 и 0,58 % соответственно (табл. 5).

Гомогенизация среднемесячных данных по модели HGN показывает отрицательные ошибки только в двух месяцах — в мае (Fhgn-err = -0,44 %) и июне (Fhgn-err = -3,83 %). В остальные

месяцы фиксируются ошибки в положительную сторону. Максимальная ошибка выявлена в августе ($Fhgn-err = +4,75\%$). При гомогенизации по модели QM все ошибки положительны, и только в марте (1,08 %) и апреле (1,62 %) превышают единицу.

Таблица 5

Сравнение среднемесячной относительной влажности воздуха в среднем по территории РФ, полученной в результате картирования, на основе данных наблюдений (Fobs, %) и однородных рядов (Fhgn, % и Fqm, %)

F	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Fobs-mean	78,41	77,02	73,77	68,92	65,89	68,55	72,86	77,13	78,11	80,04	80,68	79,58	74,86
Fhgn-mean	77,87	76,44	72,89	67,72	66,32	72,38	72,38	72,38	78,01	79,04	80,05	79,02	74,40
Fqm-mean	77,89	76,43	72,69	67,30	65,88	67,68	72,11	76,53	77,98	79,18	80,24	79,14	74,29
Fhgn-err	0,53	0,58	0,89	1,20	-0,44	-3,83	0,48	4,75	0,10	0,99	0,63	0,56	0,47
Fqn-err	0,51	0,58	1,08	1,62	0,00	0,87	0,76	0,60	0,12	0,85	0,44	0,44	0,58

Картирование ошибок неоднородных данных позволило выявить территории с отклонениями распределения ОБВ, а также количество этих отклонений (рис. 4). На карте видно, что распределение количества нарушений по территории России неравномерно. На северо-востоке Якутии и в районе Перми отмечается превышение однородного ряда на 8–10 %. На остальной территории отклонение от однородного ряда составляет $\pm 4\%$.

На карте (рис. 4) также представлено количество нарушений однородности ряда на исследуемых станциях. Наибольшее количество нарушений однородности — восемь — отмечено на двух станциях — Кош-Агач, которая находится на Алтае на высоте 1759 м над у.м., и Сутур, находящейся на Дальнем Востоке.

Сезонные карты (рис. 5), рассчитанные по неоднородным данным, демонстрируют более высокую влажность, чем карты с однородными данными.

Зимой, согласно однородным данным, европейская часть территории России (ЕТР) получает меньше влаги. В связи с этим область охвата ОБВ до 85 % занимает меньшую площадь, однако на Таймыре влажность увеличилась. В то же время над Восточной

Сибирью, согласно однородным данным, воздух был более сухой по сравнению с картой, построенной по неоднородным данным.

Весной, согласно однородным данным, над ЕТР наблюдается более сухой воздух. Влажность до 70 % охватывает большую площадь. В Восточной Сибири влажность 65–75 % распространяется от южной границы до побережья Северного Ледовитого океана. Сухой воздух наблюдается на восточной границе с Монголией (менее 55 %).

Летом, согласно однородным данным, по сравнению с неоднородными, в южной части территории РФ площадь с сухим воздухом (до 65 %) заметно увеличилась. В Астраханской области и Калмыкии влажность составляла менее 55 %. В то же время на Ямале, Таймыре и островах Карского моря площадь, где влажность составляла 80–90 %, заметно увеличилась. Это связано с повышением температуры воздуха летом, что привело к иссушению почвы на юге и увеличению водной поверхности — на севере за счёт таяния снега и льда.

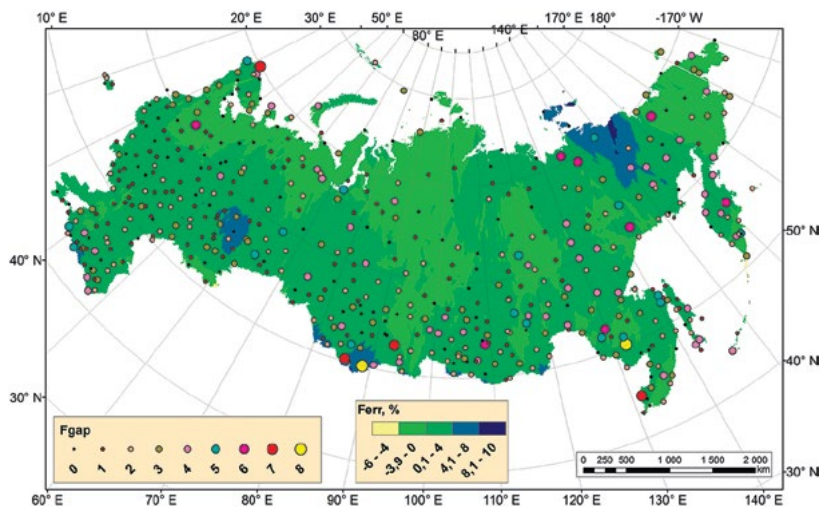


Рис. 4. Распределение ошибок неоднородного ряда ОВВ (F_{err} , %) по территории России и количество нарушений однородности по метеорологическим станциям (F_{gap})

Осенью карта, построенная по однородным данным, показывает увеличение влажности в северных районах ЕТР и на Чукотке, и уменьшение влажности — на юге РФ.

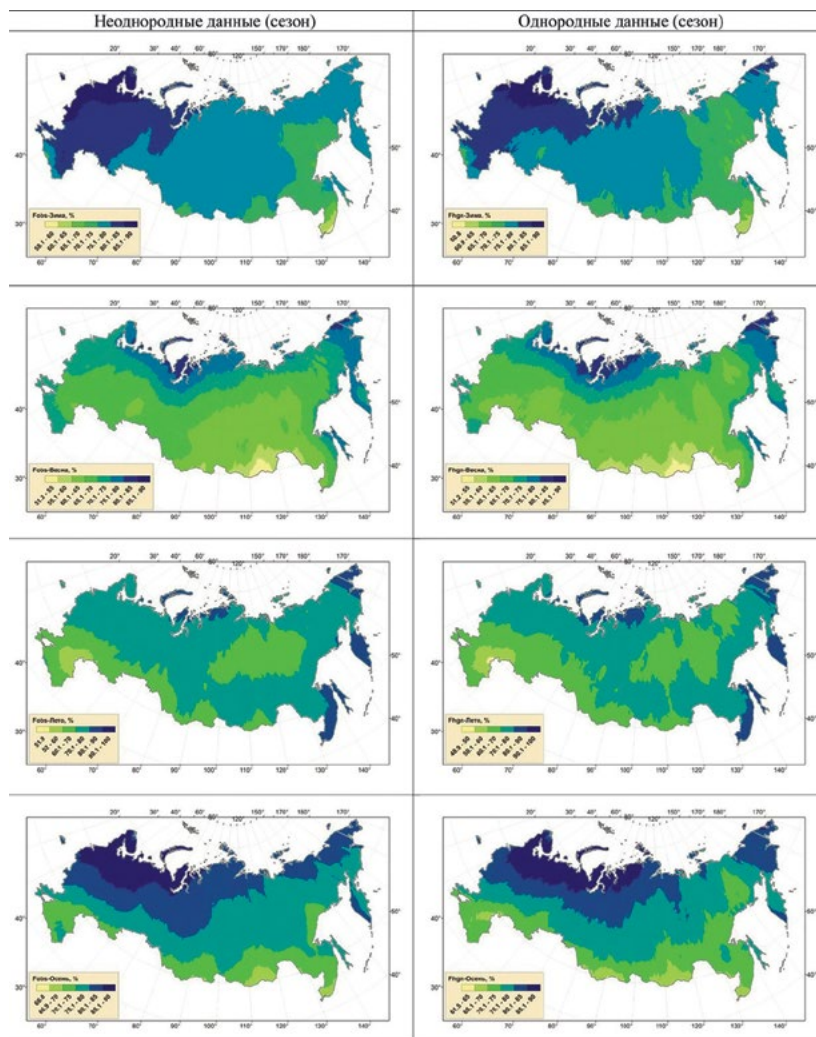


Рис. 5. Сезонное распределение относительной влажности воздуха по неоднородным и однородным данным

Среднегодовые карты относительной влажности воздуха, рассчитанные на основе неоднородных и однородных данных, также имеют различия (рис. 6). Карты по однородным данным демонстрируют более высокую относительную влажность в прибрежных районах Северного Ледовитого океана и более низкую относительную влажность — на юге РФ.

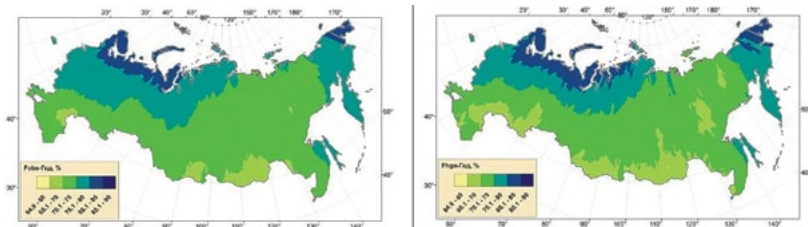


Рис. 6. Годовое распределение относительной влажности воздуха по неоднородным и однородным данным

По результатам гомогенизации данных была сделана оценка изменения ежегодной относительной влажности за исследуемый период. Неоднородные данные показали, что во все сезоны и в среднем за год ОВВ возрастала до середины исследуемого периода, а во второй половине периода снизилась на 2–3 % (рис. 7). Осенью и зимой относительная влажность была максимальной и почти одинаковой. Наименьшая влажность наблюдалась летом.

Анализ однородных данных показал, что в осенний и зимний периоды ОВВ практически не менялась и составляла 77,5 %. Весной выявился отрицательный тренд. Относительная влажность снижалась в течение всего периода со скоростью 0,4 % за 10 лет. Летом скорость снижения была 0,21 %/10 лет. Осенью и зимой снижение влажности было незначительное (0,03 и 0,02 соответственно). В целом за год наблюдался отрицательный тренд ОВВ со скоростью 0,22 %/10 лет.

Для сравнения, исследования в Венгрии также выявили снижение относительной влажности весной и летом, хотя использовали другие программы для гомогенизации данных [13].

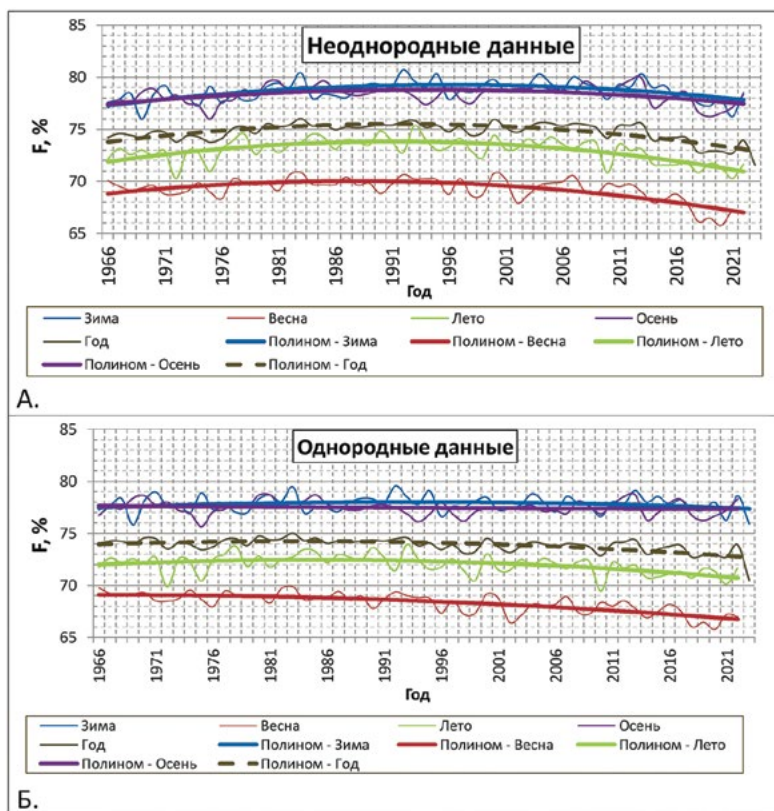


Рис. 7. Тенденция изменения относительной влажности воздуха на территории России по сезонам и за год согласно однородным и неоднородным данным. Линия тренда представлена в виде полинома второго порядка.

Исследования в Китае показали [14], что средние ряды значений относительной влажности по стране демонстрируют небольшую положительную тенденцию за период 1960–2017 гг. (0,006 %/10 лет), составляя контраст с ложной тенденцией к снижению (-0,414 %/10 лет) при использовании необработанных данных. Основные нарушения рядов произошли в начале 2000-х годов на многих станциях Китая, особенно во влажных и полувлажных зонах, в связи с внедрением автоматизированных

наблюдений по всей стране. Примечательно, что данные реанализа ERA5 близко совпадают с межгодовыми вариациями необработанных рядов данных относительной влажности в Китае, включая скачок в начале 2000-х годов. Это вызывает настороженность относительно применения таких данных при изучении изменения климата в этом регионе.

Заключение

В настоящей работе была выполнена гомогенизация относительной влажности воздуха по данным 521 метеорологической станции России за период с 1966 по 2023 год. Получен однородный ряд данных относительной влажности, анализ которого показал, что в исходном ряду только 102 станции имеют однородные записи. Количество нарушений однородности колеблется от одного до восьми.

Анализ однородных данных показал, что за исследуемый период происходило уменьшение относительной влажности весной и летом со скоростью 0,4 и 0,21 %/10 лет соответственно. Осенью и зимой относительная влажность воздуха почти не менялась. Сравнения с исследованиями других стран (например Венгрии [13] и Китая [14]) подтверждают такую тенденцию.

При оценке изменений климата следует использовать однородные данные относительной влажности воздуха, которые помогут исключить из исследования неклиматические факторы, оказывающие влияние на окончательный результат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Brugnara Y., McCarthy M.P., Willett K.M., Rayner N.A.* Homogenization of daily temperature and humidity series in the UK // *International J. of Climatology*. 2023. Vol. 43, Issue 4. <https://doi.org/10.1002/joc.7941> (дата обращения: 13.10.2025).
2. ВНИИГМИ-МЦД // ULR: <http://meteo.ru> (дата обращения: 13.10.2025).
3. *Разуваев В.Н.* Из истории климатических исследований во ВНИИГМИ-МЦД // *Труды ВНИИГМИ-МЦД*. 2014. Вып. 177. С. 28–69.
4. *Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Разуваев В.Н.* Специализированные массивы данных для климатических исследований // *Труды ВНИИГМИ-МЦД*. 2014. Вып. 177. С. 136–148.

5. Tudorache G.S., Ionac N., Dumitrescu A., Manea A. Analysing the homogeneity of air temperature, relative air humidity, precipitation and wind data series using 'Climatol' and meteorological metadata. Conference: Air and Water Components of the Environment Conference. March 2017. doi:10.24193/awC2017_07 (дата обращения: 13.10.2025).

6. Štěpánek P., Mikulová K. Homogenization of air temperature and relative humidity monthly means of individual observation hours in the area of the Czech and Slovak republic. https://www.researchgate.net/profile/k-mikulova/publication/237699954_homogenization_of_air_temperature_and_relative_humidity_monthly_means_of_individual_observation_hours_in_the_area_of_the_czech_and_slovak_republic/links/0c9605285e08a1d18a000000/homogenization-of-air-temperature-and-relative-humidity-monthly-means-of-individual-observation-hours-in-the-area-of-the-czech-and-slovak-republic.pdf (дата обращения: 13.10.2025).

7. Venema V.K.C., Mestre O., Aguilar E., Auer I., Guijarro J.A., Domonkos P., Vertacnik G., Szentimrey T., Stepanek P., Zahradnicek P., Viarre J., Müller-Westermeier G., Lakatos M., Williams C.N., Menne M.J., Lindau R., Rasol D., Rustemeier E., Kolokythas K., Marinova T., Andresen L., Acquautta F., Fratianni S., Cheval S., Klancar M., Brunetti M., Gruber C., Prohom Duran M., Likso T., Esteban P., Brandsma T. Benchmarking homogenization algorithms for monthly data // *Clim. Past*. 2012. Vol. 8. P. 89–115. <https://doi.org/10.5194/cp-8-89-2012>. (дата обращения: 13.10.2025).

8. Task Team on Homogenization (OPACE2, WMO Commission for Climatology) // <https://www.climatol.eu/tt-hom/> (дата обращения: 13.10.2025).

9. Chimani B., Venema V., Lexer A., Andre K., Auer I., Nemec J. Inter-comparison of methods to homogenize daily relative humidity. *International Journal of Climatology*. 2018. Vol. 38, Issue 7. <https://doi.org/10.1002/joc.5488> (дата обращения: 13.10.2025).

10. Wang X.L., Feng Y. RHtestV4 User Manual // Climate Research Division, Atmospheric Science and Technology Directorate, Science and Technology Branch, Environment Canada. 29 p. <https://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml> (дата обращения: 13.10.2025).

11. Финаев А.Ф., Разуваев В.Н. Гомогенизация климатических рядов на примере среднемесячной температуры воздуха // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 57–68.

12. 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.

13. Cséplő A., Izsák B., Geresdi I. Long-term trend of surface relative humidity in Hungary. *Theor. Appl. Climatol.* 2022. Vol. 149. P. 1629–1643. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04127-z>. (дата обращения: 13.10.2025).

14. Li Z., Yan Z., Zhu Y. et al. Homogenized Daily Relative Humidity Series in China during 1960–2017 // *Adv. Atmos. Sci.* 2020. Vol. 37. P. 318–327. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00376-020-9180-0> (дата обращения: 13.10.2025).

УДК 551.576.32(470+571)

МОНИТОРИНГ ФОРМ ОБЛАЧНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Н.Н. Коршунова¹, С.Г. Давлетшин², Л.Т. Трофименко³

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

¹ nnk@meteo.ru, ² sdavletshin@meteo.ru, ³ tlt@meteo.ru

Введение

Облачность играет значительную роль в формировании радиационного баланса нашей планеты. Облачность верхнего яруса задерживает уходящее длинноволновое излучение, усиливая парниковый эффект [1]. Облака нижнего яруса препятствуют выхолаживанию подстилающей поверхности зимой и отражают значительную часть солнечной радиации [2]. Кроме того, облака приносят осадки, что оказывает значительное влияние на погоду и региональный климат. Детальный анализ исследований облачности и связанных с ней явлений в России в последние годы представлен в [3]. В связи с огромным влиянием облачности на формирование климата регулярное слежение за характеристиками облачности, исследование тенденции их изменения является актуальной задачей. Во ВНИИГМИ-МЦД в 2020–2024 гг. разрабатывалась подсистема мониторинга облачности, для функционирования которой подготовлен специализированный массив характеристик облачности [4] и рассчитаны нормы за новый базовый период 1991–2020 гг. в соответствии с требованиями ВМО [5].

Облачный покров характеризуется количеством облаков и их формой. Принципы классификации облаков и описание всех их видов и разновидностей приведены в [6].

Мониторингу количества облаков на территории России посвящена серия статей [4, 7, 8]. Исследование изменения и мониторинг форм облачности является не менее важной задачей, поскольку форма облаков в какой-то степени характеризует состояние атмосферы. Например, перисто-кучевые облака образуются

при возникновении волновых и восходящих движений в верхней тропосфере и являются признаком повышения там температуры. Кроме того, эти облака, наряду с высококучевыми, могут служить предвестником изменения погоды, поскольку возникают в результате поднятия тёплых воздушных масс при наступлении холодного фронта. В связи с этим целесообразно и желательно включение в подсистему мониторинга облачности данных о текущем состоянии форм облачности, наблюдаемых на территории России, и тенденциях их изменения.

Данные

Мониторинг форм облачности проведён на основе данных архива Госфонда ТМСМ (Текущая метеорологическая информация станций — месячные выводы) [9], который ведётся с 1984 г., и данных оперативного потока за 2024 год, поступающих по каналам связи в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» с метеорологических станций (≈ 1400 пунктов наблюдений). Анализ изменений характеристик облачности проводился по данным в точке (метеорологической станции) 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 9 квазиоднородным регионам, определённым согласно классификации климатов Б.П. Алисова [10], и территории России. Использованы нормы (среднемноголетние значения) характеристик облачности за период 1991–2020 гг. Ранги определены по ряду 1985–2024 гг.

Рассматривались 11 основных форм облаков, которые подразделяются на облака верхнего, среднего и нижнего ярусов. К облакам верхнего яруса относят перистые (Ci), перисто-кучевые (Cc) и перисто-слоистые (Cs). Нижняя граница этих облаков превышает 6000 метров. Средний ярус составляют высококучевые (Ac) и высокослоистые (As) облака, нижняя граница которых находится между 2000 и 6000 м. 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).

При определении форм облаков руководствуются «Атласом облаков» [6], принимая во внимание не только внешний вид облака и сходство его с одним из фото «Атласа», но учитывая и дополнительные признаки, характеризующие его форму, высоту и строение. В настоящее время используется международная морфологическая классификация облаков, в соответствии с которой облака делятся на 10 основных форм. В каждой основной форме облаков различают виды и разновидности.

Очень важно, чтобы наблюдатель понимал сущность атмосферных процессов, приводящих к образованию облаков различных форм, поскольку облачные системы обычно связаны с атмосферными фронтами, определяющими погоду в конкретном регионе. Это помогает правильно определять формы облаков в тех случаях, когда облака несколько отличаются от представленных в «Атласе» или относятся к переходным формам. В силу субъективности правильность наблюдений за облаками в значительной степени зависит от квалификации персонала наблюдательных подразделений и регулярности наблюдений за состоянием неба и его изменениями во времени.

Результаты

Оценить повторяемость различных форм облаков за год в целом оперативно за истекший год не представляется возможным из-за несовпадения кодировок в режимном и оперативном потоках данных, поэтому для иллюстрации повторяемости форм облачности в различные сезоны приведены данные 2023 года, рассчитанные по режимной информации, поступающей в Госфонд ВНИИГМИ-МЦД (рис. 1).

Рис. 1 наглядно подтверждает тот факт, что преобладающими формами облаков практически на всей территории России являются облака верхнего яруса Ci, облака среднего яруса Ac и облака нижнего яруса Sc [7, 11]. Зимой увеличивается повторяемость

облаков среднего яруса As, а весной и летом с развитием конвективных процессов — облаков Cu и Cb.

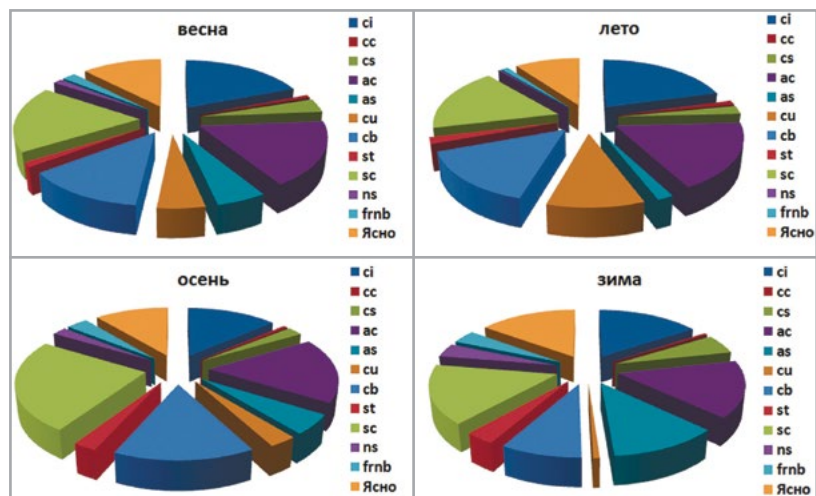


Рис. 1. Сезонная повторяемость основных форм облаков в 2023 году

Зимой 2024 года повторяемость всех форм облаков, за исключением Cc, As, Cb и Sc, была ниже климатической нормы (табл. 1). Значительно чаще, чем обычно, наблюдались слоисто-кучевые облака, аномалия повторяемости этих облаков зимой 2023–2024 гг. стала 4-й в ранжированном по убыванию ряду с 1985 года. Летом отмечены положительные аномалии повторяемости всех облаков верхнего яруса, кучево-дождевых и слоисто-кучевых, причём аномалия повторяемости последних стала второй в ранжированном по убыванию ряду. Облака остальных форм наблюдались реже, чем в среднем многолетнем. Отрицательные аномалии облаков среднего яруса летом стали рекордными за период с 1985 года (табл. 1).

Характеристики одного и того же типа облаков непостоянны и зависят от большого числа факторов, в том числе от региона наблюдения и подстилающей поверхности. Например, как указывается в [12], высота верхней границы облаков верхнего яруса

составляет 4–6 км в полярных широтах, 10–12 км — в умеренных, 16–18 км — в тропиках. Анализ изменения повторяемости основных форм облачности в квазиоднородных районах [7] позволил выявить региональные особенности повторяемости основных, наиболее повторяющихся на территории России форм облачности. На рис. 2 и 3 представлены ряды зимних и летних аномалий повторяемости перистых облаков в 9 квазиоднородных районах России.

Таблица 1

Аномалии повторяемости различных форм облачности на территории РФ в 2024 году (D — отклонения от средних за 1991–2020 гг.; R — ранг текущих значений в ряду убывающих характеристик за 1985–2024 гг.; s — среднеквадратическое отклонение)

Вид облаков	зима			лето		
	D	R	s	D	R	s
Перистые Ci	-1,39	36	1,21	0,21	15	0,77
Перисто-кучевые Cc	0,11	13	0,11	0,20	10	0,21
Перисто-слоистые Cs	-0,22	29	0,63	0,41	7	0,28
Высококучевые Ac	0,10	15	0,85	-1,44	39	0,78
Высокослоистые As	-0,52	33	0,78	-0,38	39	0,31
Кучевые Cu	-0,14	38	0,10	-1,52	38	0,90
Кучево-дождевые Cb	0,61	11	1,19	0,52	10	0,83
Слоистые St	-1,35	39	0,67	-0,20	30	0,34
Слоисто-кучевые Sc	3,91	4	2,79	2,71	2	1,41
Слоисто-дождевые Ns	-0,11	26	0,50	-0,15	38	0,21
Разорвано-дождевые Frnb	-0,24	32	0,34	-0,43	37	0,40

Примечание: жирным шрифтом выделены аномалии, попавшие в 3 самых больших положительных или отрицательных значений за период 1985–2024 гг.

Зимой во всех квазиоднородных районах, за исключением центральных и южных районов Западной Сибири (район 5) и юга европейской части России (район 9), повторяемость перистых облаков в разной степени уменьшается. Наиболее заметное уменьшение облаков верхнего яруса Ci наблюдается в последние годы на севере страны (районы 1, 2, 3), а также в центральных и южных районах Восточной Сибири (район 6). В этих районах получены значимые на 5 % уровне отрицательные коэффициенты

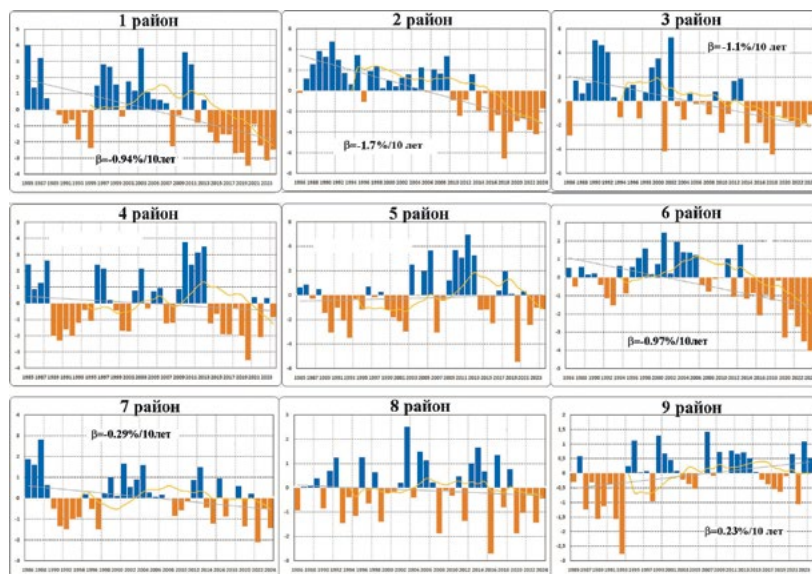


Рис. 2. Аномалии повторяемости перистых облаков в квазиоднородных районах РФ зимой за период 1985–2024 гг. Жёлтая кривая обозначает скользящие средние, тонкая серая линия — линейный тренд.

линейного тренда. Одной из причин такого значительного уменьшения облаков верхнего яруса могло стать резкое уменьшение площади арктических льдов [13, 14], что привело к поступлению в атмосферу дополнительной влаги и формированию плотной облачности нижнего яруса (см. ниже), из-за чего определить облачность верхнего яруса не представлялось возможным. В центре ЕЧР (район 4), горных районах Алтая и Саян (район 8) и на Дальнем Востоке (район 7) тенденция уменьшения C_i выражена слабо. Незначительное увеличение перистых облаков наблюдается на юге ЕЧР, коэффициент линейного тренда составляет 0,23 %/10 лет.

Летом как положительные, так и отрицательные тенденции изменения повторяемости C_i выражены слабо (рис. 3). Незначительное уменьшение повторяемости перистых облаков выявлено на севере Восточной Сибири и Якутии (район 2), Чукотке и севере Камчатки (район 3). В остальных квазиоднородных районах

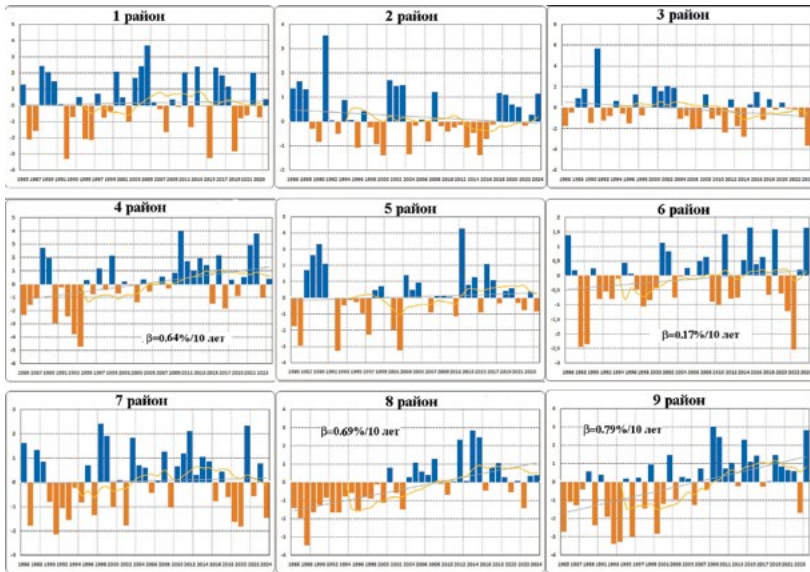


Рис. 3. Аномалии повторяемости перистых облаков в квазиоднородных районах РФ летом за период 1985–2024 гг. Жёлтая кривая обозначает скользящие средние, тонкая серая линия — линейный тренд.

наблюдается слабый рост повторяемости C_i . Наиболее заметно увеличение облаков верхнего яруса в горных районах Алтая и Саян (район 8) и Северного Кавказа (район 9), где получены значимые коэффициенты линейного тренда 0,69 и 0,79 %/10 лет соответственно.

Анализ изменения повторяемости высококучевых облаков зимой (рис. 4) выявил тенденцию увеличения облаков A_c во всех квазиоднородных климатических районах, за исключением Чукотки и севера Камчатки (район 3). Уменьшение высококучевых облаков в северо-восточных районах Азиатской территории в значительной степени обусловлено циркуляционными факторами. Как отмечалось в [15], на рубеже веков произошло ослабление Сибирского антициклона и смещение его центра на запад, поэтому северо-восточные районы АТР оказались под более активным влиянием тихоокеанских циклонов с характерной плотной

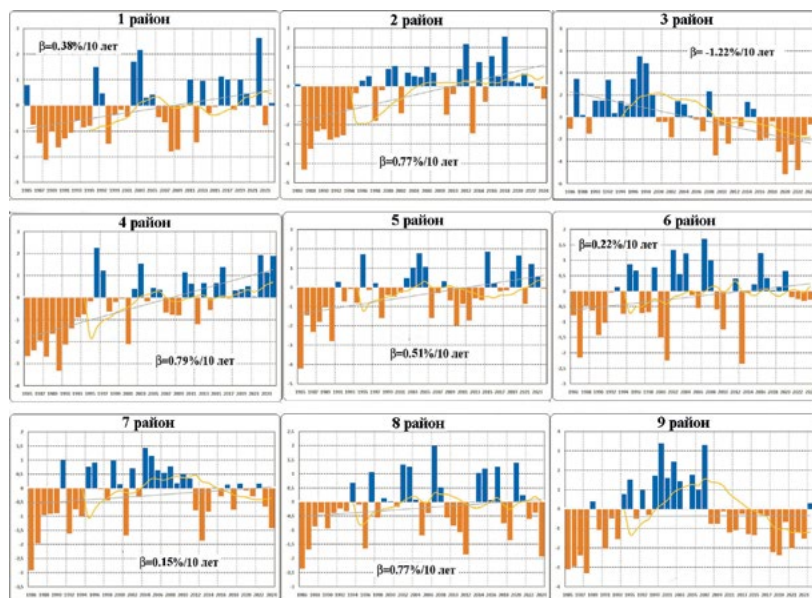


Рис. 4. Аномалии повторяемости высококучевых облаков в квазиоднородных районах РФ зимой за период 1985–2024 гг. Жёлтая кривая обозначает скользящие средние, тонкая серая линия — линейный тренд.

облачностью нижнего яруса. Интересная картина изменения повторяемости высококучевых облаков за рассматриваемый период наблюдается на юге ЕТР (район 9). В начале периода преобладали отрицательные аномалии повторяемости A_c , в период с 1994 по 2002 год — положительные, а затем вплоть до 2024 года повторяемость A_c была ниже климатической нормы, что не позволило выявить общую тенденцию изменения повторяемости высококучевых облаков в этом районе.

Летом во всех квазиоднородных климатических районах, за исключением района 1 (север ЕТР и Западной Сибири), в разной степени наблюдается уменьшение высококучевых облаков (рис. 5). В большинстве районов значительное уменьшение облаков A_c отмечено в последнее десятилетие. Одной из причин этого может быть увеличение в этот период слоисто-кучевых

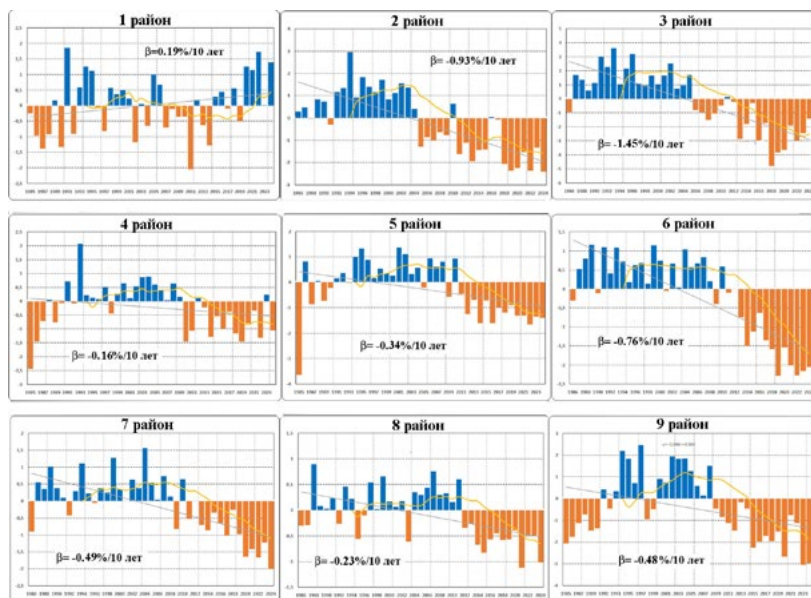


Рис. 5. Аномалии повторяемости высококучевых облаков в квазиоднородных районах РФ летом за период 1985–2024 гг. Жёлтая кривая обозначает скользящие средние, тонкая серая линия — линейный тренд.

облаков, что делает невозможным наблюдение облаков среднего яруса. Наиболее ярко тенденция уменьшения A_c выражена на севере Восточной Сибири и Якутии (район 2), Чукотке и севере Камчатки (район 3), отрицательные коэффициенты линейного тренда составляют 0,93 и 1,45 %/10 лет соответственно. На севере ЕТР и Западной Сибири отмечается слабый рост повторяемости высококучевых облаков.

Повторяемость слоисто-кучевых облаков увеличивается во всех квазиоднородных районах и зимой, и летом. В связи с ростом приземной температуры воздуха с увеличением испарения возрастает влагосодержание в атмосфере, а следовательно, возрастает и вероятность образования облачности, особенно облачности нижнего яруса. Зимой в последнее десятилетие во всех районах отмечаются положительные аномалии повторяемости Sc (рис. 6).

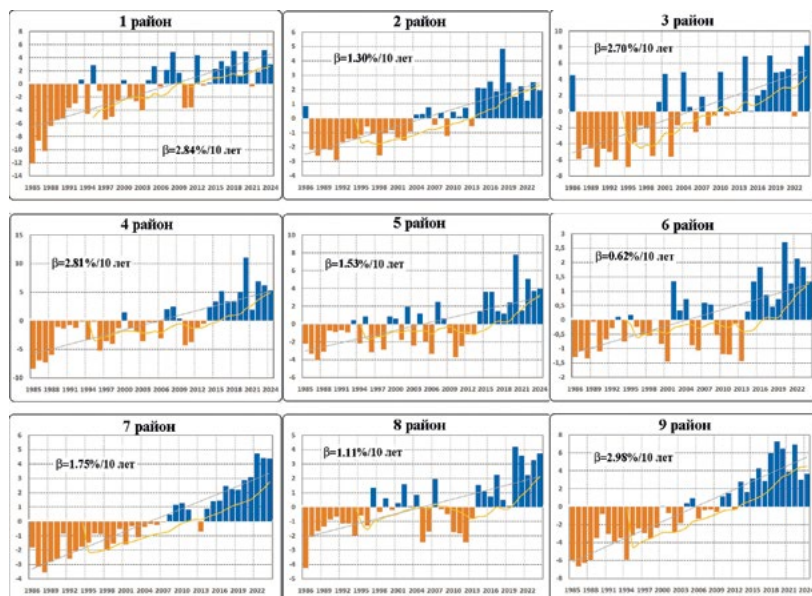


Рис. 6. Аномалии повторяемости слоисто-кучевых облаков в квазиоднородных районах РФ зимой за период 1985-2024 гг. Жёлтая кривая обозначает скользящие средние, тонкая серая линия — линейный тренд.

Максимальные коэффициенты линейного тренда получены на севере ЕТР и Западной Сибири (район 1) и на юге ЕТР (район 9), которые составляют 2,84 и 2,98 %/10 лет соответственно.

Летом подобная тенденция сохраняется на юге страны (районы 7, 8, 9). В остальных квазиоднородных климатических районах временное распределение аномалий повторяемости не столь очевидно, однако также отмечается увеличение повторяемости слоисто-кучевых облаков (рис. 7). Менее всего тенденция увеличения повторяемости облаков Sc выражена в районах 1 и 6, коэффициенты линейного тренда составляют 0,81 и 0,45 %/10 лет соответственно.

Повторяемость кучево-дождевых облаков зимой также увеличивается во всех квазиоднородных районах (рис. 8). Наиболее явно тенденция увеличения облаков Сb выражена на севере

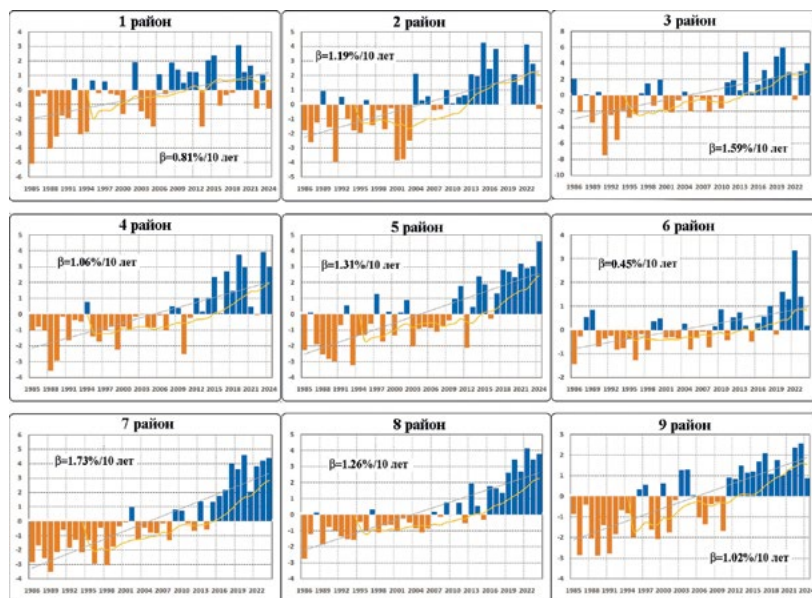


Рис. 7. Аномалии повторяемости слоисто-кучевых облаков в квазиоднородных районах РФ летом за период 1985–2024 гг. Жёлтая кривая обозначает скользящие средние, тонкая серая линия — линейный тренд.

Чукотки и Камчатки (район 3), в центральных и южных районах Западной Сибири (район 5), горных районах Алтая и Саян (район 8) и Северного Кавказа (район 9), где получены коэффициенты линейного тренда, превышающие 1 %/10 лет.

Летом с ростом температуры и влагосодержания в атмосфере конвективные процессы увеличиваются на территории всей страны. Тенденция увеличения повторяемости кучево-дождевых облаков выявлена во всех квазиоднородных климатических районах, кроме центральных областей ЕЧР (район 4), где в последние годы наблюдается уменьшение повторяемости облаков Сb (рис. 9).

В табл. 2 представлены статистически значимые на 5 %-ном уровне коэффициенты линейного тренда в рядах повторяемости основных форм облаков в зимний и летний периоды.

Таблица 2

Оценки линейного тренда (статистически значимые на 5 %-ном уровне значимости) регионально осреднённых характеристик повторяемости основных форм облаков для регионов РФ за период 1985–2024 гг.

№ района	зима									лето								
	Ci	Cs	Cs	Ac	As	Cu	Cb	St	Sc	Ci	Cs	Cs	Ac	As	Cu	Cb	St	Sc
1	-0,9	0,1	-0,4	0,4	-0,3	-0,1	0,6		2,8		0,2	0,2		-0,3	-0,5	0,5	-0,5	0,8
2	-1,7		-0,9	0,8			0,3	0,1	1,3		0,1	0,2	-0,9		-0,3	0,9	-0,5	1,2
3	-1,1		-0,7	-1,2	-0,5	0,1	1,2		2,7				-1,5	-0,5	-0,9	2,9	-1,0	1,6
4				0,8	-0,3		0,5		2,8	0,6	0,2	0,3		-0,3	-0,5		-0,2	1,1
5		0,2		0,5	-0,2		1,1		1,5		0,2	0,2		-0,2	-1,0	0,8	-0,1	1,3
6	-1,0	0,1			-0,2		0,6		0,6		0,1	0,3	-0,8	-0,2	-0,5	1,1	-0,2	0,4
7	-0,3	0,2			-0,3	-0,1			1,7		0,2		-0,5	-0,3	-0,7	1,0	-0,4	1,7
8		0,1			-0,2	-0,1	1,1		1,1	0,7	0,2		-0,2	-0,2	-1,3	0,6	-0,2	1,3
9	0,2	0,1	-0,1		-0,3		1,1	-1,1	3,0	0,8	0,2	0,1	-0,5	-0,3	-0,9		-0,1	1,0
Россия	-0,4	0,1	-0,2	0,4	-0,3		0,7	-0,3	2,0	0,3	0,2	0,2	-0,4	-0,2	-0,7	0,6	-0,3	1,1

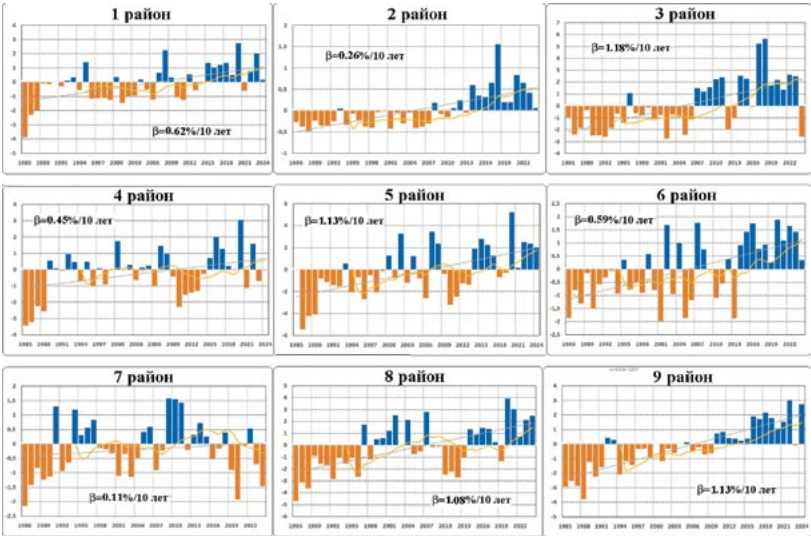


Рис. 8. Аномалии повторяемости кучево-дождевых облаков в квазиоднородных районах РФ зимой за период 1985–2024 гг. Жёлтая кривая обозначает скользящие средние, тонкая серая линия — линейный тренд.

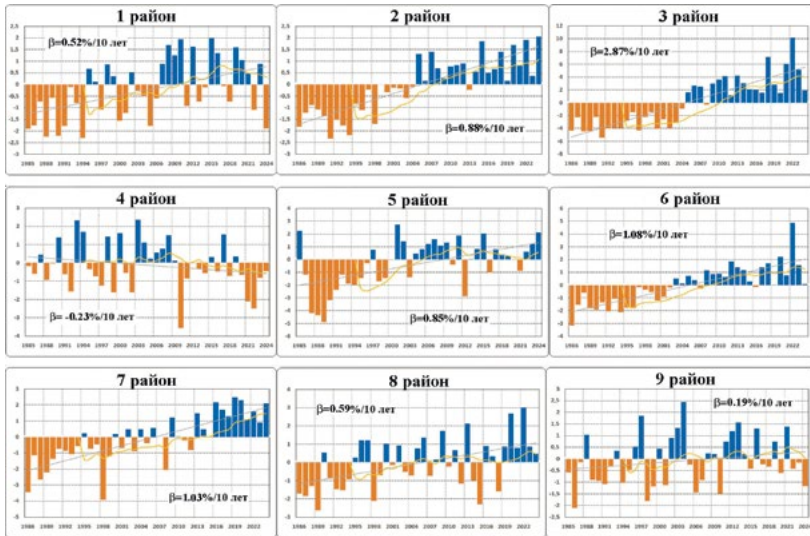


Рис. 9. Аномалии повторяемости кучево-дождевых облаков в квазиоднородных районах РФ летом за период 1985–2024 гг. Жёлтая кривая обозначает скользящие средние, тонкая серая линия — линейный тренд.

Помимо описанных выше тенденций изменения перистых C_i , высококучевых A_s , слоисто-кучевых S_c и кучево-дождевых облаков C_b , следует отметить выявленную во всех квазиоднородных районах, за исключением района 2, тенденцию уменьшения зимой и летом повторяемости высокослоистых облаков A_s . Летом уменьшается повторяемость кучевых облаков C_u во всех квазиоднородных районах, наибольшие по абсолютной величине отрицательные коэффициенты линейного тренда отмечены на юге Западной Сибири и в горных районах Алтая и Саян (районы 5 и 8). Во всех квазиоднородных районах летом выявлена тенденция уменьшения слоистых облаков S_t , наиболее заметная на севере страны (районы 1, 2, 3). Для России в целом зимой наблюдается незначительное уменьшение облаков верхнего яруса C_i и C_s , а также A_s и S_t . Летом отмечается довольно значительное увеличение слоисто-кучевых S_c и кучево-дождевых C_b облаков и менее значительное уменьшение облаков среднего яруса A_c и A_s .

Заключение

Исследование форм облачности не менее важно, чем её количества, поскольку формы облачности в какой-то степени отражают состояние атмосферы и могут служить предвестником изменения погоды. Созданные в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» верифицированные массивы характеристик облачности и разработанные авторские программные средства расчёта статистических характеристик форм облачности с учётом специфики архивного хранения данных в Госфонде ВНИИГМИ-МЦД позволяют оперативно проводить оценку аномальности повторяемости основных форм облачности и выявлять тенденции их изменения сезонного и регионального масштабов. Проведённое исследование позволило выявить заметное уменьшение облаков верхнего яруса Ci и Cs в последние годы на севере страны и для России в целом. Во всех квазиоднородных районах зимой и летом отмечается уменьшение повторяемости высокослоистых облаков и значительное увеличение слоисто-кучевых облаков. Повторяемость кучево-дождевых облаков Сb увеличивается в большинстве квазиоднородных районов не только летом, в период максимального развития конвективных процессов, но и зимой. Полученные результаты могут использоваться в подсистеме мониторинга облачности, а также для других исследовательских и прикладных целей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pandit A.K., Gadhavi H.S., Ratnam M.V., Rathunath K., Rao S.V.B., Jayaraman A. Long term trend analysis and climatology of tropical cirrus clouds using 16 years of lidar data det over Southern India // Atmos. Chem. Phys. 2015. Vol. 15. P. 3833–3848.
2. Zelinka M.D., Klein S.A., Taylor K.E., Andrews T., Webb M.J., Gregory J.M. Contributions of different cloud types to feedbacks and rapid adjustments in CMIPS // J. Climate. 2013. Vol. 26. P. 5007–5027.
3. Безрукова Н.А., Чернокульский А.В. Российские исследования облаков в 2019–2022 гг. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2023. Том 59, № 7. С. 882–914.
4. Дементьева Т. В., Коршунова Н.Н. Эмпирико-статистический анализ количества общей облачности и облачности нижнего яруса на территории России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 197–204.

5. *Руководящие указания* ВМО по расчёту климатических норм // ВМО. 2017. № 1203. 21 с.
6. *Атлас облаков*. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) им. А.И. Воейкова, [Д.П. Беспалов и др.; ред. Л.К. Сурыгина]. СПб.: Д'Арт, 2011. 248 с.
7. *Коршунова Н.Н., Дементьева Т.В.* Изменение характеристик облачности на территории России // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2023. № 3(389). С. 139–151. DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2023-3-139-151>.
8. *Коршунова Н.Н., Давлетшин С.Г.* Мониторинг облачности на территории России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 53–64.
9. *Ковалев Н.П., Правосудько Т.П.* Архив ТМС. Текущая метеорологическая информация станций. Описание архива. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1987. 118 с.
10. *Алисов Б.П.* Климат СССР. М.: Московский университет, 1956. 127 с.
11. *Кобышева Н.В. и др.* Климат России: монография / под ред. Н.В. Кобышевой. СПб.: Гидрометеоиздат, 2001. 654 с.
12. *Мазин И.П., Хргиан А.Х.* Облака и облачная атмосфера. Справочник. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 647 с.
13. *Семёнов В.А., Мохов И.И., Латиф М.* Влияние температуры поверхности океана и границ морского льда на изменение регионального климата в Евразии за последние десятилетия // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2012. Том 48, № 4, С. 403–421.
14. *Семёнов В.А.* Колебания современного климата, вызванные обратными связями в системе атмосфера – полярные льды – океан // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. № 1. С. 232–248.
15. *Ипполитов И.И., Кабанов В.В., Логинов С.В., Харюткина Е.В.* Структура и динамика метеорологических полей на азиатской территории России в период интенсивного глобального потепления 1975–2005 гг. // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2008. № 1 (4). С. 323–344.

УДК 551.501.777:551.583

ИССЛЕДОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ПО ДАННЫМ ПЛЮВИОГРАФА

Н.В. Швець¹, Н.Н. Коршунова²

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

Введение

С наблюдающимися в последние годы изменениями климата связано увеличение числа опасных погодных и природных явлений, в частности экстремальных ливней и продолжительных дождей, вызывающих катастрофические наводнения. За последние двадцать лет появилось огромное число работ, посвящённых исследованию экстремальных осадков, с которыми связаны катастрофические экономические потери [1–3]. Одной из наиболее важных характеристик осадков является их интенсивность. Данные об интенсивности дождей находят своё применение как в исследованиях режима увлажнения, так и для расчёта разнообразных специализированных показателей для нужд различных отраслей экономики, прежде всего при проектировании вновь строящихся и реконструируемых систем водоотведения [4, 5]. Однако интенсивность осадков представляет собой довольно сложную для определения и аутентичного использования в практической деятельности характеристику. Это объясняется недостаточной точностью её измерения, а также определёнными сложностями, возникающими на этапе обработки и преобразования исходных данных в специализированные показатели.

Научные исследования интенсивности осадков долгое время сдерживались отсутствием на технических носителях данных pluviографа, которым измеряются характеристики интенсивности на метеорологических станциях РФ. В настоящее время в Госфонде ВНИИГМИ-МЦД накоплена достаточная база данных об

интенсивности осадков на технических носителях за 10-минутные интервалы. Это, во-первых, даёт возможность непосредственно представлять и обновлять информацию о наблюдаемых максимумах интенсивности осадков за 10-минутные интервалы. Во-вторых, применяя метод скользящих средних с 10-минутным сдвигом периода осреднения, можно получить максимальные интенсивности дождя за интервалы времени 20, 30, 40, 50 минут, 1, 2, 3 часа дождя.

Однако следует помнить, что нужно анализировать все дожди, отмеченные на этой станции, так как максимальные интенсивности за интересующие нас интервалы времени могут наблюдаться не в один и тот же дождь.

В [6] подробно описаны методы наблюдения за интенсивностью осадков с помощью плювиографа, первичной обработки лент плювиографа и структура архивного хранения этих данных в Госфонде. Как и вся режимная метеорологическая информация, данные плювиографа хранятся в сформированных архивных файлах в языке описания данных (ЯОД) [7]. Однако сложная структура архивной записи (один дождь в записи может содержать до 400 интервалов постоянной интенсивности) затрудняла доступ к данным, хранившимся на технических носителях в Госфонде. Созданное программное обеспечение [8] значительно облегчило обработку первичных данных плювиографа.

Целью данной работы является исследование максимальной интенсивности осадков за различные интервалы времени на территории РФ по данным плювиографа за период 1984–2023 гг.

Данные

Использовались данные наблюдений по плювиографу с 1984 по 2023 год, которые представлены в архиве ТМС [9]. Данные плювиографа представлены в архиве в двух типах записей. Одна из них — PLUV — содержит исходные данные плювиографа (результаты наблюдений). Результаты наблюдения приведены для станций, на которых установлен плювиограф, и для тех месяцев, в которые выпадали жидкие осадки.

Данные за сутки содержат ежечасные значения количества зарегистрированных плювиографом 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 pluviографа. 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 станционным прибором. Записей REGEN и PLUV может не быть по причине отсутствия pluвиографа или из-за того, что на станции в течение месяца не было дождей с количеством осадков 2,5 мм и более.

Анализ данных, имеющихся в архиве ТМС, показал, что очень незначительное число станций, на которых установлен pluвиограф, имеют данные за полный период 1984–2023 гг. Во-первых, pluвиографы установлены не на всех метеорологических станциях, во-вторых, из-за неустойчивой работы приборов и сложности обработки данных периоды наблюдений на метеорологических станциях очень разнятся. Всего за рассматриваемый период в Госфонде ВНИИГМИ-МЦД имеются данные pluвиографа на 1143 метеорологических станциях, однако на многих из них период наблюдений незначительный (1–3 года). В связи с этим было принято решение рассмотреть десятилетние периоды 1984–1993, 1994–2003, 2004–2013, 2014–2023 гг. (табл. 1).

Возможности разработанной программы обработки данных pluвиографа «REGEN-PLUV» подробно описаны в [8].

С помощью созданной программы удалось обработать данные pluвиографа всех метеорологических станций РФ за период 1984–2023 гг., имеющиеся на технических носителях в Госфонде ВНИИГМИ-МЦД. Программа позволяет получать на выходе следующий набор файлов в требуемом формате:

- интенсивность осадков для каждого дождя за 10-минутный интервал времени;
- максимальную интенсивность осадков за 10-минутный интервал времени и сумму осадков за 1 час дождя;
- интенсивность осадков за интервал времени от одной до девяти минут;
- максимальную 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.

Таблица 1

**Количество метеорологических станций РФ
с наблюдениями по плевниографу
в различные периоды**

Период	Количество станций
1984–2023	1143
1984–1993	607
1994–2003	244
2004–2013	173
2014–2023	122

Контроль данных

При подготовке данных особое внимание уделялось их качеству. В обоих типах записей были обнаружены ошибки разного типа, которые условно можно объединить в три группы.

1. Пропуски в записях или неверное значение времени. Данные с пропусками выделяются и помещаются в отдельные файлы (например, I4084820-Errors). При этом алгоритм программы работает таким образом, что сохраняется возможность получать интенсивности осадков за интервалы времени от одной до девяти минут из каждой подобной записи.

2. Записи с отрицательными значениями интенсивностей, которые программа отбраковывает и записывает в отдельный файл (ALL —Negative-Errors).

3. Случаи, когда время первой отсечки не было кратно десяти. 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.

Результаты

Рассмотрим полученные результаты. На рис. 1 представлено пространственное распределение максимальной интенсивности осадков за 10-минутный интервал на территории России. Рисунок наглядно демонстрирует стремительное уменьшение от десятилетия к десятилетию количества метеорологических станций, на которых ведутся наблюдения за интенсивностью осадков с помощью плувиографа, несмотря на растущую востребованность этих данных. Причины связаны не только с техническими трудностями получения и обработки данных, о чём упоминалось выше, но и с острой нехваткой квалифицированных кадров наблюдателей.

Однако при этом можно заметить значительное увеличение интенсивности осадков за 10-минутный интервал в период 1994–2003 гг. (рис. 1б) в Крыму, на Кубани, Северном Кавказе, в юго-восточных районах Западной Сибири и на дальневосточном юге.

В следующем десятилетии 2004–2013 гг. (рис. 1в) очаги максимальной интенсивности осадков, превышающей 2 мм/мин, уменьшились в северо-западных областях ЕТР, на Северном Кавказе и дальневосточном юге. Однозначно нельзя утверждать, связано ли это с объективными причинами, обусловленными изменением климата, или с уменьшением наблюдений по плувиографу. Увеличилась интенсивность осадков на западе и юге Западной Сибири. Зона максимальной интенсивности осадков более 2 мм/мин протянулась вдоль течения Оби и Иртыша. Максимальная интенсивность (3,87 мм/мин) отмечена в Тобольске. Увеличение максимальной интенсивности осадков отмечено также в Предбайкалье.

Совсем печальная картина с данными плувиографа сложилась в последнем десятилетии (рис. 1г), поэтому сложно судить о

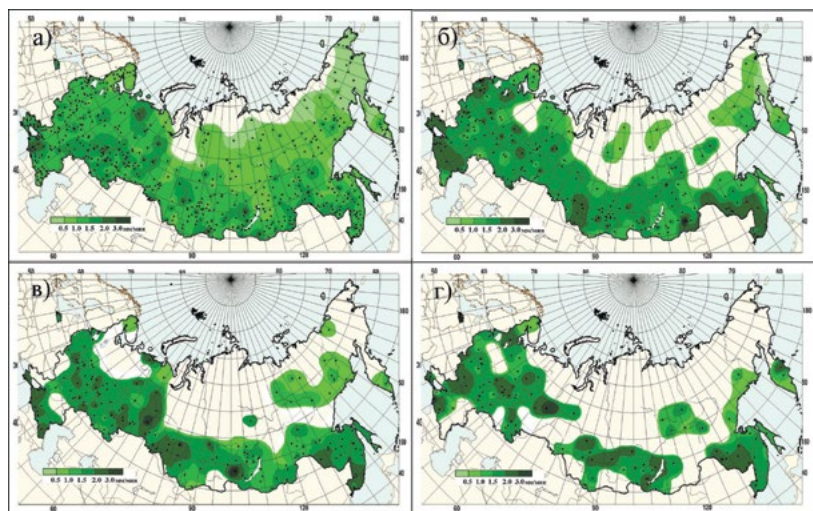


Рис. 1. Максимальная интенсивность осадков за 10-минутный интервал на территории РФ за периоды: а) 1983–1993 гг.; б) 1994–2003 гг.; в) 2004–2013 гг.; г) 2014–2023 гг.

естественных причинах изменения интенсивности осадков на территории страны. Очаги интенсивности осадков более 2 мм/мин, связанные с отдельными сильными ливнями, отмечались на юге Черноземья, в Карелии, на Верхней Волге, в южных районах Ханты-Мансийского автономного округа, в центральных районах Красноярского края и в районе озера Байкал. Сохраняются традиционные зоны значительной интенсивности осадков в Крыму и на Черноморском побережье Кавказа, а также на дальневосточном юге. Однако следует отметить, что на юге Дальнего Востока очаг максимальной интенсивности более 2 мм/мин сместился в Амурскую область, а в Приморском крае интенсивность осадков уменьшилась.

Интенсивность дождя за 60-минутный интервал значительно ниже (рис. 2). Таких данных объективно меньше, так как многие дожди ливневого характера продолжаются менее часа. На большей части страны во все периоды интенсивность дождей за 60-минутный интервал не превышает 1 мм/мин. В период

1994–2003 гг. небольшие очаги интенсивности 1–1,5 мм/мин отмечались на Черноморском побережье Кавказа, в Новосибирской и Амурской областях, Приморском крае (рис. 2б). Такая же интенсивность на Черноморском побережье Кавказа и в Амурской области сохранялась и в следующем десятилетии (рис. 2в). В последнем десятилетии интенсивность дождя за 60-минутный интервал увеличилась на восточном побережье Камчатки и в междуречье Волги и Дона (рис. 2г). На Черноморском побережье Кавказа данных об интенсивности дождя за 60 минут нет, хотя наблюдения по плувиографу на отдельных станциях проводились. По-видимому, летние ливневые дожди здесь стали короче.

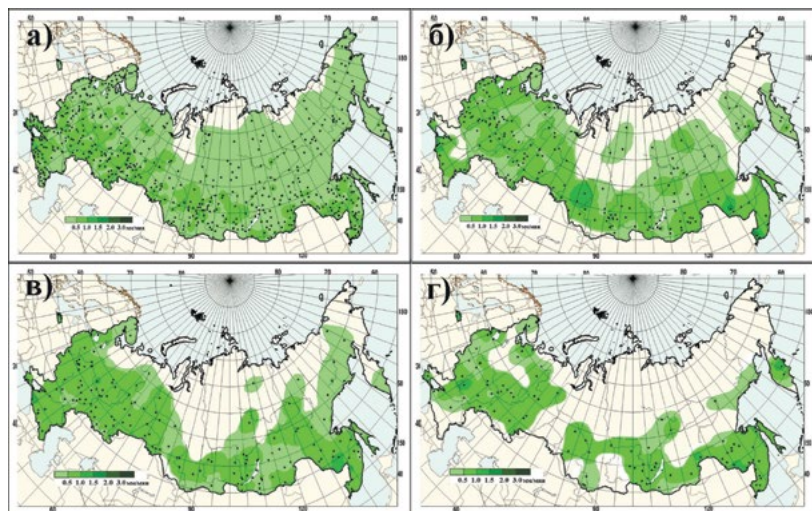


Рис. 2. Максимальная интенсивность осадков за 60-минутный интервал на территории РФ за периоды: а) 1983–1993 гг.; б) 1994–2003 гг.; в) 2004–2013 гг.; г) 2014–2023 гг.

В табл. 2 представлены статистические характеристики дождей с максимальной интенсивностью на метеорологических станциях, имеющих наиболее продолжительный ряд наблюдений по плувиографу и расположенных в разных квазиоднородных районах (рис. 3).

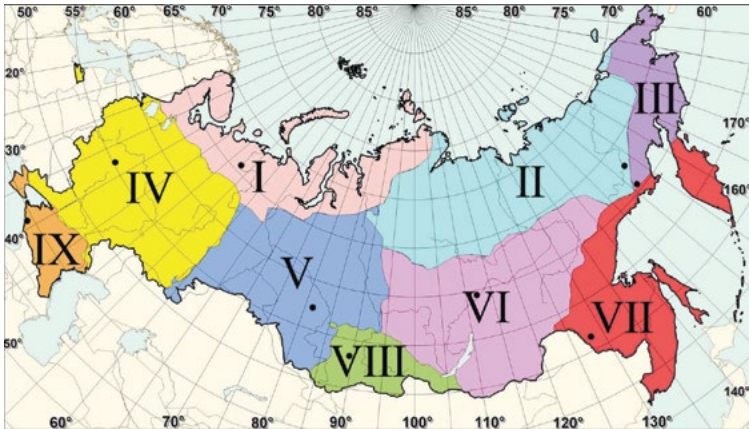


Рис. 3. Квазиоднородные климатические регионы [10]: I — север ЕЧР и Западной Сибири; II — северная часть Восточной Сибири и Якутии; III — Чукотка и север Камчатки; IV — центр ЕЧР; V — центр и юг Западной Сибири; VI — центр и юг Восточной Сибири; VII — Дальний Восток; VIII — Алтай и Саяны, IX — юг ЕЧР

Таблица 2

Статистические характеристики дождей с максимальной интенсивностью за 10-минутный интервал

Район	Название станции	Дата дождя	Продолжительность (час, мин)	Сумма осадков, мм	Средняя интенсивность (мм/мин)	Макс. интенсивность (мм/мин)	σ	Период наблюдений
I	Усть-Цильма	12.06.1991	0,25	28,2	1,13	2,75	1,92	1984–2023
II	Среднекан	17.07.2002	0,35	19,3	0,55	1,28	0,61	1985–2023
III	Мадаун	3.07.2003	3,55	53,9	0,23	1,44	0,53	1985–2023
IV	Москва, ВДНХ	30.06.2017	7,52	62,9	0,13	1,92	0,46	1984–2023
V	Бакчар	11.06.2009	1,22	52,8	0,64	3,20	1,61	1985–2023
VI	Витим	8.07.2002	1,10	60,8	0,87	2,11	0,71	1985–2023
VII	Шимановск	4.07.2020	0,31	34,2	1,10	3,19	2,17	1985–2023
VIII	Усть-Кабырза	18.07.2002	7,45	43,0	0,09	2,11	0,46	1985–2023
IX	Сочи	24.07.1985	0,38	48,0	1,26	3,40	1,77	1984–2023

Как видно из таблицы, нет прямой зависимости интенсивности дождя, как средней, так и максимальной, от его продолжительности, хотя интенсивность за 10-минутный интервал грозовых ливневых дождей, которые обычно бывают непродолжительными,

больше. Однако значительная интенсивность отмечена и в довольно продолжительных дождях на метеорологических станциях Москва, ВДНХ и Усть-Кабырза.

На рис. 4 показано изменение интенсивности наиболее продолжительных дождей. На северо-западе Европейской территории России (Санкт-Петербург) продолжительные дожди чаще всего имеют обложной характер с частыми кратковременными перерывами, их интенсивность невелика. Для Сочи интенсивность

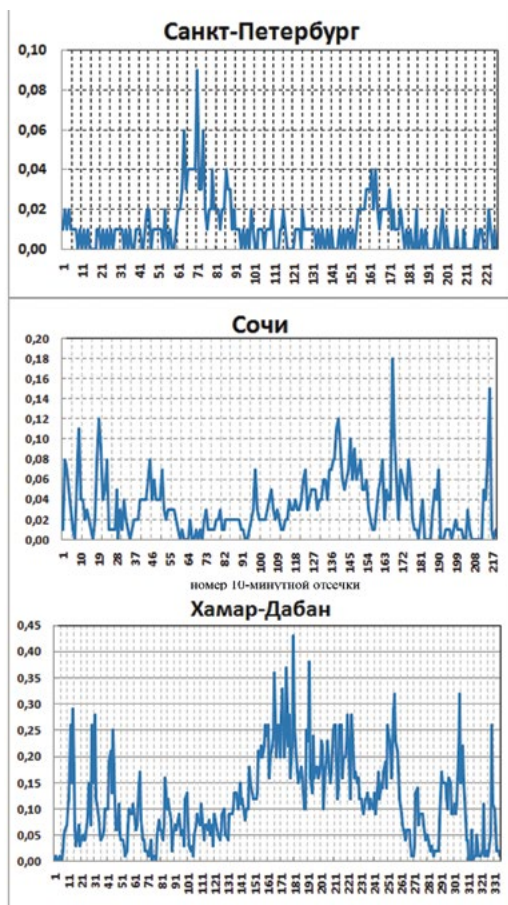


Рис. 4. Изменение интенсивности внутри продолжительных дождей

затяжных дождей, которые обычно наблюдаются во втором полугодии, выше, характерны резкие кратковременные увеличения интенсивности и наличие довольно продолжительных периодов малой интенсивности. Самый продолжительный дождь за рассматриваемый период отмечен на метеорологической станции Хамар-Дабан, которая расположена на западном наветренном склоне одноимённого хребта, продолжительные дожди большой интенсивности здесь не редкость. Максимальная интенсивность наблюдалась в середине дождя. Статистические характеристики этих продолжительных дождей приведены в табл. 3.

Таблица 3

Статистические характеристики дождей с максимальной продолжительностью

Название станции	Дата дождя	Продолжительность (час, мин)	Сумма осадков, мм	Средняя интенсивность (мм/мин)	Макс. интенсивность (мм/мин)	σ	Период наблюдений
Санкт-Петербург	18–19.09.2002	38,03	24,7	0,01	0,09	0,02	1984–2023
Хамар-Дабан	27–29.07.2019	56,2	385,4	0,11	0,43	0,09	1985–2023
Сочи	23–25.12.2014	36,35	73,4	0,03	0,18	0,04	1984–2023

Заключение

Разработанные программные средства позволили обработать, проконтролировать и проанализировать данные наблюдений за интенсивностью осадков по плювиографу, которые имеются на технических носителях в Госфонде ВНИИГМИ-МЦД. Получены карты интенсивности осадков за 10- и 60-минутные интервалы за отдельные десятилетия периода 1984–2023 гг., которые наглядно демонстрируют стремительное уменьшение от десятилетия к десятилетию количества метеорологических станций, на которых ведутся наблюдения за интенсивностью осадков с помощью плювиографа, несмотря на растущую востребованность этих данных. Так, в [11] показано, как привлечение данных плювиографа выявило наличие временной неоднородности в базе данных опасных явлений, повлёкших за собой значительный ущерб экономике и населению [12]. В дальнейшем планируется более детальное изучение причин изменения интенсивности осадков на

территории страны в последние годы. Однако проведённое исследование позволило выявить некоторые региональные особенности пространственного распределения интенсивности осадков, а также изменения интенсивности в течение продолжительных дождей в разных регионах страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Borodina A, Fisher E.M., Knutti R. Models are likely to underestimate increase in heavy rainfall in the extratropical regions with high rainfall intensity // *Geophys. Res. Lett.* 2017. Vol. 44. P. 7401–7409. <https://doi.org/10.1002/2017GL074530> (2017).
2. Donat M.G., Lowry A.L., Alexander L.V., Odorman P.A., Maher N. More extreme precipitation in the world's dry and wet regions // *Nature Clim. Change*. 2016. Vol. 6. P. 508–513. <https://doi.org/10.1038/nclimate2941> (2016).
3. Groisman P.Y. et al. Trend sinintense Precipitation in the Climate Record // *J. Climate*. 2005. Vol. 18. P. 1326–1350. <https://doi.org/10.1175/jc3339.1> (2005).
4. Иванова Е.В. Расчёт профиля дождя для проектирования систем водоотведения // *Труды ГГО*. 2010. Вып. 562. С. 118–127.
5. Иванова Е.В., Ницис В.Э. Специализированные характеристики интенсивности осадков, применяемые в ЕС для проектирования систем водоотведения дождевых вод // *Труды ГГО*. 2011. Вып. 563. С. 196–203.
6. Швець 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.
7. Веселов В.М. Язык описания гидрометеорологических данных для IBM PC совместимых ПЭВМ // *Труды ВНИИГМИ-МЦД*. 1995. Вып. 160. С. 41–54.
8. Перетягко Л.О., Швець Н.В. Программа обработки данных плювиографа «REGEN-PLUV» // *Труды ВНИИГМИ-МЦД*. 2024. Вып. 192. С. 202–219.
9. Ковалёв Н.П., Правосудько Т.П. Архив ТМС «Текущая метеорологическая информация станций: результаты наблюдений» — описание архива. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1999. 188 с.
10. Алисов Б.П. Климат СССР. М.: Московский университет, 1956. 127 с.
11. Чернокульский А.В., Елисеев А.В., Козлов Ф.А., Коршунова Н.Н., Курганский М.В., Мохов И.И., Семенов В.А., Швець Н.В., Шихов А.Н., Ярынич Ю.И. Опасные атмосферные явления конвективного характера в России: наблюдаемые изменения по различным данным // *Метеорология и гидрология*. 2022. № 5. С. 27–41.
12. Коршунов А.А., Шаймарданов В.М., Шаймарданов М.З., Шамин С.И. Повторяемость опасных гидрометеорологических явлений, нанёсших социально-экономический ущерб в 1998–2017 гг. // *Метеорология и гидрология*. 2019. № 11. С. 13–19.

УДК 551.501.771

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА НА АРКТИЧЕСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ЗА ПЕРИОД 1966–2024 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 хребтов до равнин, лежащих ниже уровня моря, а также влияние Арктики, Атлантического и Тихого океанов на воздушные массы.

Карта климатических поясов России включает 5 основных типов с севера на юг: арктический, субарктический, умеренный, муссонный и субтропический [1].

Наше исследование посвящено районам российской Арктики, расположенным в основном в арктическом и субарктическом климатических поясах. В умеренный пояс входят лишь небольшие территории на ЕТР.

Мониторинг текущих изменений климата в полярных регионах особенно актуален, поскольку глобальное потепление климата на Земле, подтверждённое уже мировыми учёными, пространственно неоднородно.

В арктических регионах оно имеет наиболее значимые характеристики, которые отмечены прежде всего как раз в регионе Российской Арктики [2], исследованию которого уделяется в настоящее время особое внимание.

Обычно в исследованиях изменения климата используют температуру воздуха [3]. Её изменения влекут за собой изменение

других параметров климатической системы. Поэтому представляет интерес поведение других параметров, одним из которых и является относительная влажность воздуха, являющаяся предметом данного исследования.

Данные и методы

Для исследования изменчивости режима влажности исходным материалом послужил базовый массив относительной влажности воздуха (f), представляющий собой ряды среднемесячных значений относительной влажности воздуха 570 станций России с 1966 по 2024 г., равномерно расположенных на территории. Из массива были выбраны все прибрежные, островные и внутриконтинентальные станции, расположенные за северным полярным кругом и относящиеся к арктической территории России. Вся информация проконтролирована [4] и пополнена, что соответствует требованиям, предъявляемым к данным в задачах исследования изменения климата. Базовый массив был дополнен ввиду редкой сети северными станциями, входящими в арктический и субарктический пояс и относящимися к району Арктики. Добавленные станции позволили выделить для анализа дополнительный отдельный район — это район льдов и ледяной тундры, находящийся в районе 65–70-й параллели на азиатской 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. В сочетании с осадками выделенный район в переходные сезоны сопровождается излишней влажностью.

Проведённые нами ранее исследования [5, 6] изменчивости относительной влажности воздуха по климатическим районам Алисова [7], учитывающие особенности радиационного режима и циркуляции атмосферы в сочетании с районированием Каминского А.А. [8] по дневной относительной влажности воздуха, показали зависимость её в большей степени от типа подстилающей поверхности в сочетании с природно-климатическими зонами и позволили выделить 5 арктических районов, расположенных

(взято условно) за северным полярным кругом ($66,4^{\circ}$ с.ш.). Карта-схема этих районов представлена на рис. 1.

В ранних работах [9] показано, что годовой ход относительной влажности станций, расположенных в различных природно-климатических районах, сильно отличаются между собой не только значениями, но и временем наступления и количеством максимумов и минимумов в годовом ходе, и сильно зависит от типа подстилающей поверхности, а особенно от близости водоёмов (морей, океанов, озёр и рек). Поэтому для исключения влияния нерепрезентативных станций на осреднённые результаты для всех станций каждого района был проведён анализ годового хода относительной влажности воздуха, в результате которого были выбраны станции с одинаковым годовым ходом элемента, который свойствен данному району.

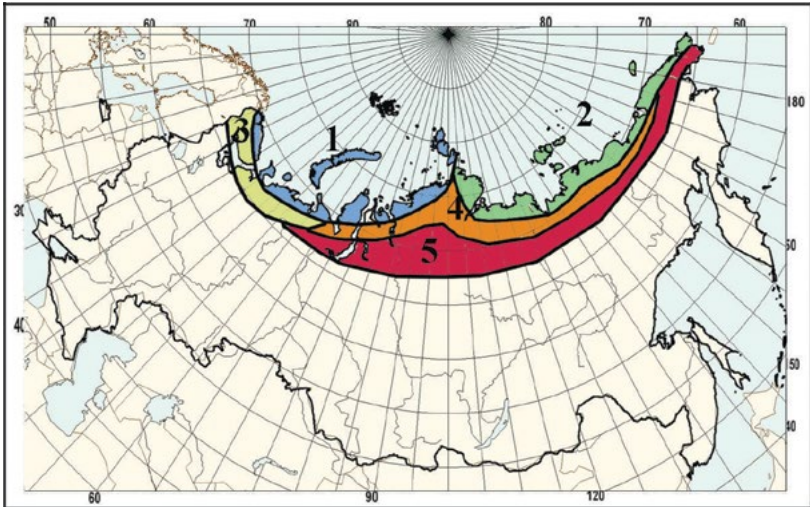


Рис. 1. Карта-схема основных природно-климатических районов арктической территории России для исследования относительной влажности воздуха: 1 — арктический атлантический район; 2 — арктический тихоокеанский район; 3 — атлантический континентальный район; 4 — район льдов и ледяной тундры; 5 — субарктический континентальный район

Целью настоящей работы является анализ изменения относительной влажности воздуха по основным природно-климатическим зонам арктической территории России (рис. 1). Расчёт проводился для года в целом и отдельно для каждого сезона. В качестве сезона были приняты: зима (декабрь–февраль), весна (март–май), лето (июнь–август) и осень (сентябрь–ноябрь). 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 [10], значимость коэффициентов линейного тренда оценивалась по критерию Стьюдента [10]. Для исключения влияния годового хода в исследованиях изменчивости 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 [11], нормы за три последних тридцатилетия 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 сезонов тренды относительной влажности воздуха (%/10 лет) за период с 1966 по 2024 г., которые представлены в таблице.

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. По выбранным районам оценивались линейные тренды для временных рядов аномалий относительной влажности воздуха.

Т а б л и ц а

Коэффициенты линейных трендов аномалий среднемесячной относительной влажности воздуха (Δf), осреднённых по квазиоднородным климатическим районам арктической территории России за период 1966–2024 гг. (% /10 лет) для сезонов и за год в целом

Районы	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
1	-0,17	+0,19	-0,34*	+0,08	-0,07
2	-0,30*	-0,25*	-0,19	+0,14	-0,16
3	+0,26*	-0,40*	+0,13	+0,31*	+0,11
4	-0,26*	-0,34*	-0,71*	+0,17	-0,25*
5	+0,22	-0,09	+0,26*	+0,57*	+0,32*

Примечания: * помечены тренды, значимые при заданном 5 %-ном уровне значимости; красным шрифтом выделены положительные значения коэффициента линейного тренда.

На рис. 2–6 представлены распределения линейных трендов (прямая чёрная линия) и временные ряды осреднённых аномалий относительной влажности воздуха (синяя линия) для сезонов и года по основным природно-климатическим районам арктической территории России за полный (1966–2024 гг.) исследуемый период.

Дополнительно были рассчитаны тренды для двух одинаковых периодов — 1966–1994 гг. (первый период) и 1995–2024 гг. (второй период), чтобы оценить тенденцию изменения влажности за последнее тридцатилетие и сравнить с полным (1966–2024 гг.) и первым периодом.

На рис. 2–6 линии линейных трендов за эти периоды и соответствующие им уравнения коэффициентов линейного тренда выделены красным цветом, если отмечается отрицательный линейный тренд, показывая понижение относительной влажности, либо зелёным цветом — при положительном линейном тренде, т.е. отмечается рост влажности. Однако в силу коротких рядов первого и второго периодов определение статистических обеспеченных оценок здесь затруднительно.

Рассмотрим пространственные особенности распределения трендов и аномалий среднемесячной относительной влажности воздуха по сезонам.

Зимой на исследованной территории России наблюдается довольно пёстрая картина в распределении трендов. На арктических прибрежных и островных территориях (районы 1 и 2) и в районе 4, граничащим с ними, наблюдается уменьшение аномалий среднемесячных значений относительной влажности воздуха, но тренд здесь мал и не везде значим. Рост аномалий влажности наблюдается на внутриконтинентальной европейской территории (район 3), где тренд за полный период составляет $0,26 \text{ \%}/10 \text{ лет}$ (см. табл. и рис. 2). Следует отметить, что тренды за последнее тридцатилетие для районов, находящихся под влиянием Атлантики (районы 1 и 3), показывают зимой рост влажности, что, возможно, связано с повышением зимней температуры [3, 12] и увеличением количества оттепелей [13]. Эти факторы приводят к увеличению концентрации водяного пара в воздухе, в отличие от районов на азиатской части арктической России, — это районы 2 и 4, где отмечается падение влажности за полный период и последнее тридцатилетие. На остальной арктической территории — район субарктики (район 5) — наблюдается разнонаправленная картина незначимых трендов по всем периодам.

Весной (табл. и рис. 3) отмечается противоположная картина: почти на всей арктической территории России наблюдается уменьшение относительной влажности воздуха. Важно отметить, что уменьшение влажности наблюдается во все периоды (1966–2024 гг., 1966–1994 гг. и 1995–2024 гг.) почти по всем арктическим районам России. Здесь статистически значимый коэффициент линейного тренда составляет от $-0,4 \text{ \%}/10 \text{ лет}$ в континентальных районах ЕТР (3 район) до $-0,09 \text{ \%}/10 \text{ лет}$ на севере АТР (район 5), что связано с резким повышением температуры воздуха весной и малым содержанием водяного пара после зимнего вымораживания [14]. Увеличение аномалий относительной влажности воздуха отмечается лишь на побережье и островах Баренцева и Карского морей Северного Ледовитого океана (район 1), находящихся под влиянием Атлантики — тренд здесь составляет $+0,19 \text{ \%}/10 \text{ лет}$,

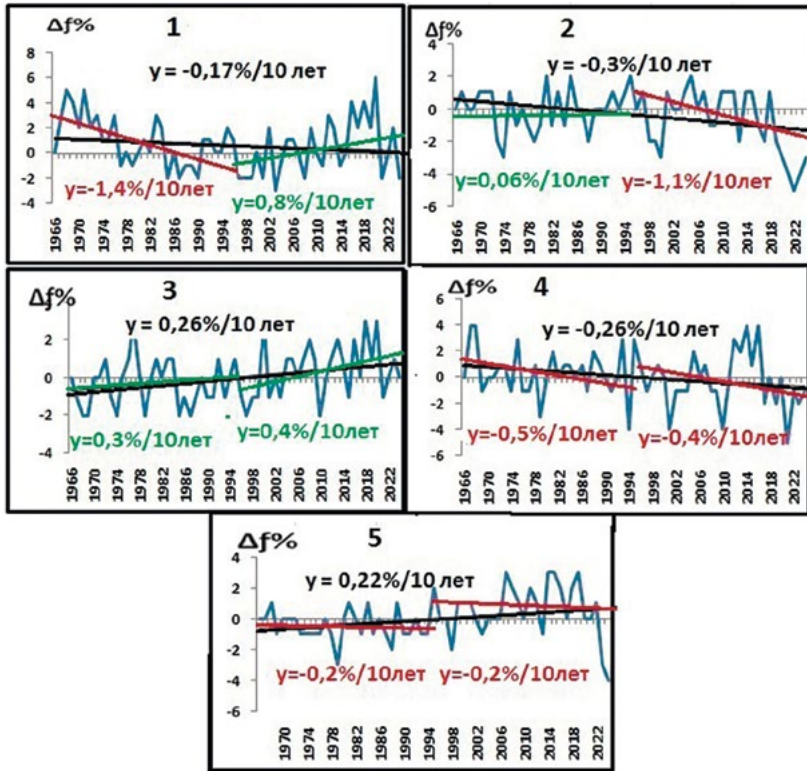


Рис. 2. Тренды (%/10 лет) и временные ряды аномалий осреднённой по территории арктических квазиоднородных климатических районов России относительной влажности воздуха зимой за периоды 1966–2024, 1966–1994 и 1995–2024 гг.

Обозначения: 1 — арктический атлантический район;
 2 — арктический тихоокеанский район; 3 — атлантический континентальный район; 4 — район льдов и ледяной тундры;
 5 — субарктический континентальный район.

при этом такая тенденция обусловлена последним периодом (1995–2024 гг.), который внёс существенный вклад (тренд равен 1,2 %/10 лет) в рост влажности.

Летнее распределение (табл. и рис. 4) трендов аномалий относительной влажности по арктической территории пространственно неоднородно и неравномерно по периодам: районы в глубине

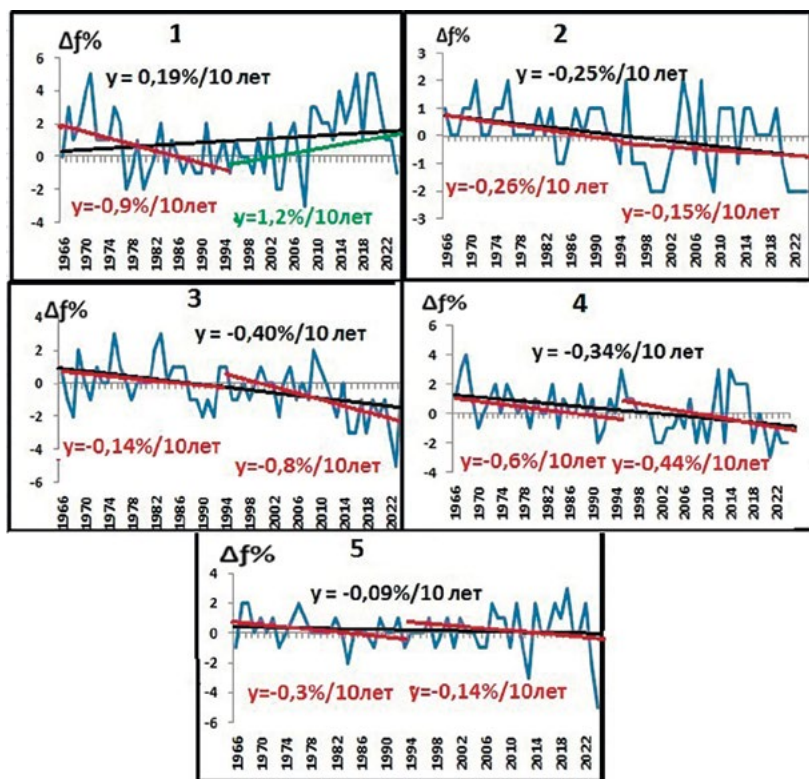


Рис. 3. Тренды ($\%/10 \text{ лет}$) и временные ряды аномалий, осреднённой по территории квазиоднородных климатических районов на арктической территории России относительной влажности воздуха весной за периоды 1966–2024, 1966–1994 и 1995–2024 гг.

Обозначения: 1 — арктический атлантический район;
2 — арктический тихоокеанский район; 3 — атлантический континентальный район; 4 — район льдов и ледяной тундры;
5 — субарктический континентальный район.

территории (районы 3 и 5) показывают за полный период увеличение влажности, хотя в последнее тридцатилетие (1995–2024 гг.) тренд сменил знак и наблюдается уменьшение влажности. Самое существенное понижение влажности со значимыми трендами $-0,71 \%/10 \text{ лет}$ отмечено в районе льдов (район 4), причём по всем анализируемым периодам. Уменьшение влажности наблюдается

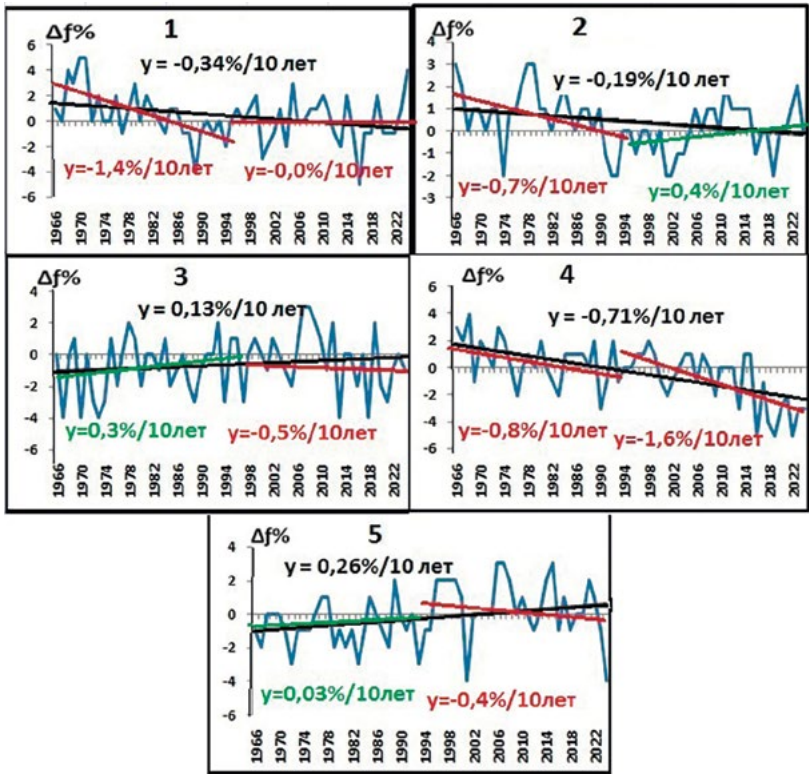


Рис. 4. Тренды ($\%/10 \text{ лет}$) и временные ряды аномалий, осреднённой по территории квазиоднородных климатических районов на арктической территории России относительной влажности воздуха летом за периоды 1966–2024, 1966–1994 и 1995–2024 гг.

Обозначения: 1 — арктический атлантический район;
 2 — арктический тихоокеанский район; 3 — атлантический континентальный район; 4 — район льдов и ледяной тундры;
 5 — субарктический континентальный район.

также в районах 1 и 2 почти по всем периодам, кроме района 2, единственном на всей арктической территории, где в последнее тридцатилетие отмечается летом рост влажности (величина тренда составляет $+0,4 \%/10 \text{ лет}$.)

Осенью (табл. и рис. 5) картина в распределении трендов по территории в отличие от летней не такая разнообразная: по всем

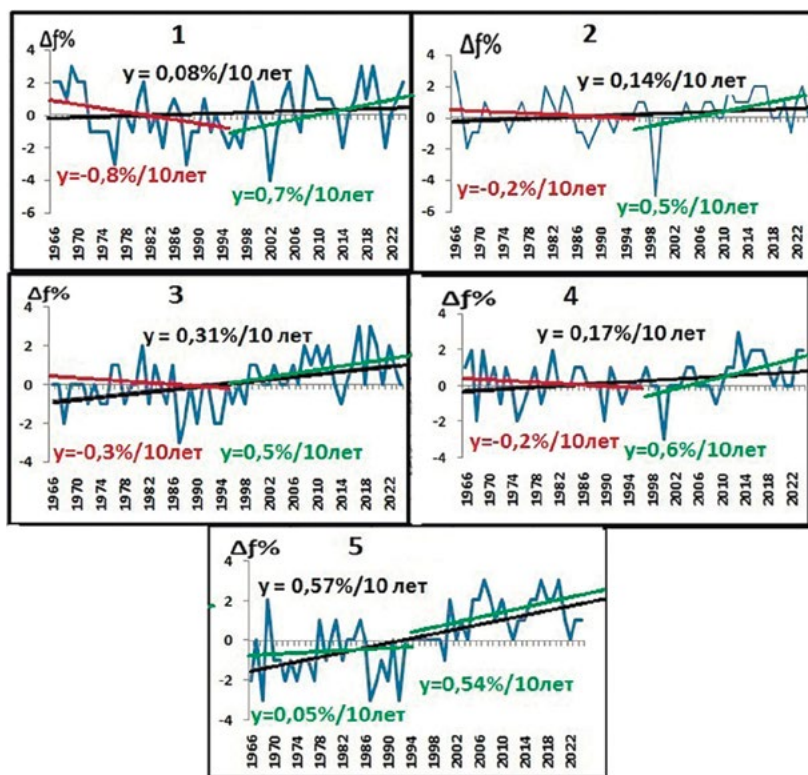


Рис. 5. Тренды (%/10 лет) и временные ряды аномалий, осреднённой по территории квазиоднородных климатических районов на арктической территории России относительной влажности воздуха осенью за периоды 1966–2024, 1966–1994 и 1995–2024 гг.

Обозначения: 1 — арктический атлантический район; 2 — арктический тихоокеанский район; 3 — атлантический континентальный район; 4 — район льдов и ледяной тундры; 5 — субарктический континентальный район.

районам арктической территории России за период 1966–2024 гг. наблюдается увеличение влажности: тренды от +0,57 %/10 лет до 0,08 %/10 лет, хотя они не везде значимы. Интересно отметить, что последнее тридцатилетие вносит существенный вклад в рост влажности осенью: по всем районам за период 1995–2024 гг. наблюдается рост влажности — тренды составляют 0,7–0,5 %/10 лет.

Годовые изменения влажности на арктических территориях России (табл. и рис. 6) не существенны: тренды малы и незначимы. Рост влажности (значимый тренд равен 0,32 %/10 лет) по всем временным периодам отмечается лишь на АТР в районе субарктики (район 5).

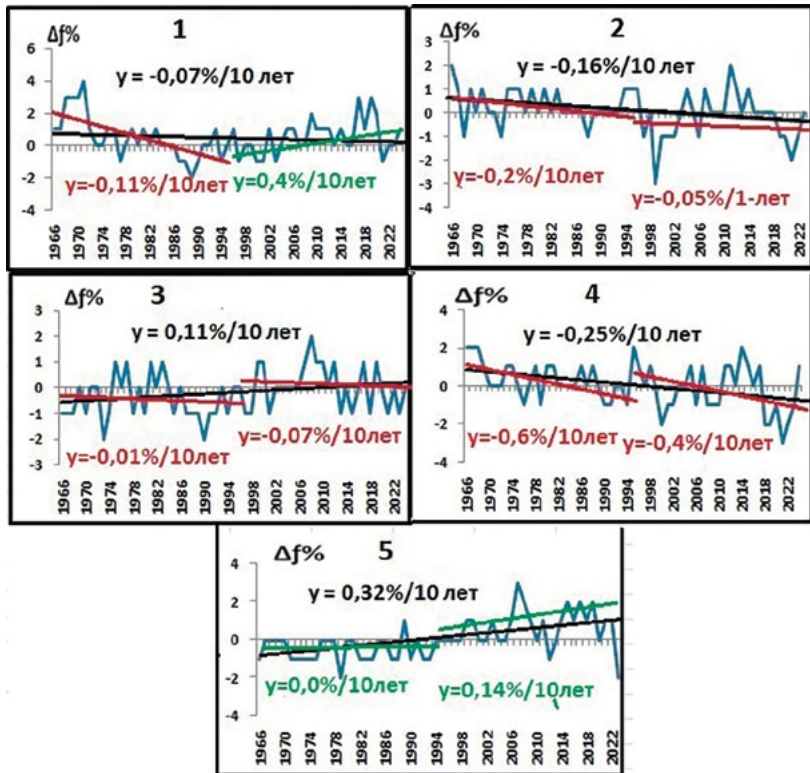


Рис. 6. Тренды (%/10 лет) и временные ряды аномалий, осреднённой по территории квазиоднородных климатических районов на арктической территории России годовой относительной влажности воздуха за периоды 1966–2024, 1966–1994 и 1995–2024 гг.
Обозначения: 1 — арктический атлантический район; 2 — арктический тихоокеанский район; 3 — атлантический континентальный район; 4 — район льдов и ледяной тундры; 5 — субарктический континентальный район.

На оставшейся азиатской части арктической территории (районы 2 и 4) наблюдается тенденция уменьшения влажности по всем периодам; в районах, находящихся под влиянием Атлантики (районы 1 и 3) тренды разнонаправлены, незначимы и малы, и лишь в районе Баренцева и Карского морей (район 1) за период 1995–2024 гг. отмечается рост влажности — тренд составляет 0,4 %/10 лет.

Выводы

Таким образом, анализ изменений относительной влажности воздуха на арктической территории России с помощью линейного тренда за полный период (1966–2024 гг.) и за сравниваемые периоды (1966–1994 гг.) и (1995–2024 гг.) выявил некоторые региональные и сезонные особенности.

Годовые изменения влажности в природно-климатических районах арктической территории России незначительны — тренд-анализ не показал чётких закономерностей годовых изменений влажности за исследуемые периоды, отмечены незначительные как положительные, так и отрицательные тенденции, свидетельствующие о том, что годовые значения относительной влажности воздуха близки к норме почти на всей арктической территории России.

Анализ сезонных изменений относительной влажности показывает неоднородность их в пространстве и во времени: летом и зимой в районах, находящихся на побережье и островах под влиянием морей Северного Ледовитого океана, — это районы 1, 2 и 4, — наблюдается уменьшение влажности; в районах, находящихся на внутриконтинентальной части арктической территории (районы 3 и 5), наоборот — её увеличение.

Возможно, такие разнонаправленные изменения связаны с разными типами подстилающей поверхности, которые реагируют по-разному на изменение климатических параметров.

В переходные сезоны года отмечены следующие особенности: весной наблюдается уменьшение влажности почти на всей арктической территории России, кроме районов Баренцева

и Карского морей, которые выбиваются из общей картины, показывая незначительный рост влажности.

Наибольший интерес из сезонов года представляет осень, когда на всей арктической территории России наблюдается рост относительной влажности воздуха за полный период и за последнее тридцатилетие, что, возможно, связано с увеличением влагосодержания за счёт таяния ледников летом [15] и понижением температуры осенью.

Таким образом, на основе результатов анализа трендов аномалий среднемесячной относительной влажности получены новые данные пространственно-временных особенностей изменения относительной влажности воздуха на арктической территории России. Полученные результаты демонстрируют, что климат становится более изменчив, распределения трендов неоднородны в пространстве и во времени. Видно, что на фоне повышения температуры [16, 17] и сокращения площади морских льдов [15] изменения влажности в Арктическом регионе России неоднозначны и зависят ещё от многих факторов, которые следует исследовать отдельно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алисов Б.П. и др. Курс климатологии. Часть 3. Л.: Гидрометеиздат, 1954. 320 с.
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации/ Науч. рук. В.М. Катцов, С.М. Семёнов. М: Росгидромет, 2014. 1005 с.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.

7. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 751 с.
8. Дроздов О.А. и др. Климатология. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 568 с.
9. Кузнецова В.Н., Швець Н.В. Особенности изменчивости относительной влажности воздуха на территории России за последние десятилетия // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 19–33.
10. Пановский Г.А., Брайер Г.В. Статистические методы в метеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1972. С. 125–135.
11. 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.
12. Шерстюков Б.Г. Сезонные особенности изменения климата за 1976–2011 гг. // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2012. Вып. 176. С. 3–12.
13. 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.
14. Мамонтов Н.В. Статистические характеристики относительной влажности воздуха в различные часы суток на территории СССР. М: Гидрометеиздат, 1982. 225 с.
15. Цатуров Ю.С., Клепиков А.В. Современное изменение климата Арктики: результаты нового оценочного доклада Арктического совета // Арктика: экология и экономика. 2012. № 4(8). С. 76–81.
16. 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.
17. 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 551.554

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАССЕЯНИЯ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ В ЗАДАННОЙ ТОЧКЕ ПО РАДИОЗОНДОВЫМ ДАННЫМ

Е.В. Духов, А.В. Хохлова¹

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

Введение

Радиозондовые данные, хранимые в архивах Госфонда ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», используются для решения различных задач, как исследовательских, так и прикладных. Одна из важнейших прикладных задач состоит в определении климатических условий рассеяния примеси в пограничном слое атмосферы [4–6, 8]. Обычно эта задача возникает при проектировании площадок для различных крупных объектов, в том числе АЭС. Климатические условия рассеяния примеси включают в себя характеристики температурно-ветрового режима и параметры устойчивости атмосферы в пограничном слое. Эти характеристики должны быть определены для точки с заданными географическими координатами. Если рядом с точкой расчёта расположена аэрологическая станция, то необходимые параметры рассчитываются непосредственно по данным этой станции. В случае отсутствия близких станций, используются либо данные реанализа, либо комбинация данных станций, расположенных в пределах радиуса корреляции метеоэлементов. Разработанный ранее для этой цели пакет программ статистической обработки [1, 2] в настоящее время не может быть использован по ряду причин. Ранее был также разработан программный комплекс на основе данных реанализа, который показал хорошие результаты [7] и который используется для расчёта аэроклиматических характеристик в случае отсутствия

аэрологических станций. Актуальной задачей на настоящий день является разработка аналогичного комплекса, основанного только на данных аэрологических станций, что позволит отказаться от использования данных зарубежных климатических центров в тех случаях, когда в окрестности требуемой точки расчёта на расстоянии до 800–900 км имеются аэрологические станции. Целью настоящей работы является создание программных средств расчёта статистических характеристик температурно-ветрового режима пограничного слоя атмосферы в точке с заданными географическими координатами по радиозондовым данным, имеющимся в аэрологических массивах ВНИИГМИ-МЦД. Эту задачу можно разделить на два основных этапа: 1 — получение метеопараметров в расчётной точке на заданных высотах из данных окружающих станций за каждый срок, 2 — расчёт требуемых параметров и статистических характеристик. В настоящей статье основное внимание уделено решению первой задачи.

Данные для расчёта параметров температурно-ветрового режима в пограничном слое

Ниже перечислены основные аэроклиматические параметры пограничного слоя, обычно требуемые при проведении изысканий.

- *Ветровой режим в пограничном слое:*
 - средняя и результирующая скорости ветра на заданных высотах и в слоях;
 - распределение скорости ветра по направлениям в 8 и 16 румбах, средние скорости ветра в этих направлениях, с градациями по значению скорости ветра, на заданных высотах;
 - повторяемость штилей и слабых ветров.
- *Характеристики температурной стратификации и устойчивости атмосферы в пограничном слое:*
 - средние вертикальные градиенты температуры воздуха в заданных слоях;
 - повторяемость, интенсивность и мощность приземных температурных инверсий;

- повторяемость, интенсивность и мощность приподнятых температурных инверсий в заданных слоях.
- *Комплексные характеристики:*
 - повторяемость категорий устойчивости атмосферы;
 - характеристики слоя перемешивания: высота, средняя скорость ветра и вертикальный градиент температуры;
 - совместная повторяемость скоростей и направлений ветра при разных классах устойчивости атмосферы на заданных высотах.

Для расчёта этих параметров используются радиозондовые данные, содержащиеся в аэрологических массивах Госфонда. В настоящее время имеется два базовых пополняемых массива: массив АЭРОСТАС, формируемый из сводок в традиционных символьных кодах, и массив АЭРОБАФР, формируемый из сводок в таблично-ориентированных кодовых формах. Для определения климатических характеристик в пограничном слое обычно используется массив АЭРОСТАС. В массиве содержатся глобальные радиозондовые наблюдения с июня 1978 года по текущее время. Каждый массив сопровождается каталогом, включающим информацию об аэрологических станциях и сведения о наличии данных в массивах [3]. Информация о станциях включает в себя синоптический индекс, страну принадлежности, географические координаты, высоту над уровнем моря. В сведениях о наличии данных по каждой станции за каждый месяц каждого года приведены количество зондирований, среднее количество уровней, на которых выполнялись измерения, средняя за месяц максимальная высота подъёма зонда.

В среднем в одном зондировании содержится 5–7 наблюдений в пограничном слое. Это измерения у поверхности земли, на стандартных изобарических поверхностях 1000, 925, 850 гПа и в особых точках по температуре и скорости ветра. Поскольку требуемые параметры должны быть определены на заданных высотах от поверхности земли в точке с заданными координатами, то в первую очередь необходимо найти данные ближайших станций. После того, как получены вертикальные профили температуры и скорости ветра, они должны быть интерполированы с хорошим вертикальным разрешением, а затем необходимо выполнить

пространственную интерполяцию полученных профилей к расчётной точке. При этом следует учитывать, что станции и расчётная точка находятся на разной высоте над уровнем моря. Следует отметить, что определение метеорологических характеристик в заданной точке в самом нижнем приземном слое до 50–100 м является одной из основных проблем как для данных аэрологических станций, так и для реанализов.

Общая схема программного комплекса

Разрабатываемый программный комплекс основан на использовании аэрологических данных массива АЭРОСТАС и данных каталога. Для удобства поиска и выборки радиозондовых данных массив АЭРОСТАС представлен в виде базы данных. В каждой записи базы содержатся значения метеоэлементов на одном уровне в сопровождении данных о станции и даты наблюдения. Общий объём базы данных около 70 Гб, база содержит более 560 млн записей, более 1800 уникальных индексов.

Программный комплекс состоит из следующих модулей:

- выбор ближайших аэрологических станций по данным каталога;
- выборка данных по выбранным станциям из базы данных АЭРОСТАС;
- вертикальная интерполяция профилей метеопараметров для каждого срока на каждой станции;
- горизонтальная интерполяция данных в расчётную точку для каждого срока;
- расчёт статистических характеристик в расчётной точке;
- представление результатов.

Программный комплекс написан на языках C++ и Python, может быть использован в операционных системах Windows и Linux.

Ниже приведено краткое первых трёх модулей.

• Выбор ближайших станций

Выбор ближайших станций производится в несколько этапов:

- сбор метаданных и дат всех измерений станций в радиусе до 800 км от точки расчёта;

- исключение сроков, представленных только одной станцией;
- поиск оптимальной комбинации станций, обеспечивающих максимальную полноту и близость к расчётной точке.

• Вертикальная интерполяция профилей метеопараметров

Алгоритм вертикальной интерполяции включает в себя следующие этапы:

- предварительная коррекция значений метеопараметров;
- сортировка данных по возрастанию давления;
- удаление невалидных и пропущенных значений, формирование массива пар давление – значение параметра;
- фильтрация данных алгоритмом локального окна для устранения выбросов;
- интерполяция характеристик методом монотонных сплайнов Фритча–Бутланда, обеспечивающих сохранение монотонности и экстремумов исходных профилей.

В результате работы алгоритма получаются сглаженные профили метеопараметров с разрешением 1 гПа.

• Горизонтальная интерполяция метеопараметров в расчётную точку

Интерполяция рассчитанных профилей в расчётную точку производится с учётом весов, определяемых по расстоянию между станцией и точкой. Используется весовая функция вида:

$$\omega = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{d}{400}\right)^2\right),$$

где d — расстояние от расчётной точки до станции в километрах.

Определение метеопараметров в расчётной точке производится по следующему алгоритму:

- станции группируются по срокам наблюдений;
- для каждого срока собираются значения давления и метеопараметров;
- производится горизонтальная интерполяция данных с учётом весов, полученных через расстояния.

Определение направления скорости ветра производится через интерполированные значения компонент скорости ветра.

На рис. 1 приведён пример интерполяции профилей температуры и скорости ветра за два срока в точку с координатами 50° с.ш., 10° в.д.

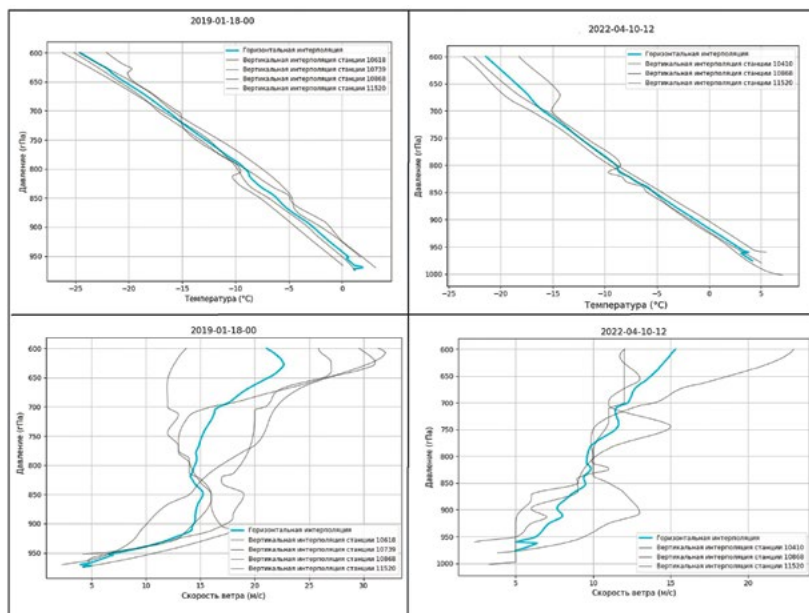


Рис. 1. Вертикально интерполированные профили температуры (вверху) и скорости ветра (внизу) по измерениям аэрологических станций и профили, полученные в результате горизонтальной интерполяции в расчётную точку 50° с.ш., 10° в.д. Чёрным цветом обозначены измерения на станциях, голубым — профили в расчётной точке.

В целом профили в расчётной точке воспроизводят средние значения между станциями во всём пограничном слое. Однако в самом нижнем приземном слое могут возникать ошибочные эффекты, проявляющиеся в том, что в самом нижнем слое в профилях скорости ветра и температуры могут иметь место сдвиги типа инверсий. Это связано с тем, что станции расположены на разной высоте над уровнем моря и включение станции в алгоритм горизонтальной интерполяции происходит только начиная с той

высоты, на которой она расположена. Для того чтобы избежать таких ситуаций, вертикально интерполированные профили на станциях приводятся к высоте расчётной точки с использованием формул барометрической ступени, адиабатического изменения температуры и эмпирических зависимостей скорости ветра от высоты.

После определения профиля температуры скорости и направления ветра в расчётной точке производится вычисление требуемых величин и статистических характеристик.

Для проверки работы всего алгоритма интерполяции выполнен цикл расчётов средних профилей температуры и скорости ветра в пограничном слое для нескольких контрольных точек, в качестве которых выбраны аэрологические станции. Данные контрольных аэрологических станций не участвуют в горизонтальной интерполяции. Это даёт возможность сравнить интерполированные характеристики с соответствующими характеристиками, полученными непосредственно по данным контрольной станции. На рис. 2 показаны вертикальные профили средней температуры и скорости ветра за многолетний июль (контрольная станция Витим) и январь (контрольная станция Майнингем). Как можно видеть, средние профили температуры совпадают достаточно хорошо, скорость ветра, рассчитанная через данные соседних станций, в слое выше 900 гПа оказывается несколько заниженной.

Модуль расчёта статистик, так же, как и алгоритм приведения вертикальных профилей к высоте расчётной точки, в настоящий момент находится в стадии доработки и проверки.

Заключение

В статье представлены предварительные результаты апробации программного комплекса для расчёта характеристик температурно-ветрового режима пограничного слоя в точке с заданными координатами по данным аэрологического массива АЭРОСТАС. В программном комплексе разработаны и реализованы алгоритмы выбора аэрологических станций, вертикальной интерполяции профилей метеопараметров и горизонтальной интерполяции в требуемую точку. Основным направлением дальнейшей работы

является улучшение точности расчёта характеристик нижнего слоя и доработка модуля расчёта и представления статистических характеристик температурно-ветрового режима пограничного слоя.

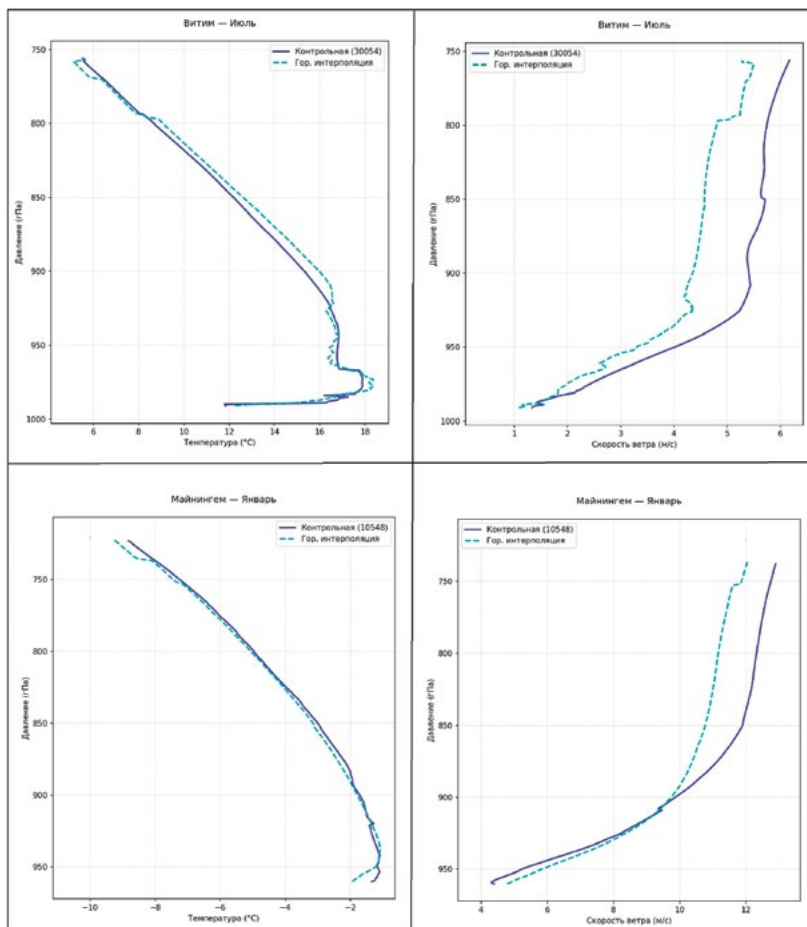


Рис. 2. Вертикальные профили средней скорости ветра (слева) и средней температуры (справа) по интерполированным данным (голубой цвет) и по данным контрольной станции (синий). Контрольные станции Витим (вверху) и Майнингем (внизу).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алдухов О.А., Брюхань А.Ф. Пакет программ статистической обработки аэрологических данных для оценки условий атмосферной дисперсии при геоэкономическом обосновании строительства АЭС и ТЭС // Вестник МГСУ. 2012. № 2. С. 188–193.
2. Алдухов О.А., Брюхань А.Ф. Оценка условий атмосферной дисперсии для размещения и проектирования атомных станций // Атомная энергия. 2013. Т. 115, вып. 1. С. 44–47.
3. Духов Е.В., Хохлова А.В., Руденкова Т.В. Каталог радиозондовых массивов АЭРОСТАС и АЭРОБАФР в архивах Единого государственного фонда данных // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 252–261.
4. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере: справочное пособие / Под ред. Э.Ю. Безуглой // Л.: Гидрометеиздат, 1983. 328 с.
5. Романов В.И. Прикладные аспекты аварийных выбросов в атмосферу: справочное пособие. URL: https://thelibrary.ru/books/v_i_romanov/prikladnye_aspekty_avariynyh_vybrosov_v_atmosferu_spravochnoe_posobie-read.html?ysclid=licv1hvv7r87930080 (дата обращения: 07.08.2025).
6. Свод правил 151.13330.2012 Инженерные изыскания для размещения, проектирования и строительства АЭС. Часть I: Инженерные изыскания для разработки предпроектной документации (выбор пункта и выбор площадки размещения АЭС). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103171?ysclid=licuwvb9qk534398427> (дата обращения: 07.08.2025).
7. Хохлова А.В., Лавров А.С. Программный комплекс для определения аэроклиматических условий рассеяния примеси в пограничном слое атмосферы по данным реанализа // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2023. Вып. 190. С. 121–128.
8. *Atmospheric Dispersion in Nuclear Power Plant Siting: a Safety Guide*. IAEA Safety Series. N 50-SG-S3. Vienna: IAEA, 1980. 108 p.

УДК 551.502.22

КРАТКИЕ СПРАВОЧНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СОСТАВЕ МАССИВА АЭРОБАФР ЗА 2018–2024 ГОДЫ

А.А. Тимофеев, А.В. Хохлова¹

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

¹ anna_x@meteo.ru

Введение

В соответствии с решениями ВМО все наблюдательные сети, включая аэрологическую сеть, должны перейти на передачу данных в таблично-ориентированных кодовых формах (ТОКФ). В связи с этим в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» была разработана технология архивации аэрологических данных в ТОКФ. Технология архивации пополняемых массивов включает в себя приём аэрологических сводок, раскодирование и размещение данных в специализированной базе данных [6–8]. Затем из поступивших в течение месяца данных в начале следующего месяца формируются файлы массива АЭРОБАФР, которые записываются на технические носители для долговременного хранения. Файлы массива формируются в соответствии с разработанным форматом [2]. За каждый месяц имеется два файла, которые содержат радиозондовые данные с сухопутной аэрологической сети и с судов, а также вспомогательные файлы, содержащие краткую справочную информацию. Для каждого файла данных формируются специальные справки, позволяющие оценить полноту и качество данных. Технология архивации массива АЭРОБАФР разработана недавно, поэтому анализу справочных материалов уделяется особое внимание. Анализ справочных материалов позволил выявить ряд ошибок и недоработок технологии архивации, а также определить регионы, в которых кодирование и передача данных в формате ТОКФ ведётся с ошибками [3–5].

Пополняемые аэрологические массивы, в том числе массив АЭРОБАФР, сопровождаются каталогами, в которых представлена

информация о наличии и качестве данных, имеющихся в аэрологических массивах Госфонда [1, 9]. В каталоге для каждой станции за каждый месяц содержатся сведения о количестве зондирований, о среднем количестве уровней, на которых производились измерения, о средней максимальной высоте подъёма зонда и о среднем минимальном достигнутом давлении. Целью данной статьи является обобщение некоторых справочных сведений о составе и содержании массива АЭРОБАФР за период 2018–2024 гг. и представление этих сведений.

Объём и состав массива

Объём массива АЭРОБАФР за период 2018–2024 гг. составляет более 300 Гб. Основную часть составляют наблюдения сухопутной аэрологической сети.

На рис. 1 показано изменение ежегодного объёма массива АЭРОБАФР за период 2018–2024 гг. Как видно, ежегодный объём массива за этот период увеличился практически вдвое.

В мировую аэрологическую сеть входит более 900 действующих станций. В среднем станции выполняют двухразовое зондирование, но имеются станции, которые функционируют нерегулярно и за год делают менее 100 выпусков. На рис. 2 показана карта расположения аэрологических станций, передающих данные в формате ТОКФ, с количеством зондирований, выполненных в 2024 году.

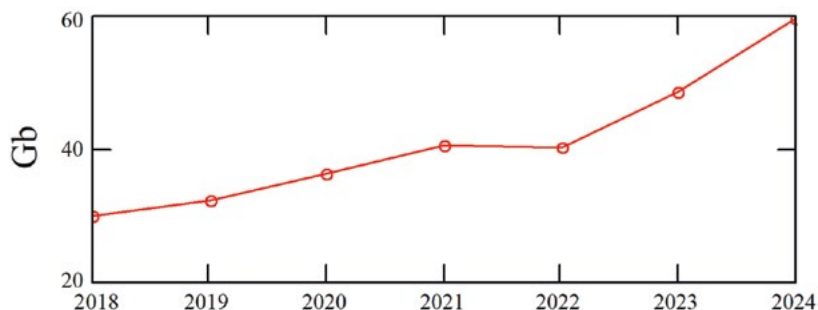


Рис. 1. Динамика ежегодного объёма массива АЭРОБАФР по годам

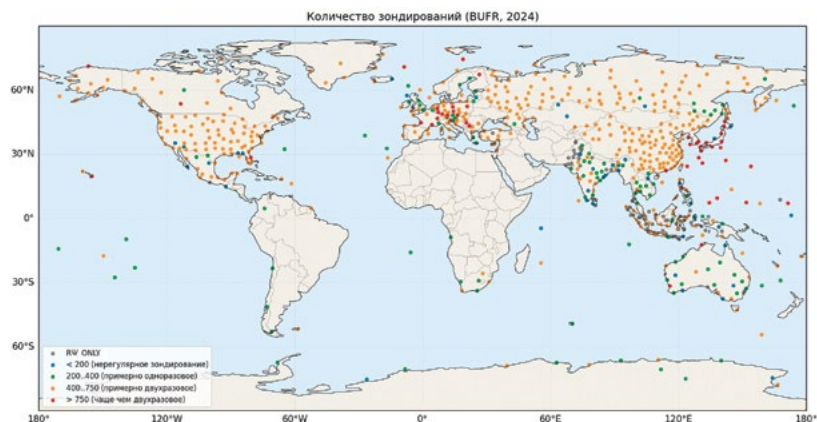


Рис. 2. Количество зондирований за 2024 год на станциях по данным массива АЭРОБАФР

Охват географических регионов отличается крайней неравномерностью. Наиболее густая сеть имеется в Центральной Европе, Китае и Японии. В Центральной Европе и Японии выполняется регулярное зондирование и имеются станции с учащённым зондированием. Территории Российской Федерации и США охвачены наблюдениями достаточно равномерно, хотя в северной части Сибири сеть станций разрежена. В Китае, Канаде, РФ и США зондирования преимущественно двухразовые. В Индии и Малайзии сеть станций достаточно густая, но зондирования выполняются нерегулярно. Африка, Южная Америка и юго-западная часть Азии, за исключением нескольких станций, практически не представлены в массиве АЭРОБАФР.

Практически все действующие российские станции перешли на передачу данных в ТОКФ.

Качество данных в массиве АЭРОБАФР отличается большим разнообразием: от станций, передающих данные зондирования всего на 10–12 уровнях до данных высокого вертикального разрешения. Часть станций выполняет только радиовеетровое зондирование. Наихудшее качество данных, как было отмечено в [5], имеют станции Пакистана и Вьетнама. В то же время каждое

зондирование высокого вертикального разрешения содержит до нескольких тысяч уровней, на которых выполнялись измерения.

Отмеченный выше рост объёма массива происходит в основном за счёт увеличения количества данных высокого вертикального разрешения. Это можно видеть в таблице, где приведены сводные сведения по годам за период 2018–2025 гг. В графе «Всего станций» дано суммарное количество уникальных индексов, в графе «Станции RZ» дано количество станций, на которых выполнялись радиозондирования или радио- и радиоветровое зондирование. На остальных станциях имеются только данные радиоветрового зондирования.

Т а б л и ц а

Сводные сведения о массиве АЭРОБАФР по годам
(RZ — радиозондирование, RW — радиоветровое зондирование,
NL — среднее количество уровней в радиозондированиях)

Год	Всего станций	Станции RZ	К-во зондирований RZ	К-во зондирований RW	К-во уровней NL	Макс. высота	К-во станций ВВР
2018	641	563	336043	74947	1028	26629	135
2019	743	631	347457	84573	1078	26770	211
2020	729	637	377664	90774	1112	26479	194
2021	719	636	379472	93974	1191	27346	220
2022	691	619	334564	87770	1402	27365	208
2023	730	662	366633	91436	1551	27339	261
2024	727	659	380760	86102	1701	27443	287

Как видно из таблицы, количество передающих станций и количество зондирований увеличивается медленно, в то время как количество станций с данными высокого вертикального разрешения за этот период выросло более чем вдвое. За счёт этого увеличилось и среднее количество уровней, на которых производились измерения.

На рис. 3 показаны станции с различным вертикальным разрешением. Зондирования самого высокого вертикального разрешения со средним количеством уровней более 4000 выполняются в Европе, Канаде, Японии и Индии. США, Австралия и Малайзия

не выпускают в сеть данные высокого вертикального разрешения. На большей территории РФ и в Китае зондирования в среднем содержат до 2000 уровней.

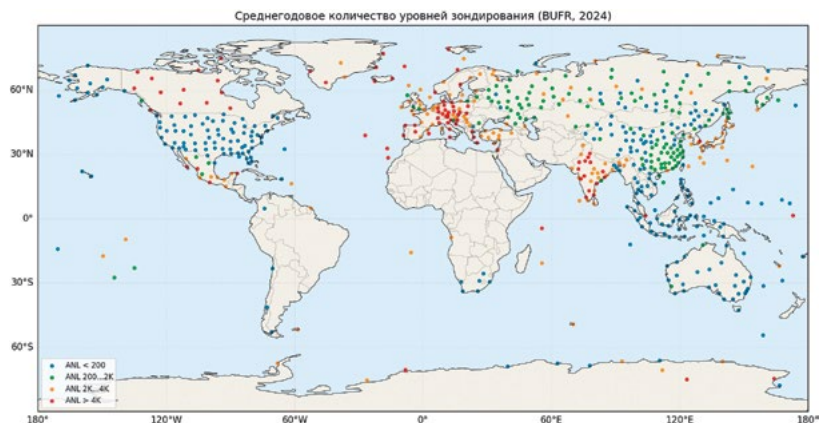


Рис. 3. Среднее количество уровней (ANL) в зондированиях за 2024 год на станциях по данным массива АЭРОБАФР

Заключение

Приведённые справочные сведения дают общее представление о составе и содержании массива АЭРОБАФР и о динамике его прироста. Увеличение ежегодного объёма происходит благодаря увеличению количества станций, выполняющих зондирование высокого вертикального разрешения. За период 2018–2024 гг. количество станций, выполняющих зондирование BBR, выросло более чем вдвое. Поскольку некоторые страны уже отказались от передачи данных в традиционных символьных кодах и полностью перешли на передачу в ТОКФ, исследователям и потребителям необходимо постепенно переориентироваться на использование этих данных. В дальнейшем планируется регулярная публикация сводных материалов о составе и содержании аэрологических массивов ЕГФД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Духов Е.В., Хохлова А.В., Руденкова Т.В. Каталог радиозондовых данных массивов АЭРОБАФР и АЭРОСТАС в архивах Единого государственного фонда данных // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 252–261.
2. 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.
3. 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. 2022. Вып. 189. С. 128–136.
4. 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.
5. Руденкова Т.В., Тимофеев А.А. О содержании и полноте нового архива аэрологических данных АЭРОБАФР // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 42–52.
6. Сенова Л.Н. Обработка системой OMEGA данных, поступающих по каналам связи в коде BUFR // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 183. С. 142–145.
7. Сенова Л.Н. Структура и содержание таблиц базы данных аэрологических и синоптических наблюдений, поступающих по каналам связи в коде BUFR // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2021. Вып. 188. С. 189–210.
8. 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.
9. 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.

УДК 551.524.77

ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ МАССИВ ХАРАКТЕРИСТИК ТРОПОПАУЗЫ ПО АЭРОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Л.Ф. Козлова

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

Введение

Тропопауза представляет собой переходный слой в атмосфере, служащий границей разделения между тропосферой и стратосферой. Этот слой играет важную роль в динамике атмосферы, выступая мощным задерживающим барьером, который препятствует вертикальному переносу аэрозолей и водяного пара. Понимание характеристик тропопаузы и её многолетних изменений является необходимым условием для решения множества научных и прикладных задач, включая мониторинг климатических изменений. Тропопауза может служить надёжным индикатором изменений в климатической системе, что делает её изучение особенно актуальным в условиях глобального потепления и изменения климата.

В данной работе представлен массив статистических характеристик тропопаузы, полученный на основе данных наблюдений 12 аэрологических станций, входящих в состав Глобальной системы наблюдений за климатом (ГСНК) на территории Российской Федерации. Данные охватывают период последних 46 лет, что позволяет провести по ним глубокий анализ многолетних изменений характеристик тропопаузы.

Для расчёта характеристик тропопаузы использовались массивы данных АЭРОСТАБ и АЭРОСТАС [4, 7, 8], которые включают актуальные данные радиозондовых наблюдений, собираемые в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» в рамках глобальной сети станций. Архив данных содержит проконтролированные значения давления, высоты геопотенциала, температуры и других параметров на различных уровнях, включая уровень тропопаузы.

Далее будет представлено краткое описание специализированного массива климатических характеристик тропопauses, основанного на данных аэрологических наблюдений, который размещён в качестве демонстрационного материала на сайте meteo.ru. Массив данных обеспечивает доступ к важной информации для исследователей и практиков в области метеорологии и климатологии, а также может использоваться для более глубокого понимания динамики тропопauses и её влияния на климатические процессы.

Содержание массива

Массив данных охватывает временной интервал с 1 июня 1978 года по 31 декабря 2024 года. Характеристики тропопauses представлены на основании данных, полученных с 12 аэрологических станций, расположенных на территории Российской Федерации. Подробный список станций, для которых были выполнены вычисления, представлен в табл. 1.

Таблица 1

Список аэрологических станций

Индекс	Название	Широта	Долгота
22543	Архангельск	64,58° с.ш.	40,50 в.д.
29862	Хакасская	53,77° с.ш.	91,32° в.д.
23921	Ивдель	60,68° с.ш.	60,43° в.д.
30230	Киренск	57,77° с.ш.	108,12° в.д.
27459	Нижний Новгород	56,27° с.ш.	44,00° в.д.
31088	Охотск	59,37° с.ш.	143,20° в.д.
28695	Омск	54,93° с.ш.	73,40° в.д.
35121	Оренбург	51,70° с.ш.	55,10° в.д.
20674	Остров Диксон	73,50° с.ш.	80,42° в.д.
32540	Петропавловск-Камчатский	53,08° с.ш.	158,58° в.д.
23472	Туруханск	65,78° с.ш.	87,95° в.д.
24266	Верхоянск	67,55° с.ш.	133,38° в.д.

Временное разрешение

Зондирование проводится в среднем два раза в сутки, в 00 и 12 часов по гринвичскому времени. Это временное разрешение

позволяет получать актуальные данные о состоянии атмосферы и обеспечивает возможность мониторинга изменений в характеристиках тропопаузы в течение суток.

Статистика, методы

При формировании массива проводилась оценка соответствия данных на уровне тропопаузы критериям, установленным Всемирной метеорологической организацией (ВМО). Согласно данным критериям, характеристики тропопаузы определяются на основе значений и изменений вертикального градиента температуры [1, 6]. Нижняя граница тропопаузы (НГТ) определяется как минимальная высота, на которой вертикальный градиент температуры снижается до $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 100 метров (или ниже), при этом среднее значение данного градиента в вышележащем слое толщиной 2 км не должно превышать $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ на километр.

Если $\text{НГТ} \leq 14\text{ км}$, тропопауза классифицировалась как полярная, если $\text{НГТ} > 14\text{ км}$ — как тропическая. Метод классификации географического типа тропопаузы, использующий высоту 14 км в качестве порогового значения, является упрощённым подходом, тем не менее значительно облегчает анализ данных, позволяя получать характеристики тропопаузы с минимальными абсолютными ошибками.

В демонстрационном массиве представлены традиционные статистики метеорологических величин (температура, высота и давление) на уровне нижней границы тропопаузы (НГТ):

- средние значения и среднеквадратические отклонения;
- максимум и минимум;
- число корректных наблюдений.

Полная версия массива, помимо перечисленных выше характеристик, включает также дополнительные традиционные статистики, порядковые статистики метеовеличин на уровне НГТ, характеристики годового хода и тренды:

1. Традиционная статистика:
 - разность минимума и максимума (размах);
 - асимметрия и эксцесс.

2. Порядковая статистика:
 - медиана;
 - первая и третья квартили, их разность (межквартильный размах);
 - 5-, 10-, 90- и 95-процентные квантили.
3. Амплитуда годового хода средних месячных значений.
4. Тренды:
 - тренды для отдельных месяцев, годовой ход трендов;
 - тренды для хронологически упорядоченных аномалий.

Расчёты проводились с использованием профессиональных статистических пакетов, что обеспечивало высокую точность и надёжность полученных результатов. Для расчёта средних значений, стандартных отклонений, минимальных и максимальных значений климатических характеристик тропопаузы использовались стандартные статистические методы. Применение современных методов статистического анализа позволило выявить значимые тренды и закономерности в изменениях характеристик тропопаузы, что имеет важное значение для понимания климатических процессов и их влияния на атмосферные явления. Для каждой станции рассчитаны линейные тренды месячных аномалий высоты (ΔH), температуры (ΔT) и давления (ΔP) тропопаузы. Оценка статистической значимости трендов выполнена с использованием стандартных ошибок.

Общая тенденция для большинства станций ГСНК — положительный тренд высоты тропопаузы (Гпм/10 лет) при отрицательном тренде давления (гПа/10 лет). Наиболее выраженное увеличение отмечено в Охотске (+107,4 Гпм/10 лет), Оренбурге (+93 Гпм/10 лет), Архангельске (+76 Гпм/10 лет), Петропавловске-Камчатском (+74,4 Гпм/10 лет). Исключения составляют Туруханск (отрицательный тренд — -23 Гпм/10 лет), а также Омск и Хакасская, где тренд практически отсутствует ($\Delta H \approx 0$). Участок в Туруханске показывает предельный сигнал похолодания при отрицательном тренде по высоте. Учитывая географическую близость станции

к Высокой Арктике, разница в силе сигнала предполагает существенную локальную (региональную) гетерогенность в поведении верхней тропосферы/нижней стратосферы, которая заслуживает дополнительного анализа с полными вертикальными профилями радиозондов/реанализа и динамической диагностики.

На подавляющем большинстве станций зафиксирован отрицательный тренд температуры тропопаузы: Архангельск ($-0,18\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$), Верхоянск ($-0,23\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$), Остров Диксон ($-0,26\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$).

По полученным данным наблюдается согласованный паттерн: подъём высоты тропопаузы, одновременное похолодание на её уровне и снижение давления. Эти изменения физически согласуются с глобальными климатическими процессами, такими как потепление тропосферы и охлаждение стратосферы, а также с региональными динамическими перестройками атмосферной циркуляции. Обнаружение сильных и статистически значимых сигналов на арктических и дальневосточных станциях (Остров Диксон, Архангельск, Верхоянск, Киренск, Охотск, Петропавловск-Камчатский, Оренбург) может указывать на потенциальное влияние арктического усиления и региональные особенности циркуляции в этих секторах.

Структура и место хранения

Данные хранятся в Федеральном государственном бюджетном учреждении «ВНИИГМИ-МЦД», расположенном в городе Обнинске, Российская Федерация.

Массив упакован в архив и включает данные за весь рассматриваемый период по всем 12 станциям, что составляет 36 файлов в формате TXT. Внутри архива записи организованы по директориям в зависимости от принадлежности к конкретной станции, что обеспечивает постанционную структуру данных. Структура массива представляет собой совокупность 12 директорий, каждая из которых содержит три файла, отражающих статистические характеристики тропопаузы, такие как температура, высота и давление.

Данные доступны на портале meteo.ru в разделе «Данные/Климатические характеристики тропопаузы» — <http://meteo.ru/data/tropopause/>.

Организация имён файлов

Для каждой станции в массиве предусмотрена отдельная директория, имя которой соответствует индексу станции. Содержимое каждой директории включает три файла, содержащих климатические характеристики тропопаузы в текстовом формате. Наименования файлов организованы по следующему принципу: **indst_param_mnth_year.txt**, где:

indst — индекс станции, который соответствует имени директории, в которую помещён данный файл;

param — обозначает тип параметра, который может принимать значения *hgtkm*, *temp* или *pres*, в зависимости от того, какие характеристики тропопаузы содержатся в данном файле (высота в гПкм, температура в °С или давление в гПа соответственно);

mnth_year — в конце наименования файла указывает на то, что файл содержит статистику параметра тропопаузы для каждого месяца каждого года.

Например, имя файла *20674_hgtkm_mnth_year.txt* расшифровывается следующим образом:

20674 — индекс станции;

hgtkm — параметр, представляющий высоту в гПкм;

mnth_year — указывает на то, что файл содержит данные за каждый месяц и год всего рассматриваемого периода наблюдений.

Организация данных внутри файла

Строка заголовка внутри каждого файла включает следующие элементы:

1. *year* — год.
2. *mnth* — месяц.
3. *indst* — индекс станции.
4. *mean* — среднее значение параметра.
5. *std* — стандартное отклонение.

6. min — максимальное значение.
7. max — минимальное значение.
8. N — общее число наблюдений.

Более детально эти элементы могут быть описаны следующим образом:

1. Год проведения наблюдений, обозначенный четырёхзначным числом.
2. Порядковый номер месяца наблюдений (от 1 до 12).
3. Уникальный код, представляющий станцию наблюдений, имеет цифровое обозначение.
4. Среднее арифметическое всех измерений параметра в течение данного месяца.
5. Стандартное отклонение, отражающее разброс значений параметра вокруг среднего.
6. Максимальное наблюдаемое значение параметра в течение месяца.
7. Минимальное наблюдаемое значение параметра в течение месяца.
8. Общее число проведённых наблюдений за отчётный месяц каждого года.

Данные внутри каждого файла упорядочены по году и месяцу наблюдения, что упрощает анализ временных рядов. Пример строки данных из файла демонстрационного массива (см. табл. 2):

Таблица 2

Пример строки данных

mnth	year	indst	mean	std	min	max	n
6	1978	20674	9,12	1,32	7,2	12	60

В этом примере представлена информация о климатических характеристиках для станции с индексом 20674 за июнь 1978 года, где mean — среднее значение параметра, std — стандартное отклонение, min и max — минимальные и максимальные значения соответственно, а n — количество наблюдений.

Файлы записаны в кодировке ANSI, а символом-разделителем является знак табуляции. Такая структура организации данных обеспечивает удобный доступ к информации и облегчает процесс анализа климатических характеристик тропопаузы для каждой станции.

Метаданные

К массиву данных прилагается документ в формате PDF, который подробно описывает структуру массива, включая информацию о методах сбора и обработки данных, а также данные о наименованиях и координатах станций. Документ также содержит примеры имён файлов и строк данных, что позволяет пользователям лучше понять формат и содержание данных.

Контроль качества данных

Данные прошли комплексный физико-статистический контроль качества на этапе формирования первичного массива данных АЭРОСТАС/АЭРОСТАБ [2, 3], включая гидростатический, горизонтальный и вертикальный контроль качества. После прохождения контроля качества каждому метеоэлементу массива присваивается признак качества.

Заключение

Специализированный массив создан на основе многолетних проконтролированных радиозондовых данных. Расчёты выполнены по данным наблюдений на 12 аэрологических станциях ГСНК территории РФ. Демонстрационная версия массива содержит ключевые статистические показатели температуры, высоты и давления на уровне тропопаузы.

Открытый массив климатических характеристик тропопаузы на платформе meteo.ru обеспечивает широкий доступ к данным и поддерживает образовательные и исследовательские задачи — от проверки гипотез и моделирования климатических процессов до разработки новых методов анализа. Публикация на открытой платформе также стимулирует сотрудничество между научными учреждениями и позволяет отслеживать изменения тропопаузы

в реальном времени для оперативного реагирования на климатические изменения.

Данный массив расширяет существующую базу данных [5]. Планируется его обновление на ежегодной основе, что обеспечит актуальность и позволит заинтересованным группам пользователей получать свежие данные для анализа и исследований. Автор статьи выражает благодарность зав. лаб. Аэроклиматологии ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» к.ф.-м.н. А.В. Хохловой, а также своему научному руководителю д. ф.-м. н. А.М. Стерину за ценные советы по созданию массива и рекомендации по оформлению статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авиационно-климатический атлас-справочник СССР*. Вып. 5 / Под ред. З.М. Маховева. М.: НИИАК, 1969.
2. *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.
3. *Алдухов О.А., Черных И.В.* Принципы контроля качества массивов результатов радиозондирования атмосферы // Метеорология и гидрология. 2016. № 3. С. 92–101.
4. *Архив* текущей аэрологической информации «АЭРОСТАБ». Описание архива / Составители: О.А. Алдухов, В.А. Оржеховская, Т.О. Садовникова, Т.В. Руденкова. Обнинск, 1990.
5. *Козлова Л.Ф., Хохлова А.В., Руденкова Т.В.* База данных: «Климатические характеристики тропопаузы в арктическом и полярном регионах РФ по аэрологическим наблюдениям». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022622189. РФ. Москва. Федеральная служба по интеллектуальной собственности. 2022. Регистрационный номер НИОКТР АААА-А20-120071090073-0. Регистрационный номер РИД 622110800115-3. Регистрационный номер состояния правовой охраны РИД 822111000015-9.
6. *Маховева З.М.* Климатология тропопаузы. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 254 с.
7. *Описание* символьного формата хранения данных аэрологических наблюдений, поступающих по каналам связи для ПЭВМ (формат АЭРОСТАС) / Составитель: Т.В. Руденкова. Обнинск, 2009.
8. *Руденкова Т.В.* Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 174. С. 41–63.

УДК 004.6:551.5:004.9

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ РАБОТЫ С ДАННЫМИ ФОРМАТА ЯОД

Л.О. Перетяtko¹, Н.Ю. Михеев²

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

Введение

Обслуживание потребителей ЕГФД (Единого государственного фонда данных) и выполнение различного рода выборок гидрометеорологических данных из его архивов выполняется из РСБД (режимно-справочных банков данных) с помощью системы АИСОРИ (Автоматизированная информационная система обработки режимной информации), а также Web АИСОРИ.

Также за последние несколько лет был разработан ряд программных инструментов, работающих с форматом ЯОД (Язык описания гидрометеорологических данных) [1], расширяющих возможности по обработке данных формата ЯОД или являющихся модернизацией существующих программных средств.

Среди них можно выделить: ВКДРФ (подсистема взаимной конвертации данных различных форматов), ФХМ (подсистема формирования и хранения метаописаний о ЯОД-массивах) [2, 3] и Web АИСОРИ-М (модернизированная версия Web доступа к специализированному массивам) [4].

Анализ этих программных средств показал, что в каждом реализованы собственные модули синтаксического анализа ЯОД-описания, чтения и выборки данных формата ЯОД.

Развитие этих программных средств, подразумевающее расширение списка поддерживаемых ЯОД-массивов, показало проблему, связанную с тем, что существующие модули не обладают достаточной универсальностью, которая позволила бы без проблем поддерживать ЯОД-описания новых ЯОД-массивов. Также не во всех программных средствах присутствуют средства проверки

корректности предоставляемых на вход программы ЯОД-описаний и файлов с данными. Всё это подтверждает актуальность работы.

Эти проблемы влекут за собой изменения, порой заметные и непростые в реализации, в модулях обработки ЯОД-данных и связанными с ними подсистемами.

Целью данной работы является разработка первой версии универсального модуля для работы с данными формата ЯОД.

Практическая значимость результатов заключается в дальнейшем внедрении Универсального модуля в существующие и новые программные средства, работающие с форматом ЯОД, для обеспечения поддержки различных ЯОД-описаний.

Будущими пользователями Универсального модуля являются разработчики программных средств, работающих с данными формата ЯОД.

1. Постановка задачи

Ввиду выше описанных проблем была поставлена задача: разработать Универсальный модуль для работы с данными формата ЯОД в виде подключаемой библиотеки.

Универсальный модуль предназначен для решения следующих задач:

- поддержка различных массивов ЯОД-данных и их ЯОД-описаний;
- чтение и поддержка различных типов выборки данных;
- предоставление пользователю результатов чтения или выборки данных в особом формате, удобном для их дальнейшей обработки.

Для решения поставленных задач Универсальный модуль должен обладать следующими функциональными возможностями:

- синтаксический анализ любого ЯОД-описания;
- проверка корректности (валидация) входных данных — ЯОД-описания и файла(-ов) с данными;
- полная выборка (чтение) ЯОД-данных;
- выборка данных с помощью файла AQL-запроса;
- выборка данных по ключевым параметрам, содержащимся в ЯОД-описании;

- предоставление пользователю прочитанных данных в виде массива текстовых строк;
- предоставление пользователю прочитанных или отобранных данных в особом формате, пригодном для их дальнейшей обработки.

2. Описание первой версии Универсального модуля

Данная статья посвящена первой версии Универсального модуля, в которой реализовано следующее:

- универсальный синтаксический анализатор;
- полная выборка данных;
- предоставление пользователю прочитанных данных в виде текстовой строки;
- валидация ЯОД-описания и файлов с данными.

3. Инструменты разработки

Первая версия Универсального модуля разработана с помощью следующих инструментов и технологий:

- 1) Язык программирования C++11;
- 2) Фреймворк Qt версии 5.14 [5];
- 3) Компилятор MinGW x64 версии 7.3;
- 4) IDE Qt Creator [6] версии 4.11.

4. Структура первой версии Универсального модуля

Структура первой версии Универсального модуля представлена на рис. 1.

Синтаксический анализатор ЯОД-описаний выполняет синтаксический анализ (парсинг) и сохранение структуры ЯОД-данных.

Валидатор файлов выполняет проверку корректности файлов с ЯОД-описанием и файлов с ЯОД-данными.

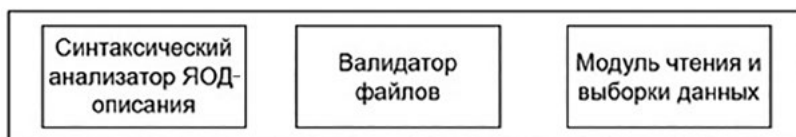


Рис. 1. Структура первой версии Универсального модуля

5. UML-диаграмма классов

Система классов универсального движка была реализована в результате анализа и пересмотра систем классов и подходов обработки ЯОД-описаний из программ ВКДРФ, ФХМ и ещё одной экспериментальной программы, при разработке которой стояла задача поиска другого способа сохранения структуры ЯОД-описания.

В результате была разработана универсальная и более гибкая система классов, представленная в нотации UML на рис. 2.

Класс Core сохраняет всю информацию о структуре ЯОД-описания и содержит методы для чтения и полной выборки ЯОД-данных.

Класс Validator ответственен за проверку корректности файлов с ЯОД-описанием и ЯОД-данными.

Класс Record реализует запись из ЯОД-описания и хранит информацию о её внутренней структуре.

Для хранения информации о группах (и их внутренней иерархии) и их элементах была разработана иерархия классов AbstarctGroup, PartGroup, FullGroup.

Класс AbstarctGroup является базовым классом, хранящим основную информацию о группе.

Класс FullGroup хранит список вложенных целых групп и собственных наборов элементов, а также количество экземпляров группы.

Класс PartGroup хранит список элементов, принадлежащих части группы или записи.

Одной из ключевых особенностей универсального движка является реализация хранения и использования элементов ЯОД-описания, которая исполнена с помощью паттерна программирования «Фабрика».

6. Пример структуры разобранной записи

На рис. 3 представлена обобщённая структура записи, получаемой в результате синтаксического анализа ЯОД-описания.

Запись хранит список, состоящий из целых групп (FullGroup) или частей группы/записи, состоящих из элементов, (PartGroup), последовательность которых соответствует ЯОД-описанию.

Каждая целая группа также хранит такой же список для обеспечения поддержки иерархической вложенности групп ЯОД-описания. Часть группы является набором элементов, который относится непосредственно к записи или целой группе.

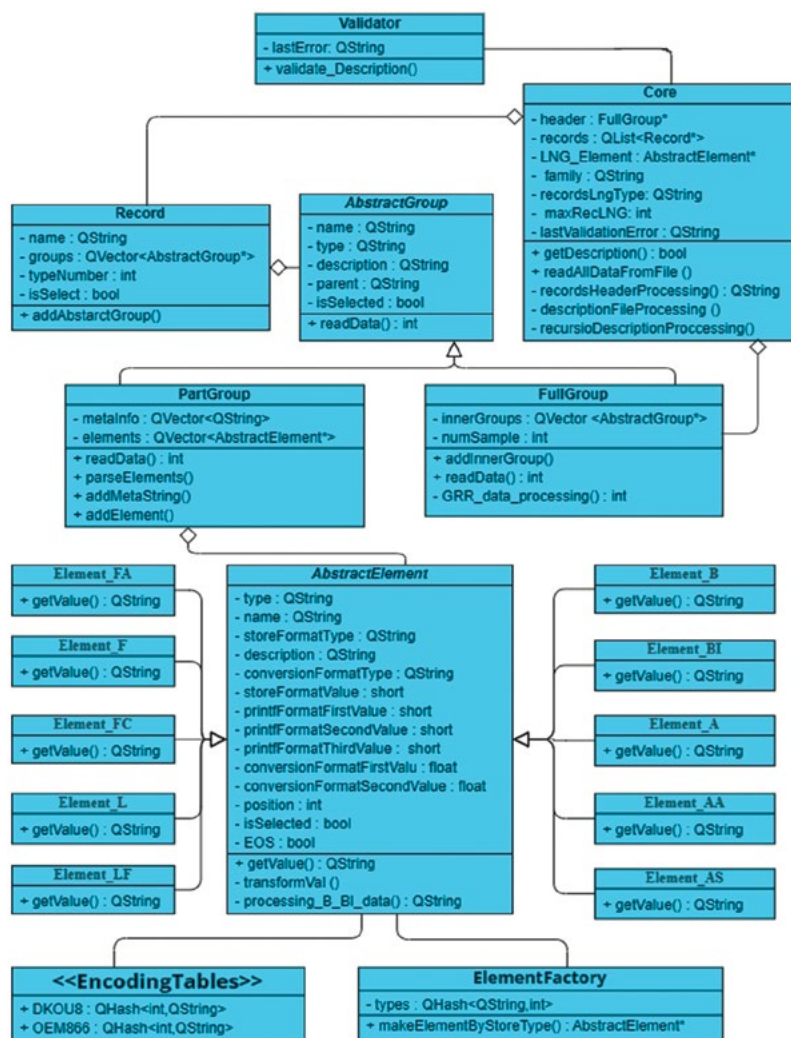


Рис. 2. UML диаграмма классов Универсального модуля

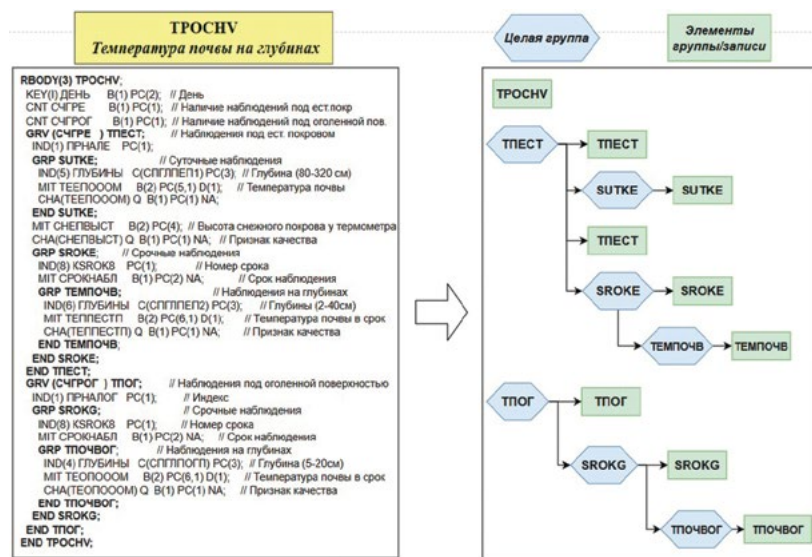


Рис. 3. Обобщённая структура записи

7. Тестирование первой версии Универсального модуля

Был успешно протестирован универсальный синтаксический анализатор первой версии Универсального модуля с использованием 54 различных по степени сложности ЯОД-описаний, описывающих электронные данные первичных наблюдений в РСБД. Также был успешно протестирован компонент валидации ЯОД-описаний и файлов с данными.

Для тестирования компонента чтения ЯОД-данных был сформирован набор ЯОД-описаний и данных к ним, охватывающий различные области данных, хранящихся в ЕГФД. ЯОД-описание состоит из одной или нескольких записей, хранящей семантически связанные параметры и обладающей иерархической структурой.

В таблице представлена оценка времени чтения (полной выборки) файлов ЯОД-данных из сформированного набора.

Т а б л и ц а

Время чтения файла ЯОД-данными некоторыми ЯОД-описаний

ЯОД-описание	Тип данных	Область данных	Количество записей	Время полной выборки (сек)
AEROCTAC	Текстовые	Аэрология	54423	73,381
Azond		Аэрология	8021	3,346
BER	Бинарные	Океанография	880	0,155
BAT		Океанография	352746	25,541
REKASROK		Гидрология	5733	1,155
TMSS		Метеорология	11130	2,374
TMSM		Метеорология	2088	1,360
TMS		Метеорология	5793	4,676

Заключение

Разработанная первая версия Универсального модуля была успешно протестирована на различных ЯОД-массивах, тем самым подтвердив универсальность встроенного синтаксического анализатора.

В дальнейшем планируется развитие Универсального модуля и внедрение его в следующие программные средства: ВКДРФ, ФХМ.

Развитие Универсального модуля позволит решить проблему наличия в некоторых программных средствах собственных модулей для работы с ЯОД-форматом, которые схожи по некоторым функциональным возможностям, но зачастую имеют различную реализацию, путём унификации подходов в синтаксическом анализе ЯОД-описания и выборки ЯОД-данных.

Также Универсальный Модуль облегчит разработку новых или модернизацию текущих программных средств, работающих с форматом ЯОД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веселов В.М.* Язык описания гидрометеорологических данных для IBM PC совместимых ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1995. Вып. 160. С. 41–54.

2. Колесников Е.В., Михеев Н.Ю. Технологии формирования базы данных детальных метаописаний объектов хранения ЕГФД // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 125–143.
3. Михеев Н.Ю. Формирование и использование базы данных детальных метаописаний ЯОД-объектов хранения ЕГФД // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 178–187.
4. Зверева Г. Н., Мирзеабасов О.А. Web-технологии доступа к ЯОД-архивам // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 176–185.
5. Документация Qt // Сайт Qt. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://doc.qt.io/qt-5> (дата обращения: 26.06.2025).
6. Фреймворк Qt // Сайт Qt. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.qt.io/product/framework> (дата обращения: 26.06.2025).

УДК 004.91:551

СПЕЦИФИКА ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ПРАВОВЫХ АКТОВ РОСГИДРОМЕТА НА ОСНОВЕ СВБД КОНСУЛЬТАНТПЛЮС

И.П. Иванушкина¹, И.И. Кашина², А.А. Кузнецов³

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
¹ iivanushkina@meteo.ru, ² kii@meteo.ru, ³ kuznet@meteo.ru

Введение

База правовых актов Росгидромета (БПА Росгидромета) включает более 16 000 электронных копий правовых документов Росгидромета (без учёта редакций) за период с 1996 по 2025 год.

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 была поставлена задача: с целью унификации используемых ведомством программных средств осуществить перевод БПА Росгидромета на специализированное программное обеспечение ЗАО «КонсультантПлюс» — Систему ведения баз данных (СВБД).

Перевод БПА на СВБД КонсультантПлюс потребовал реализации ряда технологических решений на всех этапах формирования БПА.

Рассмотрим наиболее важные из них.

В «Эталоне» использовались четыре значения статуса документа: действующий, недействующий, отменённый, утративший силу. При этом статусы «недействующий» и «утративший силу» при отображении списка документов на экране монитора показывались серым цветом, а отменённый — как обычный действующий документ.

В СВБД КонсультантПлюс допускаются только два значения статуса: «действующий» и «утратил силу или отменён».

Поэтому значения статуса «недействующий», «утратил силу», «отменён» преобразованы в одно значение — «утратил силу или отменён». Это значение влияет в СВБД на отображение списка документов на экране монитора и предупреждает пользователя о том, что он работает с недействующим документом (рис. 1).

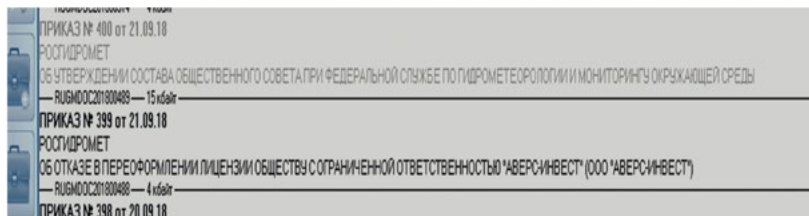


Рис. 1. Поле «Статус документа»

В «Эталоне» имелось поле «Тип документа» (рис. 2). В конфигурации поставленной базы СВБД это поле отсутствовало, и было введено в конфигурацию СВБД дополнительно как «нормативный документ» или «ненормативный документ».



Рис. 2. Поле «Тип документа»

В «Эталоне» документы, которые изданы несколькими органами имеют несколько пар реквизитов дата/номер (рис. 3). В СВБД при перезагрузке из «Эталона» оставлены только реквизиты, касающиеся Росгидромета.

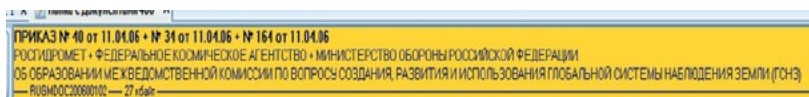


Рис. 3. Реквизиты документов, которые изданы несколькими органами

В «Эталоне» междокументные ссылки оформлялись в следующем виде:

<Изменение:

приказ Росгидромета от 16.02.2022 № 62; [НГР:99220082](#)>

где НГР:##### — тело гиперссылки, отражающее внутренний номер ID документа.

В СВБД для обеспечения стилового единообразия представляют тело ссылки как

<Изменение: [приказ Росгидромета от 16.02.2022 № 62](#)>

Остальные поля при оформлении документа в редакторе СВБД заполняются в соответствии с инструкцией СВБД [1].

Остановимся более подробно на технологии ведения БПА Росгидромета в среде СВБД КонсультантПлюс.

Загрузка подготовленных документов в СВБД

1. Поместить подготовленные (в том числе содержащие внутрибазовые ссылки) документы в формате DOCX в папку G:\svbd\ADMIN\SEND\, прикреплённые файлы — в папку G:\svbd\ADMIN\PIC\.
2. Выполнить проверку файлов на структурные ошибки запустив на исполнение файл convertNNN.bat.
3. В случае выявления ошибок открыть лог-файл с протоколом предупреждений и ошибок — erros.svbd; исправить ошибки.
4. Ввести документы в БПА, запустив файл reseiveNNN.bat.
5. После ввода документов удалить все документы и прикреплённые файлы из директорий SEND и PIC.

Внесение исправлений в документы, загруженные в СВБД

1. Открыть АРМ администратора СВБД (G:\svbd\ADMIN\cons.exe).
2. Найти документ, подлежащий исправлению.
3. Сбросить документ в папку G:\svbd\ADMIN\SEND\ (правой кнопкой мыши вызвать меню, в котором выбрать «Суперхост» и «Сохранить в исходном формате», или нажать ALT+F2).
4. Внести исправление и снова загрузить файл в СВБД (отдельно от файлов с новыми документами).

Подготовка документов с внедрением ссылок

В документы, содержащие упоминания других приказов или распоряжения Росгидромета, необходимо вставлять внутрибазовые ссылки одного из следующих типов:

ИНА или **null** — упоминающая ссылка;

ИЗВ — изменяющая ссылка (требующая внесения изменений в упомянутый документ);

ПОТ — ссылка, отменяющая действие упомянутого документа.

Обработка новых документов, имеющих упоминания других ранее загруженных в СВБД документов Росгидромета, должна вестись оператором при открытых двух приложениях: редакторе СВБД и АРМе администратора К+.

В редакторе СВБД осуществляется подготовка документов и внедрение ссылок, найденных в АРМе администратора К+.

В АРМе администратора К+ осуществляется поиск в СВБД документов, на которые нужно дать ссылки, и формирование (невидимых) строк-ссылок для последующей вставки в документ, открытый в редакторе.

Пошагово:

1. Открываем в редакторе СВБД новый документ. Формируем реквизитную карточку. Ищем в тексте документа упоминание приказов или распоряжений Росгидромета (дату и номер).

2. Ищем в СВБД (в среде АРМа администратора К+) нужный документ по его номеру и дате. Открываем документ, ставим курсор в верхнюю строку. Создаём и копируем в буфер обмена ссылку командой Alt+S.

3. Возвращаемся в документ, открытый в редакторе. Выделяем в документе курсором дату и номер упоминаемого документа. Нажимаем на верхней панели инструментов кнопку К+. В появившемся диалоговом окне выбираем тип ссылки (**null**, **ИНА**, **ИЗВ** или **ПОТ**), нажимаем ОК.

4. При наличии других упоминаний повторяем пункты 2 и 3.

5. Сохраняем документ, подготовленный в редакторе (в папку SEND). Закрываем редактор и АРМ администратора К+.

6. Запускаем проверку (convert.bat), а затем загрузку в СВБД (receive.bat) подготовленного файла документа (рис. 4).

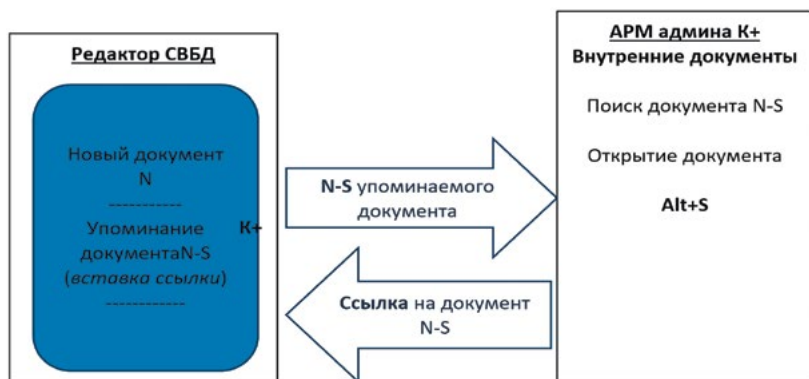


Рис. 4. Подготовка документов с внедрением ссылок

Обработка документа, требующего внесения изменений в ранее изданный документ (в том числе отмены отдельных пунктов, положений, приложений)

1. Выполнить обработку нового документа — полностью предыдущую процедуру, при этом тип ссылки — ИЗВ.
2. Сбросить в папку G:\svbd\ADMIN\SEND\ изменяющий и изменяемый документы.
3. Открыть в Редакторе СВБД изменяемый документ, затем через меню «Редакции->Новая редакция» и в диалоговом окне открыть изменяющий документ.
4. Автоматически создаётся копия изменяемого документа, в который в режиме работы с редакциями нужно внести текстовые изменения.
5. В изменяемый документ через строку после заголовка также вносятся ссылки (ИНА) на все изменяющие или отменяющие отдельные пункты документы в виде:

<Изменение:

Приказ Росгидромета от 28.12.2018 № 604;

Приказ Росгидромета от 05.03.2019 № 107>

(получение ссылки на изменяющий документ — в правом окне по ALT+S, вставка ссылки тип-ИНА в изменяемый документ — в левом окне (K+).

6. Если содержание изменения заключается в отмене отдельных пунктов, положений, приложений, то текст пункта/положения/приложения замещается фразой «*Утратил силу. — Приказ Росгидромета от ДД.ММ.ГГГГ N....*», при этом номер пункта, название приложения сохраняются. Формируется ссылка **ИНА** на изменяющий документ (тело ссылки — дата и номер приказа).

На следующей строке формируется ссылка на прежнюю редакцию документа в следующем виде:

(см. текст в предыдущей редакции)

Тело ссылки — «предыдущей редакции».

7. Закрыть редактор, сохраняя все три файла с изменениями. При этом файл с новой редакцией изменяемого документа сохраняется под заданным (произвольным) именем.

8. Если вносимое изменение первое (от начала использования СВБД) и в базе нет новой редакции документа (т.е. в СВБД нет недействующей редакции документа), то:

- нужно вначале ввести в СВБД файл с документом в новой редакции;

- затем ввести в СВБД файл с документом в прежней редакции и файл с изменяющим документом.

9. Если вносимое изменение не первое (т.е. в СВБД есть недействующая редакция документа) и при этом вносимое изменение не заменяет текстовый блок документа фразой «Утратил силу...», то в двухоконном режиме открывается вначале действующая редакция документа, а затем изменяющий документ. После внесения изменений и ссылки на изменяющий документ необходимо (поскольку по Положению о БПА Росгидромета сохраняются только первая и последняя редакции документа) в файл с новой редакцией документа, полученного в двухоконном режиме, внести в карточку реквизитов следующие изменения:

- скопировать из файла с документом в предыдущей редакции документа поле «\$0 Номер в ИБ» вместе со значением номера на последующей строке;

- признак NEW поменять на OLD;

- ввести в СВБД файл с документом в новой редакции (вместо прежнего) и файл с изменяющим документом.

10. Если изменение вносится в приложение к документу, хранимое в СВБД как отдельный документ, то в первый раз создаётся новая редакция изменяемого документа (приложения) и основного документа (приказа). При последующих изменениях, вносимых в приложения, следует обрабатывать в двухоконном режиме как файл с приложением, так и файл с основным документом (приказом), но затем заменить ими файлы с предыдущей редакцией (см. п. 9). Работа с основным документом в двухоконном режиме позволяет автоматически заполнить значение поля «§§17 Редакция от» датой изменяющего документа.

Обработка документов с уставами (инструкциями) в случаях, если приказ и устав — два отдельных документа

- А) Отмена старого устава.

1. Новые документы (приказ и устав) связываем взаимными ссылками (**ИНА**).

2. Документы с новым и старым приказами связываем взаимными ссылками (в новом **ПОТ**, в старом **ИНА**). В старом приказе — меняем статус на недействующий (+).

- 3. Уставы (инструкции) между собой не связываем.

Старый устав — меняем статус на недействующий (+). Вносим строку «Отменён» со ссылкой (**ИНА**) на новый приказ.

- Б) Внесение изменений в старый устав/инструкцию (рис. 5).



Рис. 5. Внесение изменений в старый устав/инструкцию

**Внесение изменений в документы, содержащие приложения
в виде прикреплённого документа в форматах doc, pdf, jpg, ...
в папке PIC**

- А) Документ-приложение заменяется полностью
 1. В новом приказе делаем ссылку на прикреплённый документ.
 2. Открываем старый и новый приказы в двухоконном режим. Вносим в старый приказ запись <Изменение> и делаем ссылку ИНА на новый приказ. Заменяем ссылку на старый файл-приложение ссылкой на новый файл-приложение.
 3. Сохраняем все документы, в том числе новую редакцию старого приказа с новыми ссылками.
 4. Загружаем в СВБД сначала изменённые приказы, а затем новую редакцию.
- Б) Документ-приложение заменяется частично
 1. В старое приложение вносятся необходимые изменения, в том числе запись <Изменение>, и документ-приложение сохраняется с новым именем файла.
 2. Далее см. раздел А).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кашина И.И., Кузнецов А.А., Рябова Е.А.* Формирование полнотекстовой базы правовых актов Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. № 192. С. 232–239.

УДК 04.89

ОПЫТ СОЗДАНИЯ ПРОМПТОВ ДЛЯ ГЕНЕРАТИВНЫХ ЧАТ-БОТОВ В ОБЛАСТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

Е.Д. Вязилов

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

Введение

Современные генеративные чат-боты позволяют создавать тексты различной сложности — от рекламных слоганов до пояснительных записок и научных публикаций. Наибольшую популярность такие системы получили благодаря возможности генерации связного и осмысленного текста по запросу, записанному свободным текстом. Это делает их особенно полезными в задачах автоматического составления рефератов, резюме, аннотаций, рецензий и научных обзоров. Степень осмысленности, точности и логичности текста напрямую зависит от сформированного запроса, используемого контекста и стиля формулировки задачи. Генерация научного текста требует от чат-бота способности удерживать смысловую структуру, следовать жанровым нормам и правильно использовать терминологию.

Чат-бот — это инструмент искусственного интеллекта (ИИ), построенный на основе больших языковых моделей. Одним из ключевых компонентов успешного применения генеративных чат-ботов в задачах автоматизации текстовой интерпретации информации является промпт-инжиниринг — правила формулирования запросов (промптов), позволяющих получить от чат-бота максимально точный и логичный результат. Уже появилась профессия промпт-инженера [5, 6] — человека, который правильно разговаривает с ИИ.

Промпт-инжиниринг — это базовый навык, пользоваться которым надо научиться не только программистам, но и всем сотрудникам. Если 25 лет назад стояла задача научить всех

сотрудников искать данные и информацию в Интернете, то сейчас надо научить сотрудников получать результат с помощью генеративных чат-ботов. Опыт составления чётких инструкций для составления промптов напрямую влияет на то, станут ли чат-боты помощниками сотрудников.

Целью статьи является повышение эффективности использования генеративных чат-ботов за счёт правильного написания промптов. В статье показан опыт создания промптов для генеративных чат-ботов в задачах обработки гидрометеорологических данных. При подготовке статьи использовались методы ИИ. Представление результатов исследований по использованию генеративных чат-ботов произведено впервые.

Использование генеративных чат-ботов

Чат-бот — это виртуальный помощник, который моментально может ответить на любой возникающий по ходу исследования вопрос. В отличие от поисковой системы, которая выдаёт ссылки и краткую информацию об её источнике, чат-бот выдаёт ответ на вопрос, который задал пользователь, или результаты выполнения задания, которые были даны чат-боту. Чат-бот отвечает только на тот вопрос, который ему задают. Он не предугадывает тонкости выполнения задания и не учитывает их выполнение, если они не были указаны в промпте. Поэтому и формирование промпта, и просмотр его результатов должен делать специалист, разбирающийся в предметной области, знающий концепции и возможности чат-ботов и умеющий составлять промпты. Иначе будет выдан или тривиальный ответ, или ответ, который не соответствует запросу. Чат-боты хорошо справляются с задачами по анализу информации. Можно быстро получить реферат любого документа по указанным критериям, попросить структурировать найденную информацию, заранее указав желаемый формат ответа. Чат-боты могут создавать и редактировать программный код, помогать в изучении иностранных языков, переводить и озвучивать текст. Вы можете попросить чат-бот сгенерировать картинку, собрать информацию по какой-то теме, написать рецензию на любой

документ, создать презентацию, осуществить поиск информации, подготовить обзор, резюме, программную документацию и т.д.

Простой, но наглядный пример эффективного использования чат-бота при подготовке рецензии. Научному сотруднику пришёл автореферат или сама диссертация на подготовку рецензии. Времени нет, а рецензию написать надо. Используйте следующий промпт.

«Как эксперт [в такой-то] области напиши рецензию на диссертацию. Используй текст диссертации, которая находится по адресу (линк). В рецензии отразить: актуальность и проблему, решаемую в диссертации, основное содержание диссертации, новизну полученных результатов, практическую значимость работы, замечания к работе, выводы».

Если необходимо написать статью для сайта о туризме, то в текст промпта нужно вставить следующие требования.

«Напиши статью для сайта о туризме. Используй следующее оглавление. 1. Введение. 2. Обзор туристических направлений. 3. Описание конкретных мест отдыха с указанием стоимости путёвки, проезда и маршрутов. 4. Список литературы по туризму. Не используй сложные слова и предложения. Текст должен читаться легко. Текст должен быть уникальным. Используй вхождение ключевых слов “отдых, туризм”. Упомяни о разных сезонах отдыха. Используй маркированные списки».

После получения результатов выполнения промпта необходимо проверить, устраивает ли стилистика, нет ли в тексте логических, грамматических и смысловых ошибок. Можно вставить в промпт пример понравившейся статьи в виде ссылки или отрывок текста и попросить придерживаться аналогичной стилистики.

В промпт закладываются указания чат-боту: что и как делать, требования по представлению информации, что поможет чат-боту выдать ответ, удовлетворяющий пользователя. Если результат не удовлетворил пользователя, необходимо обязательно перепроверить ответ с помощью нескольких чат-ботов. Это связано с тем, что разные генеративные чат-боты обучались не на одинаковых источниках данных. При сложных промптах, имеющих много

требований и условий, часть запроса может быть проигнорирована чат-ботом.

Для генерации текстов научного характера важно учитывать не только стиль, но и объём, а также термины, устойчивые выражения и логические переходы. Модель должна не просто подобрать слова, а создать текст, соответствующий формату, при этом избежав фактических ошибок и смысловых искажений. Это особенно актуально в условиях, когда текст генерируется не для развлечения, а для образовательных или профессиональных целей. Важно не только сгенерировать связный текст, но и оценить его соответствие ожидаемой структуре, стилю и содержательной точности. Язык — академический, стиль — сдержанный, объём — строго ограничен.

Сложные задачи современные чат-боты не могут решить. Например, задача по сбору и формализации информации о возможных воздействиях опасных явлений (ОЯ) на промышленные предприятия, население и рекомендации для принятия превентивных мер, чтобы уменьшить или предотвратить воздействия, не решается одним промптом. Здесь специалист должен разбить задачу на отдельные подзадачи и для каждой подзадачи составить свои промпты, а полученные от чат-бота результаты объединить в один документ. При этом здесь уже нужно использовать несколько агентов ИИ [1].

Очень важно, чтобы пользователь мог быстро выбирать чат-бот или другую его версию для решения конкретной задачи. Для этого можно использовать универсальный помощник по ИИ *Sider Vision* (<https://sider.ai/>) или «Яндекс Браузер». С помощью *Sider* можно получить ответы для одного промпта от десяти чат-ботов и выбрать наиболее подходящий. При создании обзоров любой контент можно перевести на 50 языков. С помощью *AI Video Shortener* создаются краткие обзоры веб-страниц. Можно перефразировать текст, избежать плагиата с помощью *ChatGPT Writer*. Можно использовать *Sider Vision* для преобразования изображения в текст и наоборот. В «Яндекс Браузере» доступен пересказ видео по нажатию кнопки «Пересказ», которая появляется в видеоплеере и на обложках роликов. По этой кнопке можно быстро узнать,

о чём рассказывает видео, и перейти к нужному фрагменту. В этом браузере имеются и другие нейроинструменты — редактор текста, переводчик, генератор изображений, средства распознавания и озвучивания текстов. В чат-боте Яндекс-Алиса появились возможности использования методов генеративного ИИ.

При получении задачи, связанной с использованием чат-ботов, сотрудники должны думать, как повысить эффективность своей работы, используя чат-бот. То есть задолго до использования чат-ботов необходимо составить предложения по задачам, в которых можно использовать ИИ, и какие методы и средства (чат-боты, базы знаний, графы знаний и др.) можно в них применить.

Возможности GenAI делают поиск данных более доступным с помощью естественного языка, позволяют пользователям запрашивать, исследовать и взаимодействовать с данными с помощью разговорных интерфейсов. Чат-бот интерпретирует задание пользователя, определяет релевантные источники данных, формулирует соответствующий запрос и возвращает ответ. Это устраняет необходимость в специальном обучении или технических навыках. Чат-боты могут существенно улучшить пользовательский опыт на порталах, помогая быстрее находить необходимую информацию и делая взаимодействие с информационным ресурсом более удобным.

На сегодняшний день существует множество языковых моделей и чат-ботов, которые используются для генерации текстов различного типа. Наибольшее распространение получили чат-боты, основанные на архитектурах семейства GPT, LaMDA и других трансформерах. Несмотря на общее сходство в принципах работы, различные чат-боты отличаются по функциональности, возможностям настройки, качеству диалогового взаимодействия и степени пригодности для научных задач. Сравнительный обзор таких систем позволяет выделить их сильные стороны и ограничения. Особое внимание при этом уделяется тому, насколько сервис способен работать с научными жанрами текста, поддерживает ли он адаптацию под стиль и предоставляет ли возможности для управления логикой генерации. Ниже представлена табл. 1, отражающая основные характеристики популярных чат-ботов.

Таблица 1

Сравнение популярных чат-ботов

Чат-бот	Примеры применения	Преимущества	Ограничения
ChatGPT	Научные статьи, резюме, отчёты	Высокая креативность, адаптация к стилю	Требует точных промптов
LaMDA	Обзорные тексты, справки	Интеграция с поисковыми системами	Ограниченный набор языков
Claude	Аналитика, текстовые пояснения	Простота использования, обучаемость	Ограниченное количество данных для обучения
GigaChat	Резюме, обзоры, генерация на русском	Поддержка русского языка, встроенный модуль знаний	Меньшая креативность по сравнению с GPT-4

Каждый из представленных чат-ботов обладает своими сильными и слабыми сторонами. ChatGPT показывает высокую гибкость и способность адаптироваться под стиль, что делает его удобным инструментом для генерации научных текстов. Однако без чёткого промпта чат-бот склонен уходить в обобщения и теряет глубину. LaMDA ориентирован на генерацию справочной информации, но ограничен по языкам и демонстрирует нестабильное поведение при работе с длинными или структурированными текстами. Claude обеспечивает понятный диалог и лёгкость в использовании, однако пока уступает другим решениям в точности и логической связности текста. GigaChat выделяется среди прочих за счёт ориентации на русский язык, встроенных механизмов диалога и генерации текстов в академическом стиле. Несмотря на меньшую креативность, по сравнению с ChatGPT, он обладает достаточной выразительностью, грамматической правильностью и поддержкой контекста, что делает его удобной платформой для построения тематических шаблонов. Учитывая ориентацию на русскоязычный контент, наличие открытого API и возможности интеграции в веб-сервисы, для генерации текстов и взаимодействия с чат-ботом лучше использовать GigaChat.

Методика составления промптов

Что такое промпт. Промпт — это вопрос, или задача, или задание, или инструкция, которые пользователь передаёт чат-боту. Результат работы оформляется в виде текста, который генерирует в ответ чат-бот. Чем больше деталей указано в промпте, чем точнее и понятнее промпт, тем лучше результат. Он может включать разные элементы, но не обязательно все сразу [2–4]:

- инструкцию — это задание или задача, которую чат-бот должен выполнить;
- контекст — дополнительная информация от пользователя, она поможет чат-боту меньше галлюцинировать;
- входные данные — вопрос, на который человек ищет ответ;
- выходные данные — формат, или метод формализации, с помощью которого чат-бот должен предоставить текст.

В задании должны быть отражены тематика, стилистика и структура документа, который хочет получить пользователь, для кого, о чём и как создаётся текст. В зависимости от задачи можно добавлять в запрос требования к результату, задавать стиль ответа или ограничения. Одни запросы достигают цели и отвечают на вопрос. На другие — чат-бот даёт галлюцинации или неполную информацию, а иногда отказывается отвечать. Структура промпта представлена в табл. 2. Эту формулу можно расширять или сокращать — всё зависит от класса задач.

Таблица 2

Структура промпта

Действие	Вид текста	Тема	Аудитория	Ограничения
Найди	Данные	Для обучения нейронных сетей	Сотрудники	Полнота данных не менее 90 %
Напиши	Пост	Получить сведения о возможных воздействиях ОЯ	Руководители предприятий	Уложись в 3000 символов
Объясни	Слово	Промпт	Аспиранты	Уложись в один абзац
Придумай	Сценарий	Для поиска гидрометеорологических данных	Разработчики	Уложись в 1000 знаков

Окончание табл. 2

Действие	Вид текста	Тема	Аудитория	Ограничения
Составь	Тезисы для выступления	Куда движется ИИ?	Учёные	Уложись в одну страницу
Формализуй	Найденные сведения	Сведения о воздействиях ОЯ на деятельность предприятия, рекомендации для принятия решений	Население и руководители предприятий	Ограничений на объём нет
Классифицируй	Полученные материалы	Воздействия окружающей среды на человека	Учёные	Уложись в семь значений в списке
Резюмируй	Статью	Для получения краткого реферата статьи	Учёные	Уложись в 500 символов
Переведи	Тезисы доклада	Переводи с русского на английский	Учёные	Ограничений нет
Отсортируй	Данные	Временные ряды наблюдений	Программисты	По возрастанию даты

Модели ИИ, на которых работают чат-боты, не обучаются и не развиваются непрерывно в зависимости от использования. Обновление моделей происходит только при выпуске разработчиками новых версий. Некоторые чат-боты сохраняют результаты в рамках сессии.

Корректные промпты кратко увеличивают вероятность того, что пользователь получит правильный вывод в нужном виде. Они сокращают время, которое человек тратит на взаимодействие с чат-ботом. Если ответ должен быть в виде таблицы, можно указать это в запросе и прописать, по каким ячейкам нужно распределить информацию [3].

Какие типы промптов бывают. Корнеллский университет выделил следующие категории промптов [3]:

1. Определение семантики ввода данных. Пользователь задаёт правила, которые чат-бот учитывает при ответе. Например: *«Формализуй собранные сведения о воздействиях опасных явлений на население. Воздействия должны отражать будущие, настоящие и произошедшие ранее воздействия. Собранные рекомендации должны*

быть расписаны для ситуаций до, в момент и после прохождения опасного явления». Это позволяет получить слабоструктурированную информацию о воздействиях и рекомендации, которые можно хранить в базе данных.

2. Настройка вывода информации. Правила идентификации опасных явлений и выводы сведений о воздействиях в зависимости от выявленного опасного явления, уровня его опасности, типа используемой информации (наблюдения, прогноз, климат).

3. Идентификация ошибок. Можно попросить чат-бот привести источники и факты, на основании которых он составил ответ.

4. Улучшение подсказок. Чат-бот может обходить ограничения путём задания уточняющих вопросов.

5. Управление контекстом. Поставьте ограничения: например, «Подготовь ответ, не включая зарубежные источники».

Как составить промпт. Если в организации имеется один специалист, умеющий работать с чат-ботами, то для организации работ сотрудник должен сформулировать требования к задаче в виде задания; определить список ключевых фраз, которые необходимо использовать в тексте. Пошаговая инструкция (задание) для создания промпта включает следующие шаги [8]:

1. Учесть, для кого предназначен этот текст, для решения какой задачи нужен этот текст, что нужно описать.

2. Выбрать подходящий чат-бот для каждой задачи путём экспериментов на одном и том же промпте.

3. Указать тему и подготовить дополнительные материалы.

4. Сказать чат-боту, о чём должен быть текст.

5. Описать процесс решения задачи.

6. Включить в промпт требование «Придумай заголовок».

7. Указать в промпте команду «Напиши текст от лица [эксперта], [профессионала], [руководителя], [программиста], [прогнозиста], [учёного]».

8. Дополнить промпт фразой «Подготовь [статью], [обзор], [резюме], [рассказ]».

9. Предоставь чат-боту весь список используемых терминов.

10. Используй имеющиеся документы.

11. Придерживайся следующей структуры для научной статьи: заголовок, актуальность темы и проблема, краткий обзор, использованные данные, анализ данных, обсуждение, выводы, список использованной литературы. Для программной документации используй ГОСТы серии «Единая система программной документации».

12. Попросить чат-бот использовать в статье научный, популярный, официальный, дружелюбный, негативный, позитивный, юмористический тон.

13. Описать аудиторию и/или проект, если нужна картинка для оформления сайта.

14. Дать ограничения по объёму, уникальности получаемого текста.

Формирование промпта — это не разовая задача, а процесс, включающий:

- Анализ базовых формулировок. На первом этапе собираются и тестируются простые промпты. Выявляются недостатки: размытая структура, отсутствие логики, слабая терминологическая точность. Промпты сравниваются по результатам генерации на одном и том же входе. Во входных данных указывается текст — это список тезисов, выдержка из источника, ключевые понятия или краткое описание темы. Для выходных данных указывается формат результата: например, три логических блока (введение, основная часть, заключение), маркированный список или разметка по пунктам. При необходимости, если задача сложная или нестандартная, в промпт включают 1–2 образца желаемого результата.

- Уточнение задачи и перестройка запроса. На этом этапе промпты перерабатываются: уточняется жанр (например обзор по теме, краткое резюме, тематический обзор, структурированная аннотация), задаётся стиль (академический, деловой) и объём, изменяется порядок элементов. Используется формат: «Составь краткий научный обзор по теме {тема}. Включи ограничения — параметры, ограничивающие степень свободы, например объём до 300 слов», язык (русский).

- Адаптацию под разные форматы. На основе шаблонов формируются типовые конструкции: для реферата, для краткого тезисного обзора, для академического резюме.

- Оценку результата и выбор успешных шаблонов. Каждый промпт тестируется на нескольких входных данных. Результаты оцениваются по набору метрик (ROUGE, BERTScore, METEOR, терминологическое покрытие) и вручную — по логике, полноте и стилю. Удачные формулировки сохраняются в библиотеке шаблонов.

Рекомендации для написания промптов. Если в сгенерированной статье много сложных выражений, канцеляризмов и ничего не значащих предложений, укажите чат-боту на эти недостатки и попросите переделать. Основными ошибками при составлении промптов являются [7, 8]:

- использование жаргонов, слэнгов, аббревиатур, сокращений и редко употребляемых профессиональных слов без объяснения;
- двусмысленные слова, например, слово «море» может иметь разное значение (географический объект и море слов), поэтому уточняйте контекст;
- слишком широко сформулированные запросы;
- отсутствие структуры документа в запросе приводит к размытым и слабо логичным текстам;
- не указанные ограничения по стилю и объёму вызывают избыточность, повторы и неакадемичную лексику;
- нечёткое задание цели часто приводит к подмене формата: модель генерирует пересказ, а не резюме;
- игнорирование входных данных снижает смысловую релевантность результата.

Чтобы генерация была предсказуемой и соответствовала поставленной задаче, в промптах могут использоваться приёмы, которые влияют на логику работы чат-бота:

- добавление нескольких примеров текста в нужном формате: чат-бот обучается на этих образцах и использует их как шаблон;
- генерация поэтапно, с логической последовательностью: сначала формулируется цель, затем раскрываются методы, потом делаются выводы;

- строгое задание в формате пошаговой инструкции, например: *«Кратко изложи основные направления темы, раскрой каждое направление, заверши текст выводами»*.

Можно предложить следующие рекомендации для создания эффективных промптов [8]:

1. Итеративно дорабатывайте и уточняйте свои подсказки, задавайте вопросы, запрашивайте различные точки зрения и оспаривайте предположения чат-бота.

2. Экспериментируйте, создавайте различные варианты промптов.

3. Чем сложнее тематика, тем больше смысловых ошибок может допустить чат-бот. К тому же, он склонен допускать и грамматические ошибки, поэтому посмотрите текст и/или проверьте его с помощью специальных сервисов.

4. Для того, чтобы чат-бот развил идею, чат-боту нужно дать ссылку на готовый пример. Такой подход работает, когда нужно писать скрипты, ответы на вопросы, описания к фотографиям и короткие посты в определённом стиле.

5. Показать примеры. Вставьте в промпт реальные примеры или ссылки на них и попросите сделать так же. Этот подход работает, если вам необходимо получить шаблонные описания гидрометеорологических условий, тексты прогнозов, полученных путём трансформации цифровых данных. Если предварительно дать ссылку чат-боту на пример имеющегося резюме, то он, используя предложенную информацию, создаст уникальный контент.

6. Пишите простые предложения, показывайте примеры текстов в виде интернет-ссылок, например: *«Используй статью, находящуюся по адресу [ссылка] в качестве примера»* или *«Возьми информацию из ссылки [ссылка]. Ты гидрометеоролог. Твоя задача — объяснить населению, что может произойти, если будут ливневые осадки»*.

7. На результат ответа может повлиять любой символ, слово и даже знак препинания. Добавление пробела или перевода строки в конец запроса может привести к совершенно другому результату генерации.

8. Если чат-бот галлюцинирует, то этим можно управлять с помощью промпта, передавая чат-боту дополнительные факты.

9. Следует учитывать, что длина входной последовательности ограничена характеристиками и настройками чат-бота. Необходимо подумать, насколько конкретным и детализированным должен быть промпт, и не включать в него излишние подробности.

10. Если вы набрали промпт и заметили, что в середине предложения чат-бот замолк, то увеличьте максимальную длину текста и перезагрузите запрос.

11. Не полагайтесь полностью на ответ чат-бота, вычитывайте полученный ответ, включайте критическое мышление. Дополнительно проверяйте информацию из других источников. Попросите чат-бот показать алгоритм решения задачи по шагам и распишите результат для каждого этапа. Необходимо оценить результаты работы чат-бота, выявить предвзятость и проверить полученную информацию, понимать специфику предметной области для проверки фактов, выдаваемых чат-ботом, и обеспечения точности.

12. Чтобы создать эффективные промпты для простых задач, используйте повелительные формы глаголов в виде команд, указывающих чат-боту, что именно нужно сделать, например: «Классифицируй», «Резюмируй», «Переведи», «Отсортируй» и так далее. Инструкция, описывающая необходимые действия, размещается в начале промпта.

Решаемые задачи в области гидрометеорологии

Чат-бот в роли помощника для поиска данных. Использование чат-бота для поиска данных на крупном портале с тысячами информационных ресурсов может значительно упростить навигацию и ускорить процесс получения нужной информации для пользователей. Предлагается три варианта улучшения поиска на портале.

1. Поиск на портале. Если портал уже имеет поисковую систему, то можно интегрировать чат-бот как интерфейс для взаимодействия с ней. Чат-бот будет принимать запросы от пользователя и передавать их поисковой системе портала. В ответ чат-бот предоставит результаты поиска в удобной форме, например, разбивая их по категориям или предоставляя краткое описание каждого результата. Чат-бот, получив задание, передаёт этот запрос поисковой системе портала. Получив результаты,

чат-бот анализирует их и возвращает пользователю наиболее релевантные варианты.

2. Требуется повысить эффективность поиска данных и информации на крупном информационном портале. Для этого нужно написать сценарий для взаимодействия пользователя с чат-ботом для поиска наблюдаемых, прогностических, климатических данных. Для решения этой задачи чат-бот должен выявить у пользователя:

- период времени, когда он планирует или собирается поехать на отдых или уже находится на курорте;
- место проведения отдыха — страна, город, поселение;
- тип отдыха (пляжный, горный, водный и др.);
- для каждого типа отдыха и сезона требуется своя комфортная погода.

3. Если у портала нет мощной поисковой системы или она недостаточно гибкая, можно создать собственную систему классификации и фильтрации. Например, если портал содержит статьи, документы, новости и другие типы контента, можно обучить чат-бота понимать, какой тип контента интересует пользователя, и предлагать соответствующие фильтры. Чат-бот предлагает выбрать категорию новостей (обновление информационных ресурсов, новости системы, новые документы) и временной промежуток. После выбора чат-бот предоставляет список новостей, соответствующих этим критериям.

4. Пользователи могут задавать вопросы, а чат-бот будет искать ответы среди заранее подготовленных вопросов и ответов. Этот подход особенно полезен для порталов с большим количеством повторяющихся запросов. Пример: Пользователь хочет узнать, где найти информацию о прогностических данных. Чат-бот отвечает, что вся информация доступна в разделе «Метаданные» в объекте «Сведения о массивах и базах данных», «Каталоге информационных ресурсов», и даёт ссылки на соответствующие страницы портала.

Подобрать материал по теме «Отдых в Крыму». Для решения этой задачи необходимо проанализировать имеющиеся данные по этому району и ответить на следующие вопросы: В каком месяце

лучше всего отдыхать в Крыму? Когда самое чистое море? Когда лучше ехать на пляжный отдых? Промпт будет выглядеть так:

«Используя семантическое ядро поисковой выдачи Яндекс на тему “Отдых в Крыму”, составь план статьи. Приоритет отдать запросам, у которых выше частотность. Используй иерархию заголовков. Ответь на следующие вопросы: В каком месяце лучше всего отдыхать в Крыму? Когда самое чистое море? Когда лучше ехать на пляжный отдых?».

Чтобы добиться лучшего варианта, запросить все заголовки статей из топ-10 в выдаче по заданной тематике, собрать семантику, а затем, опираясь на эти данные, попросить чат-бот составить максимально подробный план статьи. Промпт для получения статьи включает следующие разделы:

Введение (краткий обзор возможностей для туристов).

1 Виды отдыха (пляжный, водный, горный).

[Далее рассматривается только один вид отдыха — пляжный].

1.1 Пляжный отдых.

1.1.1 Проезд (железная дорога, самолёт, автомобиль). Указать стоимость.

1.1.2 Проживание (4–5 звёздочек, 3 звёздочки и съёмное жильё, 1–2 звёздочки и хостелы). Указать стоимость.

1.1.3 Развлечения (достопримечательности, экскурсии). Как указать? Указать стоимость.

1.2 Погода.

1.2.1 Вы находитесь на отдыхе и хотите знать, какая погода сейчас. Используй наблюдаемые гидрометеорологические данные.

Побережье моря: температура воды, температура воздуха, осадки, скорость ветра, высота волн, отбойные течения.

1.2.2 Вы находитесь на отдыхе и хотите знать, какая будет погода в ближайшие дни. Используй прогностические данные в уточнённом составе.

Побережье моря: температура воды, температура воздуха, осадки, скорость ветра, высота волн.

1.2.3 Заказ путёвки на определённый период с заблаговременностью не менее трёх недель с учётом долгосрочного прогноза. Используй прогностические данные в составе.

Побережье моря: температура воздуха, осадки.

1.2.4 Планирование отдыха с учётом климатических особенностей: аномалии наблюдаемых и прогностических значений от климатических значений для параметров выбранного типа места отдыха.

Побережье моря: климатические многолетние данные, осреднённые по месяцам для: температуры воды, температуры воздуха, осадков, скорости ветра, высоты волн.

Аналогично составляется описание для водного отдыха или отдыха в горах. Пользователю нужна информация, которая ему поможет принять правильное решение об отдыхе, исходя из условий отдыха, стоимости, а также сложившихся, или прогнозируемых, или климатических данных.

Сбор сведений о воздействии опасных явлений. Современные природные явления, такие как наводнения, землетрясения и ураганы, требуют оперативной обработки больших объёмов данных для идентификации уровней опасности, выдачи сведений о возможных воздействиях и рекомендаций для минимизации последствий в формализованном виде. Чат-боты, построенные на архитектуре трансформеров, обладают высокой способностью к обработке текстов, однако их адаптация к специфическим задачам требует значительных вычислительных ресурсов [9, 10].

Используемый для дообучения набор данных представляет собой docx-файл, имеющий следующую структуру: название; определение явления; причины явления; показатели явления и их значения по уровням опасности; воздействия на различные объекты — инфраструктура, население, предприятия, транспорт и т.п., виды деятельности — перевозка грузов, отдых, рекомендации для различных уровней управления; сопутствующие явления; типовые ситуации, которые можно использовать для различных явлений; список литературных источников, использованных для сбора сведений о воздействиях и рекомендаций.

Промпт простой:

«Опишите наводнение, используя следующую структуру: 1. Название явления. 2. Определение. 3. Причины. 4. Объект воздействия. 5. Показатель наводнения. 6. Значение показателя. 7. Уровень опасности. 8. Тип данных: наблюдаемые значения. 9. Воздействия на инфраструктуру. 10. Что делать в момент явления».

Полученный результат:

1. **Название явления:** Наводнение на реках.

2. **Определение:** Наводнение — это значительное затопление местности водой, выходящей из берегов водоёмов или рек, либо вызванное чрезмерными осадками, таянием снега или другими природными или антропогенными факторами.

3. **Причины:**

- интенсивные и продолжительные дожди;
- таяние снега и ледников;
- прорыв дамб или плотин;
- заторы льда на реках.

4. **Объект воздействия:** Население, жилые дома, сельскохозяйственные угодья, транспортная и энергетическая инфраструктура, экосистемы.

5. **Показатель наводнения:** Уровень воды.

6. **Значение показателя:** Высота подъёма воды над уровнем берега или нормальным уровнем водоёма, измеряется в метрах.

7. **Уровень опасности:** Средний (затопление значительных территорий).

8. **Тип данных (наблюдаемые значения):**

- уровень воды в реке (в метрах);
- скорость течения воды;
- площадь затопленной территории.

9. **Воздействия на инфраструктуру:**

- разрушение дорог, мостов, зданий;
- отключение электроэнергии, водоснабжения, связи;
- потеря урожая, скота;
- эвакуация населения, риск травм и гибели людей;
- загрязнение воды и почвы.

10. **Что делать в момент явления:**

- следить за официальными предупреждениями;
- при необходимости эвакуироваться в безопасное место;
- избегать движения через затопленные участки;
- отключить электричество и газ в доме;
- взять с собой документы, аптечку и необходимые вещи;
- не возвращаться в зону затопления до разрешения властей.

Как видно из результата, список возможных воздействий представлен только для инфраструктуры, а для других объектов воздействий — нет. Реально список воздействий значительно отличается для каждого объекта. Аналогичный недостаток и в представленных рекомендациях. Рекомендации даны только для населения. Кроме того, рекомендации до явления, в момент явления и после явления различаются. В зависимости от уровня опасности перечень воздействий и рекомендаций тоже должен различаться. То есть необходимо создать несколько промптов — для каждого объекта, уровня опасности и используемой информации (наблюдение, прогноз, климат). Для каждого атрибута в промпте необходимо дать примеры написания воздействий. Если используются наблюденные данные, то воздействия пишутся в настоящем времени (наблюдается), прогнозные — в будущем времени (может произойти), климатические — в неопределённом времени (происходит).

Трансформация цифровых прогностических данных в текст прогноза. При генерации прогнозов погоды на русском языке существует ряд требований, обусловленных нормативными документами (РД 52.27.724–2019), отраслевыми стандартами, а также особенностями восприятия текста конечными пользователями. Следовательно, промпт вызывает генерацию [9–11] и управляет её структурой, стилистикой, терминологией и полнотой. Пример промпта представлен ниже.

«Ты профессиональный метеоролог. Сгенерируй текстовый прогноз погоды на русском языке согласно документу РД 52.27.724–2019.

1. Не используй субъективные оценки и не добавляй параметры, которых нет во входных данных. Всё должно быть написано в одну строку. А также строго следуй инструкциям.

2. Получить наблюденные данные из информационного ресурса СИНОП для всех станций по территории России.

3. Получить прогностические данные на пять дней из информационного ресурса RU_Hydrometcentre_42 по территории России.

4. Классифицируй наблюденные и прогностические данные по диапазонам значений уровня опасности.

5. *Используй классификацию уровней опасности значений параметров:*

- *температуры воздуха (°C) по уровню комфортности: <10 — холодно, 10–18 — прохладно, 18–25 — умеренно, >25 — жарко;*
- *ветра (м/с) по скорости: 0–5 — слабый, 5–10 — умеренный, 10–20 — сильный, >20 — штормовой;*
- *осадков (мм/сутки) по их выпавшему количеству: 0 — без осадков, 1–5 — небольшие, 5–15 — умеренные, >15 — ливневые.*

6. *Используй климатические данные. Получить из базы данных таблицу с климатическими данными по всем станциям России для 12 месяцев: температура, осадки, скорость ветра.*

Получить выборку климатических данных по району нахождения станции.

7. *Указать отклонение от нормы как разность между наблюдаемыми или прогностическими значениями и климатическим значением.*

8. *Структура прогноза должна включать: дату и основные параметры, причины изменений, сравнение с многолетней нормой.*

9. *Прогноз выдаётся по всем имеющимся значениям данных в анализе и прогнозах для любого поселения.*

10. *Написать всё в одну строку, не использовать нумерацию, это должен быть один цельный текст.*

Результаты экспериментов показали, что при соблюдении такой структуры промпта, чат-бот LLaMA 3 способен выдавать организованные, содержательные тексты прогнозов. При этом даже без дообучения наблюдается формирование релевантных конструкций, но без формализации воздействий и рекомендаций. Наблюдается недостаточная полнота получаемых результатов. Не соответствие рекомендаций для принятия решений возможным воздействиям.

Оценка результатов с помощью метрик

Для оценки результатов, полученных на основе промптов, используются метрики [7, 9, 12, 13]: точность, связность, плавность, оригинальность.

Точность. Для оценки точности используется метрика BLEU, которая измеряет совпадение n -грамм¹ с эталонными текстами, чтобы оценить, насколько точно сгенерированный текст соответствует ожидаемому содержанию. При этом выделено пять уровней качества:

- 0–30 % — низкое качество: текст имеет мало общего с эталоном, вероятны грамматические ошибки, несоответствие теме и наблюдается пропуск ключевых элементов;
- 30–50 % — среднее качество: текст частично совпадает с эталоном, основная структура и некоторые ключевые аспекты темы переданы, но могут быть недочёты в деталях, формулировках и порядке слов;
- 50–70 % — хорошее качество: текст покрывает основную тему и соответствует эталону, могут встречаться незначительные отклонения, например в синонимах или порядке слов;
- 70–90 % — отличное качество: текст близок к эталону, используются правильные формулировки, ключевые аспекты полностью переданы, могут быть мелкие стилистические различия;
- 90–100 % — идеальное качество: текст практически полностью совпадает с эталоном, обычно такие значения встречаются при копировании текста.

Связность, оцениваемая экспертами или конечными пользователями с помощью опроса или использования шкалы Лайкерта) [9]. При этом пользователи оценивают, насколько текст логичен и последователен, без внезапных переходов и противоречий.

Плавность. Для оценки плавности используется метрика Перплексия, которая оценивает, насколько естественно и грамматически правильно построены предложения. Уровни оценки метрики включают:

- отличное качество ($PPL < 15$): текст плавный, грамматически корректный и легко читаемый; нейронная сеть предсказала слова с высокой вероятностью; лексика и структура предложений естественны для языка;

¹ n -грамма — это последовательность из n элементов, таких как звуки, слоги, слова или буквы, в зависимости от контекста.

- хорошее качество ($15 \leq \text{PPL} < 30$): текст в целом корректен, но возможны незначительные синтаксические ошибки; некоторые формулировки могут выглядеть чуть менее естественными;
- среднее качество ($30 \leq \text{PPL} < 50$): текст содержит явные синтаксические ошибки или менее естественные конструкции; чтение текста может быть затруднительным из-за неуклюжих формулировок;
- низкое качество ($\text{PPL} \geq 50$): текст имеет множество ошибок в грамматике, синтаксисе и структуре; трудно понять смысл изложения.

Релевантность. Используется метрика BERTScore [12], которая применяет семантические модели для оценки того, насколько содержание генерированного текста соответствует заданной теме или запросу. Уровни качества метрики включают:

- 0,0–0,5 — низкое качество: текст плохо отражает смысл эталона; возможно, текст отклонился от темы или содержит недостаточно информации;
- 0,5–0,7 — среднее качество: текст частично соответствует эталону, но упущены детали или семантика выражена не полностью; возможно использование синонимов или иных формулировок;
- 0,7–0,85 — хорошее качество: текст передаёт ключевые аспекты эталона, сохраняет основную тему и логику; могут быть незначительные отличия в деталях;
- 0,85–0,95 — отличное качество: текст семантически почти полностью совпадает с эталоном; используемые фразы логичны и релевантны;
- 0,95–1,0 — идеальное качество: полное семантическое соответствие; часто такие результаты возникают, если текст содержит фразы, схожие с эталоном до идентичности.

Оригинальность. Используется метрика «Анализ на плагиат» [13], которая определяет, насколько уникален текст, выявляет заимствованные или слишком близкие совпадения с существующими текстами.

Заключение

Представлена методика составления промптов, в которой указаны основные элементы промпта, какие типы промптов бывают, как составить промпт, как научиться писать эффективные промпты. Рассмотрены решаемые задачи в области гидрометеорологии: чат-бот в роли помощника, подбор материала по заданной теме и подготовка справочника для различных видов деятельности, сбор сведений о воздействиях опасных явлений, трансформация цифровых прогностических данных в текст прогноза. Даны используемые метрики оценки результатов, полученных на основе промптов (точность, связность, плавность, оригинальность). Предложенные рекомендации позволяют создать адаптируемые и устойчивые промпты, которые можно использовать повторно или модифицировать под конкретную задачу.

Основными преимуществами чат-ботов являются быстрый ответ на полученное задание и минимальные трудозатраты для освоения и выполнения рутинных задач. Перечень задач, решаемых с помощью генеративных чат-ботов в области гидрометеорологии, безусловно, в ближайшее время будет расширяться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Accenture: Reimagining IT in the Era of Agent-Based AI and Digital Labor*. Itweek. April 4, 2025. [Электронный ресурс], сайт: URL: <https://www.itweek.ru/management/article/detail.php?ID=231953> (дата обращения: 13.10.2025).
2. *Лучшие практики для разработки подсказок с помощью API OpenAI*. [Электронный ресурс], сайт: URL: <https://help.openai.com/en/articles/6654000-best-practices-for-prompt-engineering-with-the-openai-api> (дата обращения: 13.11.2024).
3. *Как писать промты*, чтобы нейросеть выдавала нужный результат. [Электронный ресурс], сайт: URL: <https://education.yandex.ru/journal/kak-pisat-prompty-chtoby-nejroset-vydavala-nuzhnyj-rezultat> (дата обращения: 13.10.2025).
4. *Промты для ИИ: алгоритм написания запроса к Midjourney и ChatGPT* 25.01.2024. [Электронный ресурс], сайт: URL: <https://cinar.ru/blog/prodvijenie-sayta/promty-dlya-ii> (дата обращения: 13.11.2024).
5. *Обучение для карьерного роста: от маркетолога к промпт-инженеру*. [Электронный ресурс], сайт: URL: <https://ya.zerocoder.ru/tag/prompt-inzhiniring/> (дата обращения: 13.11.2024).

6. *ИИ-ассистенты* в компании: от промпт-инжиниринга к полезным навыкам, 7 июля 2025. [Электронный ресурс], сайт: URL: <https://globalcio.ru/discussion/51278/> (дата обращения: 13.11.2024).

7. *Papineni K., Roukos S., Ward T., Zhu W.-J.* BLEU: A Method for Automatic Evaluation of Machine Translation. [Электронный ресурс], сайт: URL: <https://aclanthology.org/P02-1040/>.

8. *Руководство* по промпт-инжинирингу. [Электронный ресурс], сайт: URL: <https://www.promptingguide.ai/ru> (дата обращения: 11.11.2024).

9. *Likert scale* / Шкала Лайкерта. Википедия. [Электронный ресурс], сайт: URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Likert_scale (дата обращения: 13.11.2024).

10. *Transformers*. [Электронный ресурс], сайт: <https://clck.ru/3FLCAp> (дата обращения: 13.11.2024).

11. *A Family of Pretrained Transformer Language Models for Russian*. [Электронный ресурс], сайт: URL: <https://clck.ru/3FLBy9> (дата обращения: 11.11.2024).

12. *Zhang T., Kishore V., Wu F. et al.* BERTScore: Evaluating Text Generation with Contextualized Embeddings. [Электронный ресурс], сайт: URL: <https://arxiv.org/abs/1904.09675> (дата обращения: 13.11.2024).

13. *Уникальность* текста. [Электронный ресурс], сайт: URL: <https://textovod.com/unique> (дата обращения: 13.11.2024).

Сборник научных трудов

Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Выпуск 193

Подписано к печати 19.12.2025 г. Формат 60×84/16.

Печать офсетная. Печ. л. 14,88. Тираж 300 экз. Заказ № 31.

Отпечатано в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», г. Обнинск, ул. Королёва, 6.

УДК 004(075.32)

Анализ функционирования Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане в 2014–2024 гг. Мельников Д.А., Алаева О.В., Вязилов Е.Д., Гончуков Л.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2025. Вып. 193. С. 7–23.

В статье представлен комплексный анализ функционирования Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (далее – ЕСИМО) за период 2014–2024 гг. Рассмотрены ключевые этапы развития системы. Особое внимание уделено методике оценки и критериям работоспособности системы.

Показано, что, несмотря на технические и организационные трудности, ЕСИМО обеспечивает высокий уровень актуальности данных благодаря внедрению системы рейтинговой оценки и единой отчётности. Выявлены региональные различия. В статье подчёркивается необходимость модернизации инфраструктуры, унификации региональных узлов и оптимизации пользовательских интерфейсов для дальнейшего развития системы. ЕСИМО сохраняет ключевое значение для обеспечения морской деятельности России, требуя адаптации к современным технологическим вызовам.

Ключевые слова: Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО), мониторинг Мирового океана, информационная система, работоспособность аппаратно-программного комплекса, актуальность данных, Zabbix, рейтинговая оценка, узел по Дальневосточному федеральному округу.

Ил. 3. Табл. 3. Библиогр. 25.

УДК 551.465

Создание типового унифицированного морского климатического справочника. Воронцов А.А., Булыгин А.М., Нефёдова Г.И., Баталкина С.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2025. Вып. 193. С. 24–34.

В статье рассмотрена преемственность справочных изданий о гидрометеорологическом режиме морской природной среды, приведены принципы и методология создания типового справочника: унифицированного морского климатического справочника в Интернет-среде. Приведены характеристики нового справочника и проектные решения по реализации этого проекта.

Ключевые слова: морская природная среда, справочник, климат, режим, открытое море, прибрежная территория.

Табл. 2. Библиогр. 11.

УДК 551.582.2

Воздействие опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений на социально-экономическую систему: региональные особенности.

Воробьева Л.Н., Санина А.Т. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2025. Вып. 193. С. 35–46.

Рассматривается влияние опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений погоды на социально-экономическую систему России. На основе анализа сведений базы данных представлены региональные особенности воздействия опасных гидрометеорологических явлений на экономику РФ на примере отдельно взятых субъектов России за последние 20 лет.

Ключевые слова: опасные гидрометеорологические явления, социально-экономическая система, интенсивность воздействия.

Ил. 5. Табл. 1. Библиогр. 12.

УДК 551.510.42 (571.1)

Миграция БД из СУБД Oracle в СУБД PostgreSQL в рамках импортозамещения. Доценко А.А., Нефедова Г.И. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2025. Вып. 193. С. 47–61.

Статья посвящена поиску и применению методов для миграции базы данных из системы управления базами данных Oracle в систему управления базами данных PostgreSQL в рамках процесса по импортозамещению программных средств.

Ключевые слова: система управления базой данных, структура базы данных, миграция базы данных, Oracle, PostgreSQL, Ora2Pg.

Ил. 4. Библиогр. 3.

УДК 551.465

Анализ изменений температуры воды в прибрежных районах неарктических морей России в последние десятилетия. Воронцов А.А., Баталкина С.А., Нефёдова Г.И. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2025. Вып. 193. С. 62–80.

В статье рассмотрены характеристики температуры воды в прибрежной зоне российских секторов неарктических морей (Чёрное, Азовское, Каспийское, Балтийское). Приведены оценки изменений температурного режима по данным гидрометеорологических станций за весь доступный период. Показаны тенденции последних десятилетий для характеристик температуры воды в прибрежной зоне неарктических морей.

Ключевые слова: Чёрное море, Азовское море, Каспийское море, Балтийское море, климат, режим, температура воды, гидрометеорологическая станция.

Ил. 8. Табл. 11. Библиогр. 6.

УДК 551.465

Характеристики скорости ветра в прибрежных районах Чёрного моря в последние десятилетия. Воронцов А.А., Федотовский Ф.С., Баталкина С.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2025. Вып. 193. С. 81–88.

В статье рассмотрены характеристики скорости ветра в прибрежной зоне российского сектора Чёрного моря. Приведены оценки изменений ветрового режима по данным гидрометеорологических станций за весь доступный период. Показаны тенденции последних десятилетий для характеристик скорости ветра в прибрежной зоне Чёрного моря.

Ключевые слова: Чёрное море, скорость ветра, климат, режим, гидрометеорологическая станция.

Ил. 4. Табл. 9. Библиогр. 6.

УДК 551.465.7

О развитии тёплой и холодной фаз Эль-Ниньо — Южного колебания в 2023–2025 гг. Вязилова Н.А., Вязилов А.Е. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2025. Вып. 193. С. 89–100.

В статье представлен анализ развития аномалий климатической системы в экваториальном районе Индийского и Тихого океанов в период с весны 2023 по март 2025 года. Важнейшей особенностью 2023 г. является не только развитие интенсивного Эль-Ниньо канонического типа в Тихом океане в осенние и последующие зимние месяцы, но и интенсивной положительной фазы дипольного явления в регионе Индийского океана в летние и осенние месяцы. Особенностью развития климатических аномалий в 2024 г. является невысокая интенсивность отрицательных аномалий ТПО в экваториальном районе Тихого океана и короткая продолжительность значимых значений океанического индекса, что говорит о развитии слабой и короткой холодной фазы ЭНЮК. 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, Индийский диполь.

Ил. 5. Библиогр. 9.

УДК 551.571.7

Средние характеристики и тенденции изменчивости количества осаждаемой воды в тропосфере по радиозондовым данным российских станций. Хохлова А.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2025. Вып. 193. С. 101–108.

Выполнен анализ пространственного распределения средних значений и тенденций изменчивости количества осаждаемой воды (интегрального влагосодержания) в тропосфере в слое от поверхности земли до уровня 400 гПа. Для анализа использованы многолетние радиозондовые данные 118 российских аэрологических станций за период 1979–2024 гг. Согласно полученным результатам, на большей части территории России имеет место уменьшение количества влаги в тропосфере. Исключение составляют запад европейской части, южная часть восточной Сибири и побережье Северного Ледовитого и Тихого океанов, где влагосодержание увеличивается.

Ключевые слова: климат, тропосфера, радиозондовые измерения, количество осаждаемой воды.

Ил. 4. Библиогр. 10.

УДК 551.465.7

О циклонической активности на Европейской территории России по данным реанализа NCEP-DOE. Вязилова Н. А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2025. Вып. 193. С. 109–119.

Представлено исследование распределения интегрального количества центров циклонов, идентифицированных на Европейской территории России (ЕТР), по районам генезиса траекторий циклонов, вышедших на ЕТР за период исследования с октября 1999 г. по сентябрь 2024 года.

Распределение центров циклонов представлено для зимней и летней половины года по грациям атмосферного давления, а также максимальной скорости ветра.

Особое внимание в работе уделено анализу количества экстремальных циклонов — глубоких циклонов с атмосферным давлением от 970 гПа и менее и штормовых циклонов со скоростью ветра от 17,2 м/с и более.

Траектории циклонов рассчитаны автоматизированным методом на основе данных приземного давления реанализа-2 NCAR/NCEP-DOE (США).

Ключевые слова: траектории циклонов, районы генезиса циклонов, глубокие циклоны, штормовые циклоны.

Ил. 3. Табл. 2. Библиогр. 8.

УДК 551.524

Гомогенизация среднемесячных данных относительной влажности воздуха по метеорологическим станциям России. Финаев А. Ф., Разуваев В. Н. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2025. Вып. 193. С. 120–132.

В статье представлены результаты гомогенизации данных среднемесячной относительной влажности воздуха (ОВВ) для 521 станций России за период с 1966 по 2023 год с помощью пакета RHtests. Приведены итоги сравнения однородных и неоднородных данных. Представлены карты распределения ОВВ по территории России и различия в количестве нарушений однородности записей на станциях. Выявлены различия в тенденции изменения неоднородных и однородных рядов данных ОВВ за исследуемый период.

Ключевые слова: климат, метеорология, влажность воздуха, гомогенизация, однородные ряды данных.

Ил. 7. Табл. 5. Библиогр. 14.

УДК 551.576.32(470+571)

Мониторинг форм облачности на территории России. Коршунова Н.Н., Давлетшин С.Г., Трофименко Л.Т. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2025. Вып. 193. С. 133–147.

Приводятся результаты мониторинга форм облачности на территории России в 2024 году. Исследование изменения и мониторинг форм облачности является важной задачей, поскольку форма облаков в какой-то степени характеризует состояние атмосферы. Рассматривались 11 основных форм облаков, которые подразделяются на облака верхнего, среднего и нижнего ярусов. Анализ проводился по данным в точке и по рядам средних для 9 квазиоднородных климатических регионов характеристик.

Проведённое исследование позволило выявить заметное уменьшение облаков верхнего яруса Ci и Cs в последние годы на севере страны и для России в целом. Во всех квазиоднородных районах зимой и летом отмечается уменьшение повторяемости высокослоистых облаков и значительное увеличение слоисто-кучевых облаков. Повторяемость кучево-дождевых облаков Cb увеличивается в большинстве квазиоднородных районов не только летом, в период максимального развития конвективных процессов, но и зимой. Полученные результаты могут использоваться в подсистеме мониторинга облачности, а также для других исследовательских и прикладных целей.

Ключевые слова: мониторинг облачности, форма облаков, перистые облака, высококучевые облака, слоисто-кучевые облака, кучево-дождевые облака.

Ил. 9. Табл. 2. Библиогр. 15.

УДК 551.501.777:551.583

Исследование максимальной интенсивности осадков на территории России по данным плювиографа. Швець Н.В., Коршунова Н.Н. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2025. Вып. 193. С. 148–158.

Проведено исследование максимальной интенсивности осадков за различные интервалы времени на территории РФ по данным плювиографа за период с 1984 по 2023 год, представленным в Госфонде ВНИИГМИ-МЦД при помощи созданных для этого программных средств. Выявлены некоторые особенности пространственного распределения интенсивности осадков, а также изменения интенсивности в течение продолжительных дождей в разных регионах страны. Резкое уменьшение данных наблюдений по плювиографу в последние годы не позволяет делать однозначные выводы о причинах изменчивости интенсивности осадков.

Ключевые слова: данные плювиографа, максимальная интенсивность осадков, пространственное распределение, продолжительные дожди.

Ил. 4. Табл. 3. Библиогр. 12.

УДК 551.501.771

Анализ изменений относительной влажности воздуха на арктической территории России за период 1966–2024 гг. Кузнецова В.Н., Швець Н.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2025. Вып. 193. С. 159–172.

В статье представлены результаты расчётов климатических изменений относительной влажности воздуха на арктической территории России за период 1966–2024 гг. Рассмотрены тенденции изменения влажности на рассматриваемой территории. Определены районы, имеющие тренд увеличения влажности воздуха за исследуемые десятилетия, и районы, характеризующиеся уменьшением влажности. Показана пространственная и сезонная неоднородность в изменениях относительной влажности воздуха на арктической территории России.

Ключевые слова: климат, линейный тренд, относительная влажность воздуха, климатические изменения, арктическая территория России.

Ил. 6. Табл. 1. Библиогр. 17.

УДК 551.554

Программный комплекс для определения климатических условий рассеяния в пограничном слое атмосферы в заданной точке по радиозондовым данным. Духов Е.В., Хохлова А.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2025. Вып. 193. С. 173–181.

Климатические условия рассеяния примеси включают в себя характеристики температурно-ветрового режима и параметры устойчивости атмосферы в пограничном слое. Эти характеристики должны быть определены в точке с заданными географическими координатами на требуемых высотах. В случае отсутствия близких станций, для получения этих данных может быть использована комбинация данных станций, расположенных в пределах радиуса корреляции метеозадающих элементов. В статье приведено описание программных средств расчёта характеристик температурно-ветрового режима пограничного слоя атмосферы в точке с заданными географическими координатами по радиозондовым данным, имеющимся в архивах ВНИИГМИ-МЦД. Основное внимание уделено вопросу интерполяции срочных данных со станций в расчётную точку. Приведены иллюстрации работы алгоритмов.

Ключевые слова: пограничный слой, рассеяние, климатические условия, радиозондовые данные, программные средства.

Ил. 2. Библиогр. 8.

УДК 551.502.22

Краткие справочные сведения о составе массива АЭРОБАФР за 2018–2024 годы. Тимофеев А.А., Хохлова А.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2025. Вып. 193. С. 182–187.

Приведены обобщённые сведения о составе и содержании массива АЭРОБАФР и о динамике его прироста за 2018–2024 гг. Суммарный объём массива к началу 2025 г. составлял более 300 Гб. Увеличение ежегодного объёма происходит благодаря увеличению количества станций, выполняющих зондирование высокого вертикального разрешения. Приведены карты с расположением станций, данные которых имеются в массиве, с разбивкой по количеству и качеству зондирований.

Ключевые слова: Госфонд, радиозондовые данные, аэрологический массив АЭРОБАФР.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр. 9.

УДК 551.524.77

Демонстрационный массив характеристик тропопauзы по аэрологическим данным. Козлова Л.Ф. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2025. Вып. 193. С. 188–196.

В статье представлен демонстрационный массив статистических характеристик тропопauзы, полученный по данным 12 аэрологических станций ГСНК на территории РФ за период 1978–2024 гг. Массив содержит статистики температуры, высоты и давления на уровне нижней границы тропопauзы, рассчитанные на основе проконтролированных радиозондовых данных. Описаны структура массива, организация файлов и формат данных, а также методы классификации тропопauзы и контроля качества. Данный массив, размещённый на портале meteo.ru, предоставляет исследователям и практикам доступ к важной информации для анализа климатических изменений и динамики атмосферы. Планируется ежегодное обновление массива.

Ключевые слова: аэрологические наблюдения, тропопauза, климат, тренды, мониторинг климата, радиозондовые данные.

Табл. 2. Библиогр. 8.

УДК 004.6:551.5:004.9

Универсальный модуль для работы с данными формата ЯОД. Перетяцкий Л.О., Михеев Н.Ю. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2025. Вып. 193. С. 197–204.

Статья посвящена постановке задачи разработки универсального модуля для работы с данными формата ЯОД и первой его версии. Содержит описание первой версии универсального модуля и результатов его тестирования.

Ключевые слова: язык описания гидрометеорологических данных (ЯОД), программный модуль, синтаксический анализ, чтение данных.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр. 6.

УДК 004.91:551

Специфика формирования Базы правовых актов Росгидромета на основе СВБД КонсультантПлюс. Иванушкина И.П., Кашина И.И., Кузнецов А.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2025. Вып. 193. С. 205–212.

В статье рассматриваются вопросы реализации ряда технологических решений при переводе Базы правовых актов (БПА) Росгидромета на СВБД КонсультантПлюс на всех этапах формирования базы.

Ключевые слова: база правовых актов, гидрометеорология, мониторинг окружающей среды.

Ил. 5. Библиогр. 1.

УДК 04.89

Опыт создания промптов для генеративных чат-ботов в области гидрометеорологии. Вязилов Е.Д. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2025. Вып. 193. С. 213–235.

Целью статьи является повышение эффективности использования генеративных чат-ботов на основе больших языковых моделей за счёт правильного написания промптов. В исследовании проведена систематизация информации о создании промптов. Показано, как составлять промпты, даны рекомендации по их улучшению. Приведены примеры промптов в гидрометеорологии. Научившись правильно работать с промптами, можно повысить продуктивность работы сотрудников, сэкономить им время и найти идеи для новых задач, решаемых с помощью генеративных чат-ботов.

Ключевые слова: генеративные чат-боты, создание промптов, структура промпта, методика составления, примеры промптов, гидрометеорология.

Табл. 2. Библиогр. 13.

UDC 004(075.32)

Analysis of the functioning of the Unified State System of Information on the World Ocean in 2014–2024. Melnikov D.A., Alaeva O.V., Vyazilov E.D., Gonchukov L.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2025. No. 193. P. 7–23.

This article presents a comprehensive analysis of the functioning of the Unified State System of Information on the World Ocean (hereinafter referred to as ESIMO) during the period of 2014–2024. The key stages of the system development are considered. Special attention is paid to the assessment methodology and the criteria of the system's performance capability.

It is shown that, despite technical and organizational difficulties, ESIMO ensures a high level of data relevance through the introduction of a rating assessment system and unified reporting. Regional differences have been identified. The article highlights the need to modernize the infrastructure, unify regional nodes, and optimize user interfaces for further system development. ESIMO remains of key importance for ensuring Russia's maritime activities, requiring adaptation to modern technological challenges.

Keywords: Unified State System of Information on the World Ocean (ESIMO), monitoring of the World Ocean, information system, performance capability of the hardware and software complex, relevance of data, Zabbix, rating assessment, node for the Far Eastern Federal District.

Fig. 3. Tab. 3. Ref. 25.

UDC 551.465

Creation of a standard unified marine climate reference book. Vorontsov A.A., Bulygin A.M., Nefedova G.I., Batalkina S.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2025. No. 193. P. 24–34.

The article examines the continuity of reference publications on the hydrometeorological regime of the marine environment, presents the principles and methodology for creating a standard reference book: a unified marine climatic reference book in the Internet environment. The characteristics of the new reference book and design solutions for the implementation of this project are shown.

Keywords: marine environment, reference book, climate, regime, open sea, coastal zone.

Tab. 2. Ref. 11.

UDC 551.582.2

The influence of dangerous and unfavorable hydrometeorological weather phenomena on the socio-economic system: regional features. Vorobyeva L.N., Sanina A.T. Proceedings of RIHMI-WDC. 2025. No. 193. P. 35–46.

The influence of dangerous and unfavorable hydrometeorological weather phenomena on the socio-economic system of Russia is considered. Based on the analysis of the database information, regional features of the impact of dangerous hydrometeorological phenomena on the economy of the Russian Federation are presented using the example of individual subjects of Russia over the past 20 years.

Keywords: dangerous hydrometeorological phenomena, adverse weather conditions, impact intensity, socio-economic system.

Fig. 5. Tab. 1. Ref. 12.

UDC 551.510.42 (571.1)

Migration of the database from the Oracle DBMS to the PostgreSQL DBMS within the framework of import substitution. Dotsenko A.A., Nefedova G.I. Proceedings of RIHMI-WDC. 2025. No. 193. P. 47–61.

The article is devoted to the search and application of methods for database migration from the Oracle database management system to the PostgreSQL database management system within the framework of import substitution of software.

Keywords: database management system, database structure, database migration, Oracle, PostgreSQL, Ora2Pg.

Fig. 4. Ref. 3.

UDC 551.465

Analysis of changes in water temperature in coastal areas of non-Arctic seas of Russia in recent decades. Vorontsov A.A., Bataalkina S.A., Nefedova G.I. Proceedings of RIHMI-WDC. 2025. No. 193. P. 62–80.

The article examines the characteristics of water temperature in the coastal zone of Russian sectors of non-Arctic seas (Black, Azov, Caspian, Baltic). Estimates of temperature changes are given based on data from hydrometeorological stations for the available period. The trends of recent decades for water temperature characteristics in the coastal zone of non-Arctic seas are shown.

Keywords: Black Sea, Azov Sea, Caspian Sea, Baltic Sea, climate, hydrometeorological regime, water temperature, hydrometeorological station.

Fig. 8. Tab. 11. Ref. 6.

UDC 551.465

The wind speed characteristics in coastal areas of the Black Sea in recent decades. Vorontsov A.A., Fedotovskiy F.S., Bataalkina S.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2025. No. 193. P. 81–88.

The article considers the characteristics of wind speed in the coastal zone of the Russian sector of the Black Sea. Estimates of changes in the wind regime according to hydrometeorological stations data for the entire available period are given. The trends of recent decades for the characteristics of wind speed in the coastal zone of the Black Sea are shown.

Keywords: Black Sea, wind speed, climate, regime, hydrometeorological station.

Fig. 4. Tab. 9. Ref. 6.

UDC 551.465.7

On the development of the warm and cold phases of the El Niño-Southern Oscillation in 2023–2025. Viazilova N.A., Viazilov A.E. Proceedings of RIHMI-WDC. 2025. No. 193. P. 89–100.

The paper analyzes the development of climate system anomalies in the equatorial region of the Indian and Pacific Oceans in the period from spring 2023 to March 2025. The most important feature of 2023 is not only the development of the intense canonical El Niño in the Pacific Ocean in the autumn and subsequent winter months, but also the intense positive phase of the dipole phenomenon in the Indian Ocean region in the summer and autumn months. A feature of the development of climate anomalies in 2024 is the low intensity of negative SST anomalies in the equatorial region of the Pacific Ocean and the short duration of significant values of the oceanic index, which indicates the development of a weak and short cold phase of ENSO. The study is based on NOAA Extended SST V5 and Arkin-Xie Precipitation STD (CMAP) data sets and NCEP/NCAR reanalysis.

Keywords: El Niño, La Niña, Indian Dipole phenomenon.

Fig. 5. Ref. 9.

UDC 551.571.7

Average characteristics and trends of variability of the precipitable water amount in the troposphere according to radiosonde data from Russian stations. Khokhlova A.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2025. No. 193. P. 101–108.

The spatial distribution of average values and trends in the variability of the precipitable water amount (column integrated water vapor) in the troposphere in the layer from the earth's surface to the 400-hPa level is analyzed. The analysis uses long-term radiosonde data from 118 Russian aerological stations for the period 1979–2024. According to the results obtained, there is a slight decrease in the precipitable water in the troposphere in most of Russia. The exceptions are the west of the European part, the southern part of eastern Siberia and the coast of the Arctic and Pacific Oceans, where the amount of precipitable water is increasing.

Keywords: climate, troposphere, radiosonde measurements, precipitable water amount.

Fig. 4. Ref. 10.

UDC 551.465.7

On cyclonic activity in the European territory of Russia based on NCEP-DOE reanalysis data. Viazilova N.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2025. No. 193. P. 109–119.

The article presents a study of the distribution of the integral number of cyclone centers identified in European Russia (ER) by the regions of genesis of the trajectories of cyclones that entered ER during the study period from October 1999 to September 2024.

The cyclone centers distribution is presented for the winter and summer seasons of the year according to atmospheric pressure gradations, as well as maximum wind speed.

Particular attention in the work is given to the analysis of the number of extreme cyclones, i.e. deep cyclones with atmospheric pressure of 970 hPa and less and storm cyclones with wind speed of 17.2 m/s and more.

The cyclone trajectories are calculated by automated method based on surface pressure data from the NCAR/NCEP-DOE (USA) reanalysis-2.

Keywords: cyclone centers, deep cyclones, storm cyclones, cyclone trajectories, regions of cyclone genesis.

Fig. 3. Tab. 2. Ref. 8.

UDC 551.524

Homogenization of mean monthly relative air humidity data from meteorological stations of Russia. Finaev A.F., Razuvaev V.N. Proceedings of RIHMI-WDC. 2025. No. 193. P. 120–132.

The article describes results of homogenization of mean monthly relative air humidity (RAH) data for 521 stations in Russia for the period 1966–2023 using RHtests package. Results of a comparison of homogeneous and heterogeneous data are presented. The maps of RAH distribution over the territory of Russia and the differences in the number of irregularities of stations records are represented. Differences in trends of heterogeneous and homogeneous RAH data series over the period under study are revealed.

Keywords: climate, meteorology, air humidity, homogenization, homogeneous data series.

Fig. 7. Tab. 5. Ref. 14.

UDC 551.576.32(470+571)

Cloud types monitoring in Russia. Korshunova N.N., Davletshin S.G., Trofimenko L.T. Proceedings of RIHMI-WDC. 2025. No. 193. P. 133–147.

The article presents the results of cloud types monitoring in Russia in 2024. The study of cloud types change and cloud types monitoring is an important problem, since the form of clouds to some extent can characterize the state of the atmosphere. The article considered 11 main cloud forms, which are divided into clouds of upper, middle and lower levels. The analysis was performed using station data and series of average values for 9 quasi-homogeneous climatic regions.

The conducted study revealed a noticeable decrease in upper-level clouds Ci and Cs in recent years in the north of the country and for Russia as a whole. In all quasi-homogeneous areas, a decrease in frequency of altostratus clouds and a significant increase in stratocumulus clouds are observed in winter and summer. The frequency of cumulonimbus clouds (Cb) increases in most quasi-homogeneous regions not only in summer, during the period of maximum development of convective processes, but also in winter. The obtained results can be used in the cloud monitoring subsystem, as well as for other research and applied purposes.

Keywords: cloud monitoring, cloud form, cirrus clouds, alto-cumulus clouds, stratocumulus clouds, cumulonimbus clouds.

Fig. 9. Tab. 2. Ref. 15.

UDC 551.501.777:551.583

Study of maximum precipitation intensity in Russia based on pluviograph data. Shvets N.V., Korshunova N.N. Proceedings of RIHMI-WDC. 2025. No. 193. P. 148–158.

Maximum precipitation intensity for different time intervals on the territory of the Russian Federation was studied based on pluviograph data for the period 1984–2023; the data set was presented in the State Data Fund of the RIHMI-WDC, using software developed for this purpose. Some features of precipitation intensity spatial distribution and the changes of intensity during prolonged rains in different regions of the country were revealed. A drastic decrease in pluviograph observation data in recent years does not allow drawing unambiguous conclusions about the causes of variability in precipitation intensity.

Keywords: pluviograph data, maximum precipitation intensity, spatial distribution, prolonged rains.

Fig. 4. Tab. 3. Ref. 12.

UDC 551.501.771

Analyzing the change in relative air humidity over the Arctic area of Russia in the period 1966–2024. Kuznetsova V.N., Shvets N.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2025. No. 193. P. 159–172.

The article presents the results of calculating the climatic change in relative air humidity over Arctic Russia in the period 1966–2024. Air humidity trends on the territory in question are considered. The regions with a trend of the air humidity growth for the decades under study and the regions characterized by air humidity decrease are determined. Spatial and seasonal inhomogeneity in relative air humidity changes in Arctic Russia is shown.

Keywords: climate, linear trend, relative air humidity, climatic change, Arctic Russia.

Fig. 6. Tab. 1. Ref. 17.

UDC 551.554

A software package for determining the climatic conditions of dispersion in the atmospheric boundary layer in a given location based on radiosonde data. Dukhov E.V., Khokhlova A.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2025. No. 193. P. 173–181.

The climatic conditions of atmospheric dispersion include the characteristics of the temperature and wind regime and the parameters of atmospheric stability in the boundary layer. These characteristics should be determined at a given location with specified geographical coordinates at the required heights. In the absence of nearby stations, a combination of data from stations located within the radius of meteorological elements correlation can be used to obtain these data. The article describes software tools for calculating the characteristics of the temperature and wind regime of the atmospheric boundary layer at a given location with specified geographical coordinates based on radiosonde data available in the RIHMI-WDC aerological archives. The main attention is paid to the development of interpolation algorithms of current data from stations to the required point. The functioning of the algorithms is illustrated.

Keywords: boundary layer, dispersion, climatic conditions, upper-air data, software tools.

Fig. 2. Ref. 8.

UDC 551.502.22

Brief background information on the composition of the AEROBUFR data archive for 2018–2024. Timofeev A.A., Khokhlova A.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2025. No. 193. P. 182–187.

The article provides generalized information on the composition and content of the AEROBUFR data archive and on the dynamics of its growth in 2018–2024. By the beginning of 2025, the total volume of the data archive was more than 300 GB. The increase in annual volume is due to the growing number of stations performing high vertical resolution sounding. Maps with the location of stations whose data are available in the archive are shown. The maps show stations with different quantity and quality of sounding.

Keywords: State Data Fund, upper air data, AEROBUFR data archive.

Fig. 3. Tab. 1. Ref. 9.

UDC 551.524.77

Demonstration array of tropopause characteristics based on aerological data. Kozlova L.F. Proceedings of RIHMI-WDC. 2025. No. 193. P. 188–196.

This article presents a demonstration dataset of tropopause statistical characteristics, which is derived from data of 12 aerological stations of the Global Observing System (GOS) on the territory of the Russian Federation for the period 1978–2024. The dataset includes statistics for temperature, altitude, and pressure at the lower boundary of the tropopause. The statistics are calculated based on quality-controlled radiosonde data. The structure of the dataset, file organization, and data format are described, along with methods for tropopause classification and quality control. This dataset, hosted on the meteo.ru portal, provides researchers and practitioners with access to crucial information for analyzing climate change and atmospheric dynamics. Annual updates of the dataset are planned.

Keywords: aerological observations, tropopause, climate, trends, climate monitoring, radiosonde data.

Tab. 2. Ref. 8.

UDC 004.6:551.5:004.9

A universal module for working with data in DDL format. Peretyatko L.O., Mikheev N.Yu. Proceedings of RIHMI-WDC. 2025. No. 193. P. 197–204.

The article is devoted to the task of developing a universal module for working with data in the DDL format and its first version. It contains a description of the first version of the universal module and the results of its testing.

Keywords: hydrometeorological data description language (DDL), software module, syntactic analysis, data reading.

Fig. 3. Tab. 1. Ref. 6.

UDC 004.91:551

Specific features of forming the Legal Acts Database of Roshydromet based on ConsultantPlus DBSS. Ivanushkina I.P., Kashina I.I., Kuznetsov A.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2025. No. 193. P. 205–212.

The article discusses the implementation of a number of technological solutions for the transfer of the Legal Acts Database (LAD) of Roshydromet to the Consultant-Plus Database Support System (DBSS) at all stages of database formation.

Keywords: legal acts database, hydrometeorology, environmental monitoring.

Fig. 5. Ref. 1.

UDC 04.89

The experience in creating prompts for generative chatbots in hydrometeorology. Iazilov E. D. Proceedings of RIHMI-WDC. 2025. No. 193. P. 213–235.

The purpose of this article is to improve the efficiency of generative chatbots based on large language models through the correct writing of prompts. This study systematizes information on prompt creation. It demonstrates how to compose prompts and provides recommendations for their improvement. Examples of prompts in hydrometeorology are provided. Mastering the correct use of prompts can improve employee productivity, save time, and generate ideas for the new tasks solved with the help of generative chatbots.

Keywords: generative chatbots, prompt creation, prompt structure, composition methodology, prompt examples, hydrometeorology.

Tab. 2. Ref. 13.