

**МАТЕРИАЛЫ III МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«АВИАЦИОННАЯ И СПУТНИКОВАЯ
МЕТЕОРОЛОГИЯ», ПОСВЯЩЕННОЙ
95-ЛЕТИЮ ОБРАЗОВАНИЯ РГГМУ**

**Санкт-Петербург,
19–20 марта 2025 г.**

Санкт-Петербург
Издательско-полиграфическая ассоциация
высших учебных заведений
2025

УДК 551.5
ББК 26.23
М34

Редколлегия:

Анискина О. Г., к.ф.-м.н., доцент

Волобуева О. В., к.г.н., доцент

Дробжева Я. В., д.ф.-м.н.

Ермакова Т. С., к.ф.-м.н., доцент

Материалы III Международной научно-практической конференции «Авиационная и спутниковая метеорология», посвященной 95-летию образования РГГМУ. Санкт-Петербург, 19–20 сентября 2025 г. – СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2025. – 370 с.

В издании представлены материалы докладов участников конференции по направлениям научных исследований в области математического моделирования окружающей среды, анализа и прогноза атмосферных процессов разных пространственно-временных масштабов, современных методов наблюдений и системы обработки гидрометеорологических данных, фундаментальных и прикладных проблем океанологии и гидрологии. В конференции участвовали учёные и студенты научноисследовательских организаций и учреждений Российской академии наук, Росгидромета, Минобрнауки России, а также учёные Белоруссии, Узбекистана. В рамках конференции работали две студенческие секции.

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

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ ВЫХОДЯТ В РЕДАКЦИИ АВТОРОВ

ISBN 978-5-91155-445-3

© Коллектив авторов, 2025
© Издательско-полиграфическая
ассоциация высших учебных
заведений, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Переведенцев Ю.П., Мирсаева Н.А., Гурьянов В.В., Николаев А.А. ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА	8
---	---

СЕКЦИЯ 1 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Кулижская П.В. Метод прогнозирования тумана с использованием нейронных сетей и его динамическая визуализация на основе FASTAPI	11
Бухарев А.А., Егоров К.Л. Связь между численными значениями параметров моделей приводного слоя атмосферы в условиях динамически гладкой поверхности	16
Булгаков К.Ю. О возможности описания коэффициента сопротивления морской поверхности в условиях динамически гладкой морской поверхности с помощью параметра шероховатости	19
Ткаченко М.А., Розанов Е.В. Моделирование влияния супервулканического извержения на климатическую систему в современных и будущих условиях	21
Анискина О.Г., Тюриков И.А. Моделирование опасных конвективных явлений	26
Арзаманов Д.Н., Моисеева Н.О., Мартынов В.Э., Лебедев А.Б. Применение технологий на основе искусственного интеллекта при анализе метеорологических условий и оценки их влияния на безопасность полетов	28
Дорофеев В.В., Голунов А.С., Черепанов Д.В., Панарин А.А. Прогнозирование полетной видимости с использованием нейронных сетей	34
Озерова Н.А. Влияние эффекта городского острова тепла на метеорологические характеристики города в различные сезоны года	36
Прокопенко Д.Н., Рыбакова Т.К., Абрамов В.М. Генная инженерия и искусственный интеллект в гидрологии: создание искусственных бактерий для очистки водоемов	44
Шишкина Т.Р., Анискина О.Г. Моделирование процессов градообразования	48
Федотова Г.Д., Торопова М.Л. Разработка программы постпроцессинга результатов моделирования конвективного облака	50

СЕКЦИЯ 2 АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ РАЗНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ МАСШТАБОВ

Афанасьев И.С., Хинтуба Л.В., Эмба Я.А., Закиян Р.Г. Изменение ГТК на территории г. Сухум и г. Ставрополь и его влияние на агроклиматические условия региона	54
Рябова С.А. Анализ геомагнитных вариаций перед холодным атмосферным фронтом второго рода, который наблюдался над Московским регионом 21 ноября 2024г.	56

Акселевич В.И., Мазуров Г.И. Влияние извержения вулканов на полеты самолетов и вертолетов	58
Закусилов В.П., Буи Т.Д. Особенности температурного режима приземного слоя атмосферы полуострова Индокитай	63
Дорофеев В.В., Степанов А.В., Подгузов М.Ю. Влияние физико – географических условий на суточный ход температуры воздуха в приземном слое атмосферы	68
Солоненко С.Е., Молчанов М.С., Кашин С.В., Безгрешнов А.М., Ильющенкова И.А. Метеорологические условия, определяющие существование прибрежных полыней залива Прюдс	71
Михайловский Ю.П., Синькевич А.А., Торопова М.Л., Куров А.Б., Тарабукин И.А., Кашлева Л.В. Динамика развития грозоградовых процессов в северо-западном регионе России	73
Лобанов В.А., Нзамбимана Энок, Аль-Сабахи Джафар, Айа Кристиан, Ясер Аль Меклафи Анализ климатических процессов разных пространственно-временных масштабов	78
Вдовенко А.И., Лобанов В.А. Пространственные закономерности современных изменений температуры июля на территории Узбекистана	82
Абанников В.Н., Ятченко А.С. Анализ режима «косых дождей» в Мурманске	87
Ёжикова М.А., Ромашенко Д.Д., Смышляев С.П. Изменчивость метана в полярных широтах по данным наземных инструментальных измерений	90
Исабекова Ж.К., Васюкова О.В., Иванова И.А., Топтунова О.Н. Анализ условий формирования температурного режима летнего сезона 2023 г. в Казахстане	96
Симакина Т.Е., Крюкова С.В. Инверсии пограничного слоя в Санкт-Петербурге	101
Александров В.Я., Капустин А.В., Харсов А.А. Циклоническая деятельность в районе антарктической станции Беллинсгаузен в 2023 - 2024 г.	103
Цыцорин Н.Д., Анискина О.Г., Нестерова А.О. Анализ методов оценки пожароопасности по погодным условиям для Пермского края	108
Нестерова А.О., Волобуева О.В., Цыцорин Н.Д. Анализ метеорологических условий для эффективного орнитологического мониторинга в авиации	113
Иванова И.А., Топтунова О.Н., Лаврова И.В., Иванов Д.С. Среднегодовой ход высоты нулевой изотермы в районе г. Санкт-Петербург	117
Алексеева Е.Г. Изменение температуры воздуха на европейской территории России	121
Винокурова Е.В., Жоховский А.Е. Анализ температурного режима Якутии	123
Дробжева Я.В., Федотов Т.М. Статистическая оценка эффективности прогнозирования Ар-индекса геомагнитной активности	127
Булгакова В.В. Исследование атмосферных явлений с использованием авиационных лабораторий	130
Малькова Е.В., Лаврова И.В. Условия образования туманов в российском секторе Арктики по данным береговых станций	133

СЕКЦИЯ 3
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ И СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Шейнов Р.А. Особенности технического обслуживания АМРК “МЕТЕОР-МЕТЕОЯЧЕЙКА”	136
Простакевич К.С., Абрамова А.Л., Голенев А.А., Сикарев И.А., Юрин И.В. Богданова П.В., Абрамов В.М. Геоинформационное обеспечение безопасности применения полуавтономных судов с внешним экипажем в условиях изменения климата	139
Кузьмин П.И., Пункевич Д.М., Служева М.И., Берников А.Д., Паймеров К.В., Потапова И.А. Современные методы мониторинга атмосферных и гидрологических процессов с помощью сенсоров и датчиков	142
Кузьменко П.Ю. Исследование облаков с помощью радиолокации и полуторамерной модели конвекции	148
Тюриков И.А., Анискина О.Г. Концепция учета эволюции конвективных облаков в радиолокационном наукастинге	153
Клецова В.А., Кузнецов А.Д. Методы восстановления вертикального профиля температуры. Оценка точности для Петрозаводска и Ростова-на-Дону	157
Расторгуев И.П., Денег И.З., Гончаров А.И. Мониторинг метеорологических условий полётов по спутниковым данным при устойчивой стратификации воздушных масс	161
Доронин А.П., Козлова Н.А., Петроченко В.М. Перспективы и основные направления работ в области модифицирования теплых волнистообразных облаков и туманов	165
Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Геккиева Ж.М., Синькевич А.А., Михайловский Ю.П. Алгоритм выделения зон нового роста градовых облаков для целей противорадовой защиты	168
Федосеева Н.В., Базарнова Е.П. Исследование изменчивости общего содержания атмосферного озона по спутниковым данным	172
Кутузова А.Э., Федосеева Н.В. Применение спутниковой съёмки при обнаружении природных пожаров	177
Восканян К.Л., Иванова Т.И., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С. Анализ изменчивости вертикальных профилей температуры в Якутии	182
Лебедев А.Б., Харченко М.А., Шишкин А.Д., Денисенко Г.К., Мамушкин П.П., Щербакова Ю.Е. Технология цифровизации гидрометеорологических наблюдений	187
Вернер А.Г., Хиневич О.С. Метеорологическое оборудование производства АО «НПП «РАДАР ММС»	192
Быков В.О. О новой схеме нефелометра для повышения точности классификации жидких и твёрдых осадков	196
Костюченко И.В., Данилович И.С. Региональные особенности формирования экстремальных скоростей ветра на территории Беларуси	200
Рогожкин В.В., Горынин В.И., Коленов Е.В., Воронов Н.В., Шеволдин А.В. Мировое признание (26 стран) турбоконденсации атмосферной влаги морей для обеспечения аридных стран питьевой водой	203

СТУДЕНЧЕСКАЯ СЕКЦИЯ 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Руסיнова В.К. Особенности пространственного распределения характеристик снежного покрова на европейской части России	206
Черкашин Д.М., Неробелов Г.М. Оценка влияния детализированной городской застройки мегаполиса Санкт-Петербург на метеорологические и химические величины по данным модели WRF-CHEM	211
Асыллова Д.Д., Мирсаева Н.А. Динамика изменения метеорологических параметров отопительного сезона на территории Удмуртской республики	215
Евграфова С.О., Ефимова Ю.В., Подгайский Э.В. Разработка образовательного симулятора для анализа синоптических условий формирования в Карелии редкого опасного явления погоды	218
Кочеткова Е.Д. Исследование возможности использования данных реанализа при восстановлении пропусков в рядах наблюдений за приземными концентрациями CO ₂ и CH ₄ в районе обсерватории Тикси	222
Ковригин Д.Д., Потапова И.А. Атмосферные загрязнители и их физико-экологические аспекты в Арктике	227
Швец П.А. Эль-Ниньо-Южное колебание 1982-1983 гг.: удаленные аномалии	232
Капарис Е.Ю., Волобуева О.В., Дробжева Я.В. Метеорологические условия при выпадении ледяных дождей в Центральном федеральном округе России	236
Никулина А.С., Ефимова Ю.В. Анализ успешности прогнозов температуры воздуха по моделям на северо-западе европейской территории России	240
Кукушкин Д.Д., Зорина Н.А., Яковлева Т.Ю. Причины учащения магнитных бурь. Полярное сияние и проблема солнечной активности	245
Калининченко А.А., Анискина О.Г. Исследование факторов, определяющих зарождение и эволюцию внетропических циклонов	248
Никольская С.Е. Исследование качества воздуха в г. Красноярске	254
Никитин М.А., Ефимова Ю.В. Анализ сильных ветров на северо-западе РФ	255
Бугук Г.М., Молчанов М.С., Чистяков И.А. Межгодовая изменчивость ледопродуктивности льдины мыса Дарнли (залив Прюдс)	260
Добровольский А.В., Восканян К.Л. Тренажер для визуализации данных автоматической станции	264
Жестянников И.В., Восканян К.Л. Изменчивость метеопараметров по данным автоматических дорожных станций	266
Щербакова Ю.Е., Анискина О.Г., Ефимова Ю.В. Анализ синоптической ситуации при прохождении полярного циклона над Шпицбергом и Норвежским морем	269
Кобыляцкий А.А., Топтунова О.Н., Иванова И.А. Оценка условий формирования гололедно-изморозевых отложений в Ленинградской области	272
Антонов Т.А., Топтунова О.Н., Иванова И.А. Идентификация складок тропопаузы	277
Фазылов Т.Н., Канухина А.Ю. Радиационные туманы в районе аэропорта Вологда	279

*Материалы III международной научно-практической конференции
«Авиационная и спутниковая метеорология»
19-20 марта 2025 г*

Клецова В.А., Анискина О.Г. Моделирование влияния урбанизации на температуру воздуха и тепловые потоки в условиях мегаполиса	283
Головки А.Г., Ермакова Т.С. Особенности поля приземного давления и волн холода над Евразией во время ВСП (расщепление)	387
Лумпова Н.С., Ермакова Т.С. Термодинамические зимние режимы полярной стратосферы в южном полушарии	293
Поночевная А.Р., Волобуева О.В. Синоптические факторы, приводящие к низкой видимости в районе аэродрома Петропавловск-Камчатский (Елизово)	297
Валиулова А.А., Канухина А.Ю. Условия образования низкой облачности в аэропорту города Вологда	302
Суслина Е.Я., Иванова И.А., Топтунова О.Н. Анализ условий возникновения сильных осадков в Испании осенью 2024 года	306
Волозина И.А., Войтенко У.В., Иванова И.А., Топтунова О.Н. Оценка изменения высоты тропопаузы на территории Российской Федерации	309
СТУДЕНЧЕСКАЯ СЕКЦИЯ 2	
<u>ПЕРВЫЕ ШАГИ В НАУКЕ</u>	
Ламанов П.Д. Характеристика холодных сезонов города Череповца Вологодской области	314
Айрапетова И.Г., Яковлева Т.Ю. Необходимость развития авиационной метеорологии как науки	318
Терентьев К.П., Ступишина О.М. Влияние метеоусловий на животных	322
Смагина О.С., Яковлева Т.Ю. Современные методы прогнозирования экстремальных погодных явлений в условиях изменения климата	326
Зоммер В.П., Волобуева О.В. Грозы как опасное явление для авиации	330
Колотова Т.В., Волобуева О.В. Анализ ранней грозы 3 апреля 2024 г. в Санкт-Петербурге	332
Воробьева Ю.А., Уварова Е.А., Яковлева Т.Ю. Реанализ метеорологических наблюдений в процессах образования и разрушения ледового покрова на озере Байкал	336
Воробьева Ю.А., Уварова Е.А., Яковлева Т.Ю. Математическое моделирование и ретроспективный анализ ледового покрова на озере Байкал	339
Сунгурова Т.Г., Волобуева О.В. Полярные циклоны и их влияние на полеты авиации в Арктическом регионе	344
Васильев И.В., Волобуева О.В. Анализ случаев формирования сдвига ветра в районе аэродрома Платов	347
Денисенко Г.К. Моделирование влияния внешней среды на точность стационарных термометров	351
Иванов М.И. Построение розы ветров	354
Грунина Е.О. Методы измерения параметров ветра	357
Сушицкая К., Ахунова А. Состав воздуха высоких слоёв атмосферы. Влияние человека	360
Комаристый М.С., Аминов Т.Р. Гидрометслужба в период Великой Отечественной войны	365
Василевская В.М. Основные этапы развития метеорологии в XVII-XXI веке	368

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА

Переведенцев Ю.П., Мирсаева Н.А., Гурьянов В.В., Николаев А.А.
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань
ypereved@kpfu.ru

Аннотация. Рассматриваются современные изменения основных климатических показателей на Земном шаре и более детально на территории России в последние десятилетия.

Ключевые слова. Изменения климата, тенденция, корреляция.

GLOBAL AND REGIONAL CHANGES IN MODERN CLIMATE

Perevedentsev Yu.P., Mirsaeva N.A., Guryanov V.V., Nikolaev A.A.
Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan

Annotation. Modern changes in the main climatic indicators on the globe and in more detail on the territory of Russia in recent decades are considered.

Keywords. Climate change, trend, correlation.

Проблема современных изменений климата и их влияния на человеческое общество выдвинулось в ряд первостепенно важных. Современное состояние этой проблемы и оценки будущих климатических изменений представлены в 6-м оценочном докладе МГЭИК (2021 г.) и 3-м оценочном докладе Росгидромета (2022 г.). Повышение глобальной приповерхностной температуры сопровождается быстрым ростом числе природных катастроф, в первую очередь вследствие гидрометеорологических аномалий. В качестве основной причины современных изменений климата рассматривается антропогенный фактор.

Вместе с тем, по мнению авторов [1], современная наука о климате еще не в состоянии дать однозначный ответ на вопрос: каковы главные причины современного изменения климата. Решение этой проблемы напрямую связано с накоплением качественных метеорологических наблюдений, их статистической обработкой и анализом, построением и развитием климатических моделей.

В настоящей статье рассматриваются изменения температуры воздуха (ТВ) и атмосферного давления у поверхности земного шара в период 1940–2023 гг. с использованием данных реанализа и более детально пространственно-временные изменения ТВ на территории России в период 1976–2023 гг. с привлечением данных из фонда ВНИИГМИ-МЦД о полях атмосферного давления, скорости ветра, суммарной солнечной радиации и общей облачности. Для оценки влияния атмосферной циркуляции на динамику климатических показателей на территории России использовались индексы атмосферной циркуляции.

Многолетние данные подвергались статистической обработке. Находились средние сезонные значения, средние квадратические отклонения (СКО), коэффициенты наклона линейного тренда (КНЛТ), коэффициенты корреляции (r) между метеовеличинами и индексами атмосферной циркуляции.

Кроме того, по данным о среднегодовой температуре (CRU) в период 1850–2021 гг. рассмотрены основные тенденции изменения ТВ, осредненные для Северного и Южного полушарий.

Полученные осредненные результаты для Северного (СП) и Южного полушарий (ЮП) свидетельствуют о том, что за последние 170 лет при общем весьма существенном, но достаточно неравномерном повышении среднегодовой температуры воздуха (СГТВ) имели место и периоды ее понижения. Так, в СП периоды похолодания наблюдались с 1875 по 1909 гг. и с 1946 по 1972 гг. С 1909 по 1943 гг. произошло потепление и СГТВ СП увеличивалась на $0,60^{\circ}\text{C}$ за 35 лет. С 1972 по 2021 гг. в период фазы активного потепления (51 год) величина повышения температуры составила $1,3^{\circ}\text{C}$. При этом во временном ходе температуры отчетливо проявляется 60-70-летнее колебание. Скорость повышения СГТВ (КНЛТ) в период 1850-2021 гг. составила $0,072^{\circ}\text{C}/10$ лет, летняя температура повышалась со скоростью $0,054^{\circ}\text{C}/10$ лет, а зимняя со скоростью $0,083^{\circ}\text{C}/10$ лет. Процесс современного потепления в ЮП начался на 7 лет раньше, чем в СП, однако скорость потепления в Северном полушарии в последние десятилетия вдвое выше, чем в ЮП. Так, в период 1970–2021 гг. значение КНЛТ в СП составило примерно $0,26^{\circ}\text{C}/10$ лет. В России скорость потепления вдвое выше и составляет порядка $0,5^{\circ}\text{C}/10$ лет. Следует отметить, что в различных географических районах Земли отмечаются как различные даты начала наступления активной фазы современного потепления по сезонам года, так и скорости потепления. В частности, в Казани, где метеонаблюдения ведутся с 1812 г., современное годовое потепление началось в 1946 г., летнее с 1980 г., а зимнее с 1968 г. и продолжается по настоящее время. При этом вклад глобальных процессов в локальные изменения температуры воздуха составляет в целом для года 63%, летнего периода 27% и зимнего 43% [2].

Для выявления пространственно-временных климатических изменений рассчитывались коэффициенты наклона линейного тренда по ТВ и давлению воздуха у поверхности земного шара в узлах регулярной сетки с пространственным разрешением $0,5^{\circ}\times 0,5^{\circ}$ реанализа ERA5 по годовым и сезонным значениям для 3-х периодов: 1940–1978 гг. (до начала современного потепления климата), 1979–2023 гг. (активная фаза потепления) и за весь период 1940–2023 гг. Наиболее существенные изменения по годовым данным в поле ТВ произошли при переходе от более раннего периода к более позднему в арктической зоне Северного полушария. Если в период 1940–1978 гг. территория севернее 60° с.ш. имела слабо положительные и отрицательные тренды ТВ, то в период 1979–2023 гг. вся эта зона подверглась значительному потеплению, особенно северная Евразия и прилегающие моря. Так, в районе Новой Земли КНЛТ ТВ достиг значения $1,2^{\circ}\text{C}/10$ лет. Заметные зоны похолодания на Земном шаре в этот период выявляются лишь южнее 60° ю.ш.

В целом отмеченные тенденции сохраняются и для переходных сезонов, при этом различия между 2-мя рассматриваемыми периодами становятся более контрастными.

В поле давления в период 1940–2023 гг. также происходят изменения. Отмечается рост давления практически на всей акватории Тихого океана (до $0,6$ гПа/10 лет) и ослабление падения давления в Арктической зоне и в Северной Евразии.

В результате комплексного анализа пространственно-временной изменчивости метеорологических полей на территории России в период 1976-2023 гг. можно сделать следующие выводы:

1. В рассматриваемый период практически на всей территории России в течение года происходит потепление климата за исключением южных районов Западной и Средней Сибири в зимний период. Значения КНЛТ температуры воздуха свидетельствуют о неоднородном характере потепления в регионах России в различные сезоны года: наибольшая скорость потепления во все сезоны отмечается на арктическом побережье (зимой до $1,3^{\circ}\text{C}/10$ лет), наименьшая на юге Западной Сибири летом ($0,1$ – $0,3^{\circ}\text{C}/10$ лет).

2. Влияние циркуляционных мод на термический режим России неоднородно как по знаку, так и по интенсивности. В зимний период осцилляции АО, NAO способствуют потеплению климата на территории ЕЧР и Западной Сибири, SCAND охлаждению, EA/WR понижает температуру в летний период.

3. В зимний период на континентальной территории России отмечается рост атмосферного давления со скоростью, достигающей 1,0 гПа/10 лет (п-ов Ямал) за исключением Камчатки, где давление падает. Летом отмечается рост приземного давления в центре ЕЧР (КНЛТ = 0,6 гПа/10 лет) и формирование обширной области падения давления на арктическом побережье Евразии и на большей части территории Сибири. В целом картина достаточно неустойчива.

4. Сезонные корреляционные связи между температурой воздуха и атмосферным давлением имеют неустойчивый характер на территории России. Зимой на обширной территории Сибири в условиях Азиатского максимума давления между этими показателями устанавливается тесная отрицательная связь ($r = -0,7$). Летом в центре ЕЧР, наоборот, корреляция между температурой и давлением положительная ($r = 0,6$).

5. Пространственно-временные изменения приходящей солнечной радиации зависят от состояния общей облачности. В местах роста количества облачности (КНЛТ > 0), потоки суммарной радиации ослабевают и, наоборот, усиливаются, где величина КНЛТ облаков отрицательна, что особенно четко проявляется как в зимний, так и в летний сезоны на территории ЕЧР, что способствует дополнительному потеплению климата.

6. Выявлено возрастание количества облаков зимой на территории России со скоростью до 1 балла/10 лет за исключением центральной и северной частей Восточной Сибири. Летом изменения количества облаков минимальны, их наибольшая убыль отмечается на юге ЕЧР и в Восточной Сибири. Отмечаются высокие значения отрицательные корреляция между общей облачностью и суммарной радиацией, достигающей в летний период значения -0,9 на севере ЕЧР и Западной Сибири, арктическом побережье.

7. В январе корреляция между температурой воздуха и количеством общей облачности на всей территории России положительная (максимум величина $r = 0,5 \div 0,6$ достигается на юго-востоке ЕЧР и юге Западной Сибири). В июле знак корреляции становится отрицательным (на юге ЕЧР и Восточной Сибири $r = -0,55$).

Эти выводы свидетельствуют о достаточно согласованном характере поведения метеорологических полей в условиях современного потепления климата, соответствуют физическим представлениям о природе этих изменений и подтверждаются результатами ранее выполненных исследований.

Список литературы

1. Монин А.С., Сонечкин Д.М. Колебания климата по данным наблюдений: тройной солнечный и другие циклы. – М.: Наука, 2005. – 191 с.
2. Переведенцев Ю.П., Мирсаева Н.А. Метеорология и климатология в Казанском университете: к 190-летию гидрометеорологической службы России // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. - 2024. - Т. 166. - Кн. 4. - С. 724–747.

СЕКЦИЯ 1

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТУМАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И ЕГО ДИНАМИЧЕСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НА ОСНОВЕ FASTAPI

Кулижская П.В.^{1,2}

¹ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт»,
Санкт-Петербург

²Северо-Западный филиал ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета», Санкт-Петербург
kulizhskaya.polina@yandex.ru

Аннотация. Современные вызовы в гидрометеорологии, включая прогнозирование экстремальных погодных явлений, требуют инновационных подходов. Особую значимость это имеет для авиации, поскольку она в большей степени, чем другие виды транспорта, зависит от метеорологических условий. Благодаря развитию технологий, таких как численные методы прогнозирования и алгоритмы глубокого обучения, удастся повышать точность прогнозов. Интеграция современных методов машинного обучения с веб-технологиями, например, FastAPI, создает новые перспективы для улучшения качества прогнозов и повышения уровня безопасности в авиации.

Ключевые слова. Туман, авиация, прогноз погоды, нейронные сети, глубокое обучение, визуализация данных.

FOG FORECASTING METHOD USING NEURAL NETWORKS AND ITS DYNAMIC VISUALIZATION BASED ON FASTAPI

Kulizhskaya P.V.^{1,2}

¹FSBE «Arctic and Antarctic Research Institute», St. Petersburg

²North Western Branch FSBE «Aviamettelecom of Roshydromet», St. Petersburg

Annotation. Modern challenges in hydrometeorology, including forecasting extreme weather events, require innovative approaches. This is especially important for aviation, since it is more dependent on meteorological conditions than other modes of transport. Thanks to the development of technologies such as numerical forecasting methods and deep learning algorithms, it is possible to improve the accuracy of forecasts. The integration of modern machine learning methods with web technologies, such as FastAPI, creates new prospects for improving the quality of forecasts and increasing the level of safety in aviation.

Keywords. Fog, aviation, weather forecast, neural networks, deep learning, data, data visualization.

Введение. Туман создает значительные трудности для всех видов транспорта, но особенно сильно влияет на авиацию, часто нарушая регулярность полетов. Для повышения точности прогнозов также важно учитывать особенности конкретного аэродрома, включая рельеф местности, климатические условия и другие факторы. Непрерывный мониторинг погоды и оперативное информирование экипажей позволяют снизить риски при выполнении полетов.

Туман представляет собой скопление продуктов конденсации (капель или кристаллов, или тех и других вместе), взвешенных в воздухе, непосредственно над

поверхностью земли [1, 2]. О тумане говорят, когда горизонтальная видимость составляет менее 1 км.

В оперативной работе синоптиков для повышения точности прогнозов погоды и тумана на аэродромах используются различные инструменты: метеорологические станции, радары, спутниковые данные и численные модели прогнозирования. Информация с этих источников анализируется специалистами метеорологических служб для формирования более точных прогнозов.

Современный технологический прогресс открывает возможности для разработки новых методов, включая применение алгоритмов глубокого обучения. Эти алгоритмы могут использовать исторические данные для обучения нейронных сетей, что имеет ряд преимуществ:

1. Анализ исторических данных помогает обнаружить закономерности, циклы и тенденции, что особенно полезно в областях, где прошлые данные служат надежным индикатором будущих событий, например, в метеорологии или финансовой аналитике.
2. Обучение на исторических данных позволяет модели учитывать предыдущие ситуации, что повышает точность и надежность прогнозов.
3. Анализ прошлых данных помогает выявить ошибки или необычные события, которые могут повлиять на прогнозы, что способствует улучшению качества данных.
4. Исторические данные позволяют модели изучить, как система реагирует на различные сценарии, что помогает лучше подготовиться к изменяющимся условиям.
5. Анализ прошлого опыта позволяет модели лучше адаптироваться к новым ситуациям, делая ее более универсальной и применимой в разных условиях.

В настоящее время использование нейронных сетей для прогнозирования погоды становится все более актуальным и обоснованным, так как это позволяет повысить точность и оперативность метеорологических прогнозов. Часто разработка моделей для метеорологического обеспечения основывается на многослойных нейронных сетях, которые состоят из множества нейронов, организованных в несколько уровней. Такие методы машинного обучения, основанные на нейронных сетях, называют глубоким обучением.

В данном исследовании рассматривается задача определения наличия тумана на аэродроме и классификации его типа с использованием двух алгоритмов машинного обучения:

1. логистической регрессии;
2. полносвязной многослойной нейронной сети с прямым и обратным распространением.

Цель данного исследования состоит в том, чтобы динамически отобразить результаты работы метода для его внедрения в оперативную практику.

Для внедрения метода в оперативную работу требуется динамическое отображение результатов в реальном времени. С этой целью применяется веб-фреймворк FastAPI вместе с ASGI-сервером Uvicorn. FastAPI отличается высокой производительностью и удобством интеграции с моделями машинного обучения. Такой подход обеспечивает возможность быстрого анализа данных и принятия решений на основе актуальной информации.

В течении 2,5 лет было проведено три больших эксперимента с разными наборами данных и с разной архитектурой нейронных сетей.

Первый эксперимент включал в себя только классификацию типов тумана. По итогу этого эксперимента получились неплохие результаты точности распознавания типа тумана, проведена была обработка данных и их фильтрация, более подробно об этом эксперименте можно прочитать в выпускной квалификационной работе (магистерской диссертации) [3].

Второй эксперимент включал в себя обучение уже двух нейронных сетей, данные были дополнены и обработаны методами, используемыми в первом эксперименте. Более подробно об этом эксперименте написано в статье [4]. Были решены некоторые проблемы, поставленные в первом эксперименте.

Третий эксперимент включал в себя обучение нейронных сетей на обновленных и дополненных исторических данных с аэродрома, архитектура нейронных сетей была откорректирована для повышения точности распознавания [5, 6].

Сейчас обе нейронные сети принимают на вход значения таких метеопараметров, как приземная скорость ветра (м/с), направление приземного ветра (м/с), общее количество облаков (октанты), количество облаков нижнего яруса (октанты), высота нижней границы общей облачности (м), высота нижней границы облаков нижнего яруса (м), температура воздуха (°С), температура точки росы (°С), давление (гПа), дефицит точки росы (°С), магнитный курс посадки ВПП.

Четвертый эксперимент, результаты которого описаны в данных тезисах, включает в себя создание веб-фреймворка для динамической визуализации работы метода. Через веб-интерфейс пользователь может вводить данные, которые затем передаются в модель для обработки. Полученные результаты, включая исходные параметры и итоговый прогноз, динамически выводятся на веб-странице.

Данные. Данные были предоставлены Северо-Западным филиалом ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» [7]. Данные представляют собой массив местных регулярных и специальных сводок из электронного журнала АВ-6 аэродрома Санкт-Петербург (Пулково), в которую входят такие метеорологические параметры, как: дата, скорость и порывы скорости приземного ветра (м/с), направление приземного ветра (градусы), видимость (м) в трех точках полосы, общая облачность (октанты), облачность нижнего яруса (октанты), высота нижней границы облаков (м), температура воздуха (°С), температура точки росы (°С), давление (гПа), метеорологическое явление, форма облаков, магнитный курс посадки. Период данных наблюдений, которые используются в данном исследовании, составляет с 2010 по 2023 год, где последний год использовался для контрольной проверки работы модели.

Описание выбора нейронной сети, её гиперпараметров, функций активации и условия её обучения представлены в выпускной квалификационной работе (магистерской диссертации) [3].

Динамическая визуализация работы метода. Для реализации метода в оперативной деятельности необходимо динамическое отображение результатов в режиме реального времени. С этой целью используется веб-фреймворк FastAPI в сочетании с ASGI-сервером Uvicorn. Этот проект представляет собой веб-приложение, построенное на базе FastAPI [8, 9], которое позволяет пользователю вводить метеорологические данные и получать прогноз наличия тумана и его типа. Приложение использует две предварительно обученные модели машинного обучения, которые загружаются при старте сервера.

В проекте используются две модели:

- Модель 1 («MyModel1»): Классифицирует прогноз наличия тумана.
- Модель 2 («MyModel2»): Классифицирует прогноз типа тумана.

Модели загружаются из предварительно обученных чекпоинтов с помощью «torch.load()» [8]. После загрузки модели переходят в режим оценки («model.eval()»), что отключает такие функции, как dropout, которые используются только во время обучения [8, 9]. Также загружаются параметры нормализации («mean» и «std») для каждой модели, которые используются для предварительной обработки входных данных перед передачей в модель.

Для рендеринга HTML-страницы используется шаблон, в котором (рис. 1):

1. Заголовки «Cache-Control», «Pragma» и «Expires» установлены так, чтобы браузер не кэшировал страницу, что гарантирует, что пользователь всегда получает актуальную версию.

2. Страница принимает данные из формы, предварительно обрабатывает их и передает в модели для классификации.

3. Результаты классификации возвращаются на страницу в виде HTML-ответа, где они отображаются пользователю.

В случае возникновения ошибки (например, при неправильном формате данных), пользователю возвращается страница с сообщением об ошибке. Это делается с помощью блока «try-except», который перехватывает исключения и возвращает их в виде сообщения об ошибке.

HTML-файл представляет собой интерфейс пользователя, который позволяет вводить данные и отображает результаты прогноза. Структура HTML-файла:

1. Форма ввода данных:

- Форма содержит поля для ввода различных метеорологических параметров, таких как направление ветра, скорость приземного ветра, температура воздуха, атмосферное давление и другие (рис. 1).

- Для некоторых полей (например, температуры) используется валидация с помощью регулярных выражений, чтобы убедиться, что пользователь вводит данные в правильном формате.

- Поля для ввода чисел ограничены по длине и диапазону значений, чтобы предотвратить ввод некорректных данных.

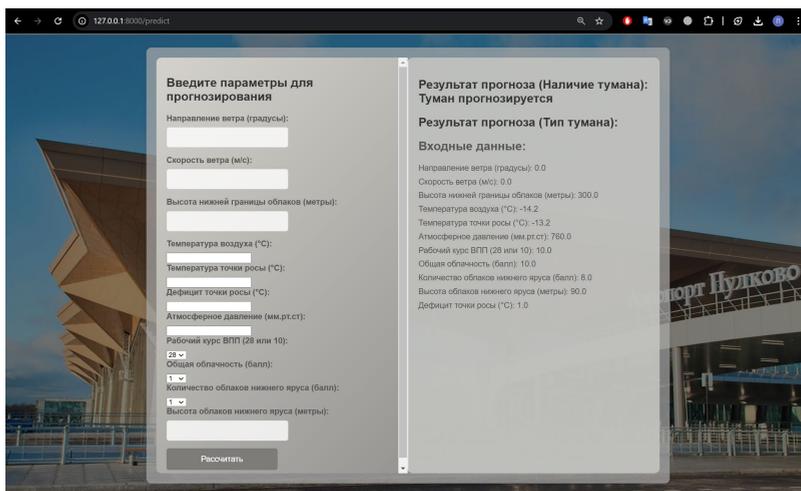


Рисунок 1 - HTML-страница с динамической визуализацией работы метода: форма ввода данных и секция вывода результатов

2. Секция вывода результатов (рис. 1):

- Если прогноз выполнен успешно, результаты отображаются в виде текста. Например, «Туман прогнозируется» или «Туман не прогнозируется».

- Если туман прогнозируется, также отображается тип тумана (например, PRFG, MIFG, FG, FZFG).

- Входные данные, которые пользователь ввел, также отображаются для проверки.

Страница браузера стилизована с использованием CSS. Фон страницы и контейнеров задан с помощью изображений, которые загружаются из статических файлов. Контейнеры для ввода данных и вывода результатов имеют полупрозрачный фон, что делает интерфейс более привлекательным. Перед отправкой формы все запятые в полях ввода заменяются на точки, чтобы данные корректно обрабатывались на сервере.

Выводы. В данных тезисах представлена динамическая визуализация работы метода классификации наличия тумана и его типа на аэродроме Санкт-Петербург (Пулково). Данный этап исследования демонстрирует то, как можно использовать FastAPI для создания веб-приложения, которое взаимодействует с моделями машинного обучения.

Проект включает в себя как backend-часть (обработка запросов, загрузка моделей, выполнение прогнозов), так и frontend-часть (форма ввода данных, отображение результатов).

Основные преимущества проекта:

1. FastAPI обеспечивает высокую скорость обработки запросов и простоту разработки.
2. Пользовательский интерфейс интуитивно понятен и предоставляет возможность ввода данных и получения прогноза в реальном времени.
3. Проект может быть легко расширен для добавления новых моделей или функциональности.

Основные проблемы:

1. Визуализация типа классифицируемого тумана при его наличии.
2. Развертывание сервиса в открытом доступе.

Данное исследование было положительно воспринято на совместном совещании №22 участников РГ-4 МСГ СНГ и РТ/EAST/ METG EASPG ICAO, которое проходило в Республике Казахстан осенью 2024 г.

Следующий этап исследования будет включать в себя исправление основных проблем. После этого станет возможен запуск процесса верификации работы метода в оперативных условиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 23-47-10003).

Список литературы

1. Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь. Том III (С - Я). Под ред. А.И. Бедряцкого. - СПб., Летний сад, 2009 - С. 132
2. В.И. Воробьев Синоптическая метеорология – Ленинград Гидрометеиздат, 1991. 616 с.
3. Кулижская П.В. Выпускная квалификационная работа (магистерская диссертация) на тему: «Разработка метода прогноза тумана на основе нейросетевых технологий» - РГГМУ, 2023 г.
4. Kulizhskaya, P. V. A Method for Predicting Fog and Identifying Its Type Based on Neural Networks for the Saint Petersburg (Pulkovo) Airfield / P. V. Kulizhskaya // Russian Meteorology and Hydrology. – 2024. – Vol. 49, No. 4. – P. 375-382. – DOI 10.3103/s1068373924040125. – EDN BVWAVB.
5. Кулижская, П. В. Разработка метода прогноза наличия тумана и классификация его типа с помощью алгоритмов глубокого обучения для аэродрома Санкт-Петербург (Пулково). Препроцессинг данных / П. В. Кулижская // Гидрометеорология и физика атмосферы: современные достижения и тенденции развития: Материалы II Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 20–22 марта

2024 года. – Санкт-Петербург: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2024. – С. 62-67. – EDN UKGMOQ.

6. Кулижская П.В. Решение задачи классификации наличия тумана и его типа с помощью методов машинного обучения для аэродрома Санкт-Петербург (Пулково) – Enviromis 2024: международная конференция по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды, Томск, 01–06 июля 2024 года. – Томск: Томский центр научно-технической информации, 2024. – с. 238-243 – ISBN 978-5-89702-497-1. – EDN CFZNX.

7. ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» Северо-Западный филиал – <https://szf.aviamettelecom.ru>

8. FastAPI - <https://fastapi.tiangolo.com/>

9. Uvicorn - <https://www.uvicorn.org/>

СВЯЗЬ МЕЖДУ ЧИСЛЕННЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ ПРИВОДНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКИ ГЛАДКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Бухарев А.А., Егоров К.Л.

Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург
a.buharev@rshu.ru

Аннотация. В турбулентном потоке над динамически гладкой поверхностью определяется связь между безразмерными значениями толщины вязкого слоя, турбулентного пути смешения и параметром шероховатости. Для решения задачи используется две модели. В одной из них вязкий и буферный слои являются самостоятельными частями всей области интегрирования. Вторая модель учитывает процессы в вязком слое введением параметра шероховатости.

Ключевые слова. Вязкий подслой, кинематическая вязкость, математическое моделирование, приводный слой океана, параметр шероховатости, профиль ветра.

THE RELATION BETWEEN NUMERICAL PARAMETERS OF BOUNDARY LAYER MODELS IN THE ATMOSPHERE UNDER DYNAMICALLY SMOOTH SURFACE CONDITIONS

Bukharev A.A., Egorov K.L.

Russian State Hydrometeorological University, 192007, Russia, Saint Petersburg

Abstract. In turbulent flow over a dynamically smooth water surface, the relationship between the dimensionless thickness values of the viscous layer, turbulent mixing length and the roughness parameter is determined. Two models are used to solve the problem. In one of them, the viscous and buffer layers are independent parts of the entire integration region. The second model takes into account the processes in the viscous layer by introducing the roughness parameter.

Keywords. Viscous sublayer, kinematic viscosity, mathematical modeling, ocean boundary layer, roughness parameter, wind profile.

Одним из факторов, значительно влияющих на формирование профиля ветра в приводном слое атмосферы над океаном, является влияние молекулярной вязкости среды, проявляющееся в вязком подслое и переходном буферном слое. Целью данной работы является определение оптимального набора констант и связи между безразмерной толщиной вязкого слоя и безразмерной шероховатостью динамически гладкой поверхности.

Динамические свойства морских поверхностей исследуются в моделях, одним из параметров которых, как правило, является параметр шероховатости морской поверхности, предложенный в гипотезе Чарнока [1]:

$$z_0 = m_g \frac{u_*^2}{g} \quad (1)$$

где m_g – безразмерная константа; u_* – динамическая скорость; g – ускорение свободного падения.

При анализе сопротивления жестких поверхностей под воздействием потока воздуха, выявлена зависимость параметра шероховатости от числа Рейнольдса шероховатости по соотношению [2]:

$$z_0 = h_s f(Re_s) \quad (2)$$

$$Re_s = h_s \frac{u_*}{\nu}$$

где h_s – высота реальных выступов шероховатости; Re_s – число Рейнольдса шероховатостей в случае гладкой поверхности; ν – кинематический коэффициент вязкости воздуха

При малых значениях $Re \ll 1$ параметр шероховатости поверхности не зависит от ее реальных выступов, что и соответствует условию аэродинамически гладкой поверхности. Тогда параметр шероховатости будет иметь вид

$$z_0 = m_v \frac{\nu}{u_*} \quad (3)$$

где m_v – безразмерная константа.

Эта константа для неподвижных жестких поверхностей должна быть постоянной величиной, исходя из своего вывода и смысла. Ее среднее значение равно 0,1 получено экспериментально в [3], с разбросом эмпирических значений от 0,09 до 0,11. В работе [3] значение $m_v = 0,13$ принимается как предельно возможное при постоянной Кармана равной 0,4. Однако, при выборе значения m_v из диапазона $0,09 < m_v < 0,13$, необходимо соблюдать численное соответствие с константой a_v в уравнении толщины вязкого подслоя $h_v = a_v \nu / u_*$, как будет показано ниже.

В настоящей работе рассматриваются и сравниваются 2 модели.

В модели 1 учитывается слой, в котором вертикальный поток импульса представлен в виде сумма вязкого напряжения τ_v , турбулентного напряжения Рейнольдса τ_t . Принимая постановку задачи, описанную в [4,5], с использованием модели Прандтля, можно записать основное уравнение и его решение:

$$\tau_v + \tau_t = const = u_*^2, \tau_v = \nu \frac{du}{dz}, \tau_t = k \frac{du}{dz}, k = \kappa^2 z^2 \frac{du}{dz}, l = l_0 + \kappa z \quad (4)$$

В случае, когда масштаб турбулентности на границе вязкого подслоя принимается равным 0, $l_0 = 0$:

$$u(h_m) = \ln(2h_m) - 1 + \kappa a_v \quad (5)$$

$$z_n = 2\kappa u_* \nu^{-1} z \quad (6)$$

$$u_n = \kappa \frac{u}{u_*} \quad (7)$$

где h_m – высота начиная с которой решение для двух моделей совпадает (принимается равным 10 м); z_n и u_n – безразмерные высота и скорость.

В модели 2 вязкость учитывается параметром шероховатости по уравнению (3) и решение имеет вид:

$$u(h_m) = \ln \left(\frac{h_m}{z_{0n}} \right) \quad (8)$$

$$z_{0n} = 2\kappa m_v \quad (9)$$

На высотах много больших толщины вязкого подслоя, решения для скоростей для обеих моделей должны быть равны. Выполнение такого условия и должно накладывать требование на соответствие между численными значениями константы m_v в модели 2 и константы a_v в модели 1.

Равенство соотношений (5) и (8) приводит к результату, отражающему соответствие между численными значениями экспериментальных констант:

$$m_v = \frac{1}{4\kappa} \cdot e^{(1-\kappa a_v)} \quad (10)$$

Таким образом из уравнения (10) можно составить диапазон оптимальных значений численных констант и в зависимости от задачи этот диапазон может включать в себя большее или меньшее количество делений. Так при условии, что a_v изменяется в диапазоне $5 < a_v < 7$ [6,7] и диапазона константы m_v из экспериментальных данных, можно составить численное соответствие.

В таблице 1 приведены результаты расчетов по формуле (10).

Таблица 1 - Сопоставление численных параметров двух моделей

a_v	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6,0
m_v	0,221	0,212	0,204	0,196	0,188	0,181	0,174	0,167	0,160	0,154
a_v	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	7,0
m_v	0,148	0,142	0,137	0,131	0,126	0,121	0,116	0,112	0,108	0,103

Исходя из таблицы 1, можно сделать вывод о том, что для целей численного моделирования процессов в атмосферном приземном слое с учётом вязкого подслоя целесообразно выбирать численное значение параметра a_v в диапазоне начиная со значений от 6,4 до 7,0, поскольку при использовании меньших значений величина параметра m_v не соответствует эмпирическим данным.

Список литературы

1. Charnock H. Wind stress on a water surface. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 1955, 81, 639–640, doi:10.1002/qj.49708135027
2. Китайгородский С.А. Физика взаимодействия атмосферы и океана. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 280 с.
3. Nikuradse J. 1933 Strömungsgesetze in rauhen Röhren // Tech. Rep. 361. Forsch. Arb. Ing. Wes., English transl. Lawsof flow in rough pipes, NACA TM 1292
4. Rotta J. Das in Wandnähe gültige Geschwindigkeitsgesetz turbulenter Strömungen // Ing. Arch. 1950. Vol. 18. P. 277–280. doi: 10.1007/BF00536743

5. Miles J. W. On the velocity profile for turbulent flow near a smooth wall // J. Aeronaut. Sci. 1957. Vol. 24. №9. P.704.
6. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. Часть 1. М.: Наука, 1965. 639 с.
7. Хинце И.О. Турбулентность. М.: Физматгиз, 1963. 680 с.

**О ВОЗМОЖНОСТИ ОПИСАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ
МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКИ ГЛАДКОЙ
МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ПАРАМЕТРА ШЕРОХОВАТОСТИ**

Булгаков К.Ю.

Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

bulgakov.kirill@gmail.com

Аннотация. В настоящей работе выполнена оценка проявления волновых потоков импульса при скоростях ветра, при которых волновая поверхность океана может считаться как динамически гладкая. Приводятся отдельные результаты расчётов и анализ вертикальных профилей скорости ветра и зависимости коэффициента трения от скорости ветра при различных условиях ветрового волнения.

Ключевые слова. Математическое моделирование, волновой пограничный слой, параметр шероховатости

**ON THE POSSIBILITY OF DESCRIBING THE DRAG COEFFICIENT OF THE SEA
SURFACE IN CONDITIONS OF A DYNAMICALLY SMOOTH SEA SURFACE
USING THE ROUGHNESS PARAMETER**

Bulgakov K. Y.

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow

Abstract. In this paper impact of wave momentum fluxes with values of wind velocity which lead to dynamically smooth ocean surface is estimated. Results of calculations and analysis of vertical profiles of wind speed and the dependence of the drag coefficient on wind velocity under various wave age.

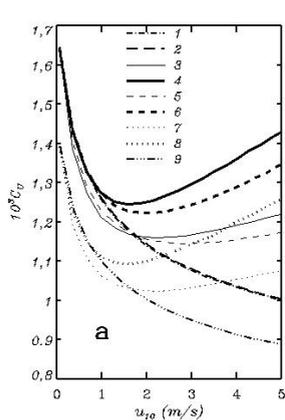
Keywords. Numerical modeling, wave boundary layer, roughness parameter.

Гравитационные поверхностные волны играют заметную роль на формирование профиля ветра над морской поверхностью и, как следствие, на динамическом воздействии воздушного на поверхность океана. Возможными элементами участия волнения в общем процессе взаимодействия являются два фактора: волновой поток импульса, отмеченный ещё в работах [1-3], проявлением которого является вклад энергии вертикальных колебания частиц поверхности в формирование кинетической энергии турбулентности, её потоков в приповерхностный слой атмосферы и прямое воздействие на коэффициент турбулентности.

Целью данной работы является анализ влияния вышеописанного потока на вертикальный профиль ветра и коэффициент сопротивления над динамически гладкой поверхностью. Их формирование в этом случае существенно зависит от молекулярной вязкости среды. С этой целью использовались две модели описанные в [4] 1) с введением непосредственного участия молекулярной вязкости в динамике формирования профиля скорости ветра в приповерхностном слое атмосферы при наличии волнения, в область интегрирования соответствующих уравнений кроме турбулентной области включен чисто вязкий слой; 2) с параметризацией вязкого подслоя с помощью параметра шероховатости.

Моделями были осуществлены расчеты с различными значениями скоростей ветра на верхней границе области интегрирования (10 метров) при различных возрастах волн.

На рис. 1 можно видеть, что применение в модели 2 «классическое» значение постоянной при известной формуле шероховатости динамически гладкой поверхности приводит к различиям в результатах полученных с моделью 1 (см кривые 1 и 9 на рис.1). Поэтому в дальнейшем использовалось значение постоянной при котором результаты экспериментов в условиях отсутствия волн совпадают друг с другом (кривые 1 и 2 на рис.1 полностью совпадают).



- 1 — модель с вязким подслоем без волн,
- 2 — модель с шероховатостью без волн (выбранная константа),
- 3 — модель с вязким подслоем и развитыми волнами,
- 4 — модель с вязким подслоем и молодыми волнами,
- 5 — модель с шероховатостью (выбранная константа) и развитыми волнами,
- 6 — модель с шероховатостью (выбранная константа) и молодыми волнами,
- 7 — модель с шероховатостью («классическое» значение константы) и развитыми волнами,
- 8 — модель с шероховатостью («классическое» значение константы) и молодыми волнами,
- 9 — модель с шероховатостью («классическое» значение константы) без волн.

Рисунок 1- Примеры зависимости коэффициента сопротивления от скорости ветра

Вышеуказанные кривые соответствуют нормальному, подтверждаемому различными данными наблюдений, уменьшению коэффициента сопротивления динамически гладкой поверхности с увеличением скорости ветра при отсутствии волнения. Влияние волновых потоков импульса для принятой в расчётах комбинации отражено на кривых 4 и 6 (3 и 5). Как видно, характер зависимости коэффициента сопротивления изменяется с переходом от стадии уменьшения при малых значениях скорости ветра (2-3 м/с) к последующему росту с наибольшей скоростью роста в условиях ранней стадии развития волн. Этот участок кривой с возрастанием коэффициента сопротивления характерен для полностью динамически шероховатых поверхностей, параметр шероховатости которых в условиях волнения моделируется формулой Чарнока (смотри, например, [1], рис. 4.18).

В представленной работе подстилающая поверхность априори принимается динамически гладкой. Кривая 6 построена по модели, в которой параметр шероховатости обратно пропорционален динамической скорости, и при отсутствии волнения сопротивление поверхности при условии постоянства величины m_v может только уменьшаться с увеличением скорости ветра. Кривая 4 соответствует модели с вязким и буферным слоями, и в ней вообще не используется величина, характеризующая как «параметр шероховатости». Наблюдаемый на этих кривых участок роста в зависимости коэффициента сопротивления обусловлен направленными к поверхности волновыми потоками импульса, постепенно усиливающимися с увеличением скорости ветра. Роль этого фактора возрастает с увеличением скорости ветра и, наконец, становится преобладающим.

Следует отметить также и расхождение между собой кривых 4 и 6 (а также 3 и 5)

по мере увеличения скорости ветра. Этот факт даёт основание предположить существование зависимости коэффициента от скорости ветра. Сравнение кривых 4 и 3 свидетельствует о зависимости коэффициента от стадии развития волнения.

Результаты исследований выполнены в рамках гос. задания (№ FMWE-2024-0028).

Список литературы

1. *Филлипс О.М.* Динамика верхнего слоя океана / Пер. с англ. М.: МИР, 1969. 267 с.
2. *Miles J.W.* A note on the interaction between surface waves and wind profiles // Journal of Fluid Mechanics. 1965. V. 22, № 4. P. 823–827.
3. *Китайгородский С.А.* Физика взаимодействия атмосферы и океана. Л.: Гидрометеониздат, 1970. 280 с.
4. *Егоров К.Л., Булгаков К.Ю.* Влияние ветровых волн на формирование скорости ветра в приводном слое атмосферы в условиях динамически гладкой поверхности. // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2023. Т.16, № 4. С. 18-31.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СУПЕРВУЛКАНИЧЕСКОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ НА КЛИМАТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ В СОВРЕМЕННЫХ И БУДУЩИХ УСЛОВИЯХ

Ткаченко М.А., Розанов Е.В.

Лаборатория изучения озонового слоя и верхней атмосферы, Санкт-Петербургский
государственный университет, Санкт-Петербург

usa4eva.m@mail.ru

Аннотация. Исследовано влияние мощного вулканического извержения на климатическую систему в различных фоновых условиях с использованием модели SOCOL-MPIOM. Показано, что более сильное после-вулканическое охлаждение наблюдается в более теплом климате конца XXI века. Временные масштабы восстановления озонового слоя превышают период релаксации температуры.

Ключевые слова. Вулканическое извержение, климатическое моделирование, вулканические аэрозоли, изменение климата, озоновый слой.

MODELING THE IMPACT OF A SUPERVOLCANIC ERUPTION ON THE CLIMATE SYSTEM UNDER PRESENT AND FUTURE CONDITIONS

Tkachenko M.A., Rozanov E.V.

Laboratory for the Study of the Ozone Layer and the Upper Atmosphere, St. Petersburg State
University, St. Petersburg

Annotation. The impact of a powerful volcanic eruption on the climate system under various background conditions was studied using the SOCOL-MPIOM model. The climatic effect intensifies in the warmer climate of the late 21st century, with a deeper temperature drop in future scenarios. The recovery timescales of the ozone layer exceed the period of temperature relaxation.

Keywords. Volcanic eruption, climate modeling, volcanic aerosols, climate change, ozone layer.

Мощные вулканические извержения являются одним из наиболее значимых природных факторов, влияющих на климатическую систему Земли, способных вызывать существенные изменения температуры, атмосферной циркуляции и химического состава воздуха [1]. Сульфатные аэрозоли, образующиеся в стратосфере в результате выброса SO₂ при крупных вулканических извержениях, оказывают значительное радиационное

воздействие на климатическую систему, отражая солнечную радиацию и приводя к глобальному похолоданию [2].

В историческом контексте наиболее известным примером такого воздействия является извержение вулкана Тамбора в 1815 году, после которого последовал "год без лета" (1816), характеризовавшийся аномально низкими температурами, неурожаями и голодом в Северной Америке и Европе [3]. В условиях современного изменения климата особую актуальность приобретает вопрос о том, как будет проявляться влияние подобных естественных возмущений на фоне повышенных концентраций парниковых газов и измененной циркуляции атмосферы в будущем.

В данном исследовании представлено моделирование влияния мощного вулканического извержения (подобного извержению вулкана Тамбора) на климатическую систему в различных фоновых условиях с использованием химико-климатической модели с интерактивным океаном SOCOL-MPIOM.

Для исследования были проведены серии экспериментов с использованием химико-климатической модели SOCOL-MPIOM, которая включает интерактивные химические процессы в атмосфере и позволяет исследовать как радиационные, так и химические эффекты вулканических аэрозолей. Были рассмотрены три временных периода:

- современные условия (2020)
- будущий климат по сценарию SSP3-70 (2080-е годы)
- будущий климат по сценарию SSP2-45 (2080-е годы)

Экспериментальный дизайн основан на методологии квазислучайной выборки, позволяющей оптимально исследовать пространство ключевых параметров модели при минимальном количестве численных экспериментов. Для каждого сценария были выполнены расчеты с использованием 7 членов ансамбля для современного периода и сценария SSP3-70, и 3 расчета для сценария SSP2-45.

Вулканическое возмущение задавалось в виде введения сульфатных аэрозолей в стратосферу с параметрами, соответствующими оценкам для извержения вулкана Тамбора ($\approx 100 \text{ Tg SO}_2$) [4]. Для каждого сценария проводились контрольные расчеты без вулканического воздействия.

Анализ временной динамики приземной температуры (рис. 1) показывает сложную картину глобального температурного отклика на вулканическое извержение в различных климатических сценариях. Во всех трех сценариях наблюдается начальное понижение температуры в первые 20-40 месяцев после извержения. В современных условиях (синяя линия) температурная аномалия достигает минимума около -0.8°C примерно через 40 месяцев, после чего следует период значительных колебаний с амплитудой до $0.4\text{-}0.5^\circ\text{C}$. В сценарии SSP3-70 (красная линия) наблюдается более умеренное начальное охлаждение до -0.4°C в первые 20-40 месяцев, с последующими колебаниями меньшей амплитуды. Сценарий SSP2-45 (зеленая линия) демонстрирует промежуточную реакцию с максимальным понижением температуры до -0.6°C и выраженными колебаниями в течение всего периода наблюдения. Заметно, что в современных условиях температурная изменчивость после начального охлаждения значительно выше, чем в будущих сценариях. Период полного восстановления температуры составляет примерно 5-6 лет для всех сценариев, хотя траектории восстановления существенно различаются. Полупрозрачные области вокруг линий отражают разброс значений между отдельными членами ансамбля, указывая на неопределенность модельных расчетов.

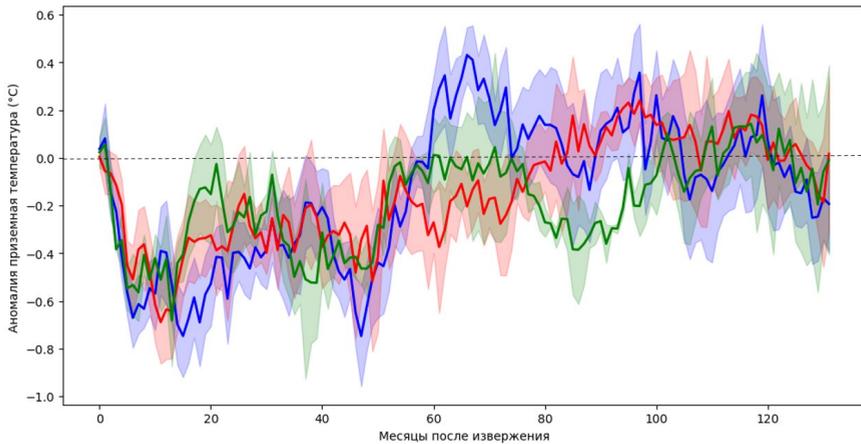


Рисунок 1 – Глобальный отклик приземной температуры на вулканическое извержение. Аномалия изменения средней температуры по ансамблю рассчитана относительно ансамбля контрольных экспериментов без вулканического воздействия.

Синяя линия – сценарий в современном климате с 2020 по 2030 год.

Зеленая линия – сценарий SSP2-45 с 2080 по 2090 годы.

Красная линия – сценарий SSP3-70 с 2080 по 2090 годы

Помимо тропосферного охлаждения, вулканические аэрозоли вызывают значительное нагревание стратосферы вследствие поглощения инфракрасного излучения. Анализ временной динамики температуры тропической стратосферы (рис. 2) показывает сложную реакцию на вулканическое извержение в различных климатических сценариях.

В начальный период (первые 20 месяцев) наблюдается потепление во всех трех сценариях, при этом в будущих сценариях SSP2-45 и SSP3-70 максимальные значения достигают $+2^{\circ}\text{C}$, а в современном климате потепление несколько слабее. Этот эффект связан с поглощением инфракрасного излучения вулканическими аэрозолями в стратосфере и усиливается в более теплом климате будущего.

После начального потепления происходит резкое похолодание, наиболее выраженное в сценарии SSP3-70 (красная линия), где температура снижается примерно до -5°C в период 30-40 месяцев после извержения. В современном климате (синяя линия) охлаждение менее интенсивное, примерно до -3°C , а сценарий SSP2-45 (зеленая линия) демонстрирует промежуточные значения около -4°C . Такое интенсивное похолодание может быть связано с изменением стратосферной циркуляции и радиационных свойств атмосферы после рассеивания начального аэрозольного облака.

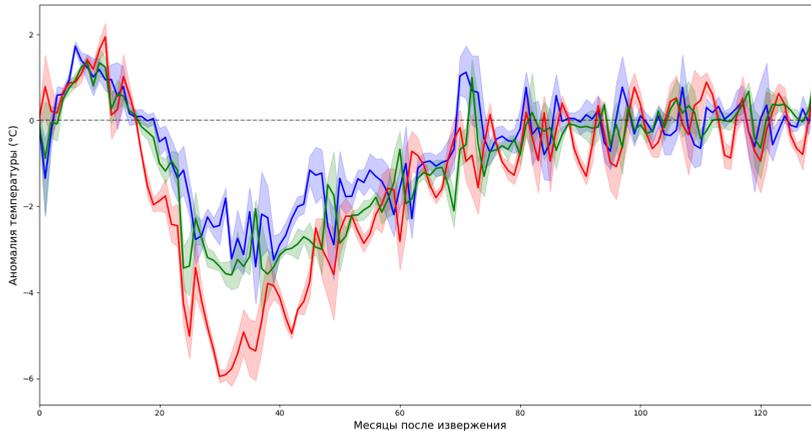


Рисунок 2 – Отклик тропической температуры стратосферы на вулканическое извержение. Аномалия изменения средней температуры по ансамблю рассчитана относительно ансамбля контрольных экспериментов без вулканического воздействия.

Синяя линия – сценарий в современном климате с 2020 по 2030 год.

Зеленая линия – сценарий SSP2-45 с 2080 по 2090 годы.

Красная линия – сценарий SSP3-70 с 2080 по 2090 годы

Период восстановления температуры стратосферы составляет 80-100 месяцев, что значительно превышает время релаксации приземной температуры (3-4 года). На этапе восстановления наблюдаются колебания с амплитудой до 1-1,5°C во всех сценариях, причем их интенсивность выше в будущих климатических условиях. Эти колебания указывают на нестабильность стратосферной циркуляции после вулканического воздействия.

Более глубокое похолодание стратосферы в будущих климатических сценариях, особенно в SSP3-70, согласуется с более интенсивным воздействием на озоновый слой в этих же сценариях (см. рис. 3). Усиление меридиональных градиентов температуры в стратосфере, вызванное неравномерным охлаждением, может приводить к изменению динамических процессов, включая интенсификацию циркумполярного вихря и модификацию распространения планетарных волн, что подтверждается анализом зональных ветров в данном исследовании.

Анализ процентного изменения аномалий глобального озона в нижней и средней стратосфере после вулканического извержения показал различную реакцию озонового слоя в зависимости от климатического сценария (рис.3).

В современном климате (2020-2030 гг.) максимальное сокращение озона достигает -8%, тогда как в будущих климатических сценариях SSP2-45 и SSP3-70 (2080-2090 гг.) наблюдается более значительное уменьшение содержания озона, достигающее -12% и -20% соответственно. Период восстановления озонового слоя составляет около 60 месяцев, после чего значения постепенно возвращаются к исходному уровню.

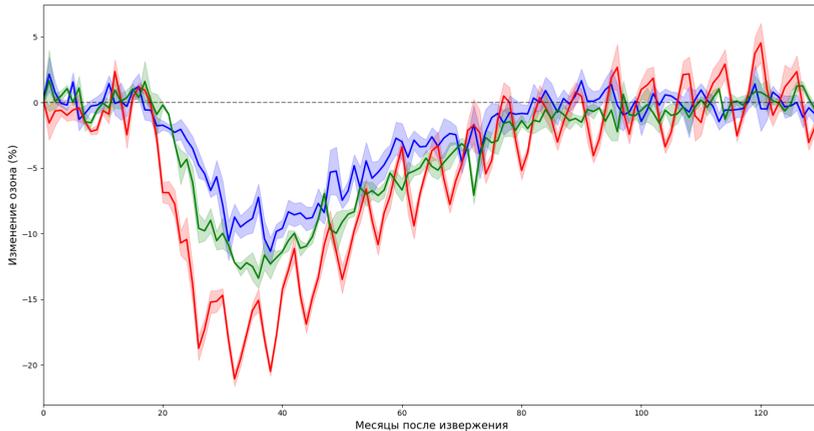


Рисунок 3 – Процентное изменение аномалий глобального озона для нижней и средней стратосферы. Синяя линия – сценарий в современном климате с 2020 по 2030 год. Зеленая линия – сценарий SSP2-45 с 2080 по 2090 годы. Красная линия – сценарий SSP3-70 с 2080 по 2090 годы

Важно отметить, что на фоне этих долгосрочных изменений наблюдается естественная внутригодовая изменчивость содержания стратосферного озона, которая в более теплом климате будущего достигает примерно 5% между зимним и летним сезонами. Эта сезонная вариабельность накладывается на вулканический сигнал, что особенно заметно в период восстановления озонового слоя (после 60 месяцев), когда амплитуда вулканического воздействия становится сопоставимой с естественными колебаниями. Результаты указывают на потенциальное усиление воздействия вулканических извержений на озоновый слой в будущих климатических условиях, особенно в сценарии с высокими выбросами парниковых газов (SSP3-70).

Помимо этого, реакция озонового слоя на вулканическое воздействие демонстрирует сложную пространственную структуру с выраженной широтной асимметрией. В высоких широтах наблюдается снижение содержания озона (например, до -8 ЕД в сценарии SSP2-45), тогда как в тропических широтах отмечается его увеличение (например, до +6 ЕД в том же сценарии).

Такое распределение изменений озона может быть связано с несколькими факторами:

- Гетерогенные химические реакции на поверхности вулканических аэрозолей, ускоряющие разрушение озона в полярных регионах,
- Изменение циркуляции стратосферы, влияющее на транспорт озона,
- Модификация фотохимических процессов образования и разрушения озона вследствие изменения температуры и проникновения солнечной радиации.

Временные масштабы восстановления озонового слоя (5-7 лет) существенно превышают период релаксации температуры (3-4 года), что указывает на долгосрочное воздействие вулканического форсинга на химический состав атмосферы. Это подчеркивает важность учета химической обратной связи при оценке климатических последствий мощных вулканических извержений.

Полученные результаты имеют важное значение для понимания взаимодействия естественных климатических возмущений с антропогенным изменением климата и могут быть использованы для совершенствования стратегий адаптации к климатическим рискам.

Работа выполнена при поддержке Санкт-Петербургского государственного университета в рамках исследовательского гранта 116234986.

Список литературы

1. *Robock A.* Volcanic eruptions and climate // *Reviews of Geophysics*. 2000. Vol. 38, № 2. P. 191-219.
2. *Timmreck C.* Modeling the climatic effects of large explosive volcanic eruptions // *WIREs Climate Change*. 2012. Vol. 3, № 6. P. 545-564.
3. *Raible C.C., Brönnimann S., Auchmann R., et al.* Tambora 1815 as a test case for high impact volcanic eruptions: Earth system effects // *WIREs Climate Change*. 2016. Vol. 7, № 4. P. 569-589.
4. *Abe M., Hajima T.* Relationship between responses in hydrological and terrestrial carbon cycles to the 1815 Tambora volcanic eruption in MIROC-ES2L // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2025. Vol. 130. P. e2024JD043009.
5. *Muthers S., Arfeuille F., Raible C., Rozanov E.* The impacts of volcanic aerosol on stratospheric ozone and the Northern Hemisphere polar vortex: separating radiative-dynamical changes from direct effects due to enhanced aerosol heterogeneous chemistry // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2015. Vol. 15, № 21. P. 11461-11476.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ КОНВЕКТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Анискина О.Г., Тюриков И.А.

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

Аннотация. В статье представлен анализ результатов моделирования конвективных процессов над территорией Белоруссии с помощью мезомасштабной численной модели WRF-ARW. Представлена оценка достоверности прогноза по данным радиолокационных измерений. Предложены возможные пути повышения качества прогноза.

Ключевые слова. Мезомасштабная модель, WRF-ARW, конвективные процессы.

MODELLING HAZARDOUS CONVECTIVE PHENOMENA

Aniskina O.G., Tyurikov I.A.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Abstract. The article presents an analysis of the results from modelling convective processes over the territory of Belarus using the WRF-ARW mesoscale numerical model. An assessment of the forecast accuracy based on radar measurement data is provided. Possible ways to improve forecast quality are proposed.

Keywords. Mesoscale model, WRF-ARW, convective processes.

Конвективные явления приводят к опасным метеорологическим явлениям и на современном уровне развития гидродинамического моделирования и вычислительной техники именно мезомасштабное гидродинамическое моделирование способно разработать прогноз возникновения и эволюции конвективных систем.

Целью данного исследования является оценка возможности воспроизвести конвективные процессы при помощи адаптированной к выбранному региону модели WRF-ARW версии 4.6 [1] за счёт увеличения разрешения и подбора конфигурации параметризаций физических подсеточных процессов. Численные эксперименты проводятся для территории Белоруссии, так как были доступны данные

радиолокационного зондирования, которые позволили провести верификацию результатов моделирования.

Модельная область состоит из трёх сеток. Первый домен (внешний) покрывает область 16-41° в.д. и 47-60° с.ш. и охватывает Европейскую часть России, Белоруссию и Восточную Европу. Третья вложенная сетка охватывает всю территорию Белоруссии и содержит 1561 x 841 узлов. Шаги сеток –9000, 3000 и 1000 м, соответственно. Проводились численные эксперименты с разной вертикальной толщиной модельной атмосферы, которая в разных экспериментах достигала 500 и 50 гПа, а также с разным разрешением по вертикали – от 34 до 99 уровней. Вертикальная сетка неравномерная и содержит наибольшее количество уровней в приземном слое атмосферы.

В качестве начальных условий и при постановке боковых граничных условий использовались результаты анализа и прогноза модели GFS с разрешением 0.25°. Граничные условия обновлялись каждые 6 часов. Прогноз рассчитывался на 24 часа. Проводились численные эксперименты для 6-8 августа 2023 года, когда на территории Белоруссии наблюдалась значительная конвективная деятельность.

Используются следующие параметризации: микрофизика – схема WSM3, коротко- и длинноволновая радиация – схема Dudhia и RRTM, пограничный слой атмосферы – схема университета Yonsei (YSU), приземный подслоя – схема Монина-Обухова, процессы в почве – схема Noah [1]. Проводились численные эксперименты с различными схемами параметризации конвекции: схемы Tiedtke (модифицированная и новая) на всех сетках и без параметризации конвекции на самой мелкой сетке.

Анализируя результаты моделирования, можно сделать вывод о том, что модель воспроизводит развитие интенсивной конвекции при всех рассмотренных конфигурациях. На рисунке 1 представлены результаты моделирования за два срока – начальная стадия (левая панель) развития конвективной системы, связанной с фронтальной зоной, и время максимального развития конвекции. Для удобного анализа представлены поля индекса CAPE (цветная заливка) и максимальная отражаемость (серые изолинии).

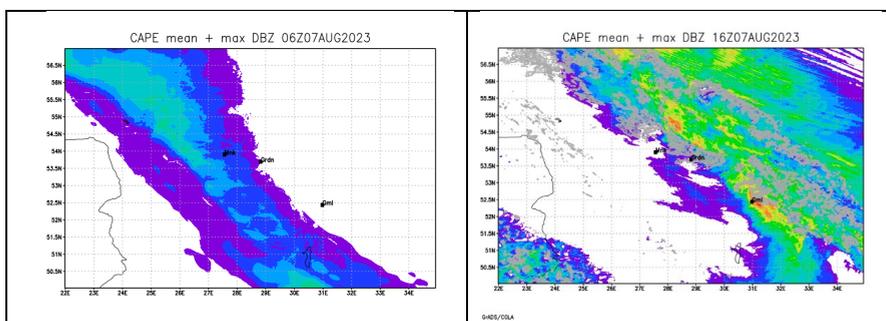


Рисунок 1 – Прогностические поля индекса CAPE (цветная заливка) и максимальной отражаемости (изолинии)

Модель успешно воспроизводит зоны интенсивной конвекции, которые совпадают с реальными или находятся на незначительном удалении. При этом модель занижает количество осадков.

Перспективы повышения качества моделирования могут связаны с лучшей конфигурацией параметризаций и с ассимиляцией данных наблюдений, в частности радиолокационных данных.

Список литературы

1. Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Zhiquan Liu Z. Barker D.M et al.A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4 – NCAR Technical Note NCAR/TN-556+STR. – Boulder, Colorado, USA: Nat. Center for Atmospheric Res., 2021 – 165 p. – doi: 10.5065/D68S4MVH.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ АНАЛИЗЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ОЦЕНКИ ИХ ВЛИЯНИЯ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛЕТОВ

Арзаманов Д.Н.¹, Моисеева Н.О.¹, Мартынов В.Э.¹, Лебедев А.Б.²

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А.Новикова», Санкт-Петербург

²Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
natali.ziadinova@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются возможности применения технологий на основе искусственного интеллекта для анализа метеорологических условий и их влияния на безопасность полетов в целях повышения эффективности и безопасности авиаперевозок. Автоматизация процессов обработки метеорологических данных, прогнозирования метеорологических условий и разработки рекомендаций экипажам воздушных судов в полете на основании внедрения систем искусственного интеллекта особенно актуально в условиях возрастающей сложности авиационных систем и увеличения объемов информации

Ключевые слова. Метеорологические условия, безопасность полетов, искусственный интеллект, комплексные системы поддержки принятия решений

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED TECHNOLOGIES IN ANALYSIS OF METEOROLOGICAL CONDITIONS AND THE ASSESSMENT OF THEIR IMPACT ON FLIGHT SAFETY

Arzamanov D.N.¹, Moiseeva N.O.¹, Martynov V.E.¹, Lebedev A.B.²

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation A.A. Novikov»,
Saint Petersburg

²Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

Abstract. The article considers the potential of applying artificial intelligence-based technologies for analyzing meteorological conditions and their impact on flight safety to enhance the efficiency and safety of air transportation. The automation of meteorological data processing, forecasting of weather conditions, and development of recommendations for aircraft crews during flights through the implementation of artificial intelligence systems is particularly relevant given the increasing complexity of aviation systems and the growing volume of information

Keywords. Meteorological conditions, flight safety, artificial intelligence, integrated decision support systems

Система метеорологического обеспечения международной аэронавигации тесно связана с аэронавигационной системой обеспечения полетов, организационная структура которой включает множество элементов. Аэронавигационная система, с одной стороны, может рассматриваться как отдельная (единая) система, представляющая собой комплекс мероприятий по организации, подготовке и выполнению полетов с учетом заданных основных требований к безопасным, точным, экономичным и регулярным воздушным перевозкам.

С другой стороны, система аэронавигации есть одна из составляющих более глобальной «системы воздушного транспорта», в которую входит целый ряд подсистем и элементов, таких как система организации воздушного движения, авиапредприятия, осуществляющие эксплуатацию воздушных судов (ВС), предприятия по обслуживанию авиационной техники, система аэропортовой деятельности, подготовки авиаперсонала, научно-исследовательские организации и учебные заведения.

В условиях развития внутреннего рынка авиаперевозок возрастает и роль метеорологического обеспечения полетов. При открытии новых маршрутов выполнения полетов наиболее актуальным становится исследование и применение комплексных алгоритмов обработки метеорологической информации (в том числе и с использованием искусственного интеллекта (ИИ)), с учетом климатических особенностей районов выполнения полетов.

Для успешного применения технологий на основе ИИ необходимо решить следующие задачи:

- выявить особенности применения метеорологической информации при организации воздушного движения;
- проанализировать специфику построения математических моделей обработки метеорологической информации для решения различных задач;
- определить перспективные методы и алгоритмы комплексной обработки и учета метеорологических параметров атмосферы.

Особое значение метеорологическое обеспечение полетов оказывает на систему организации воздушного движения. При планировании и управлении воздушным движением, а также при построении маршрутов воздушного движения учитывается, в том числе, климатическая, фактическая и прогностическая метеорологическая информация предполагаемого района выполнения полета для выявления наиболее оптимальных и эффективных вариантов выполнения воздушной перевозки.

При планировании и координации воздушного движения учитывается пропускная способность органов обслуживания воздушного движения (управления полетами). Планирование использования воздушного пространства различают на стратегическое (за два и более суток до дня использования воздушного пространства), предтактическое (осуществляется накануне) и тактическое (текущее, в процессе выполнения суточного плана, в случае корректировки условий полета отдельных воздушных судов).

Система метеорологического обеспечения полетов является одним из основных факторов, влияющих на авиационную систему по причине воздействия условий окружающей среды на воздушное судно, и оценивается с точки зрения влияния на вероятность отказов подсистем воздушного судна и потенциально возможных аварий. Однако построение полноценной математической модели, учитывающей все особенности алгоритмов обработки метеорологической информации и оптимального учета информации о физическом состоянии атмосферы, представляет собой сложную научную задачу. Этому есть несколько объяснений:

- происходит преобразование огромного объема данных из различных взаимосвязанных подсистем;
- в каждой подсистеме в качестве структурного элемента имеет место человеческий фактор, который принципиально не может быть описан математической моделью;
- при попытках описания работы системы без учета человеческого фактора оказывается, что данная система имеет огромные объемы информации, которые очень сложно учитывать в совокупности.

Важнейшим показателем, характеризующим качество метеорологического обеспечения полетов, является оправдываемость авиационных метеорологических прогнозов. Под оправдываемостью прогноза метеорологической величины понимают степень соответствия прогнозируемого интервала значений метеорологической величины фактически наблюдавшимся её значениям с установленным допуском. Согласно данным ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» оправдываемость прогнозов погоды по аэродромам, выпущенных АМЦ/АМСГ Росгидромета в 2023-2024 гг составила 94,5%. Особое значение оправдываемость метеорологических прогнозов приобретает при предтактическом и тактическом планировании использования воздушного пространства.

При разработке качественного метеорологического прогноза необходимо учитывать большой объем информации, при этом имеют место случаи, когда синоптик аэродромной метеослужбы не обладает достоверной информацией о распределении метеорологических параметров атмосферы, и прогноз составляется с «запасом», то есть, с намеренным отклонением итогового значения в прогнозе от истинной (предполагаемой) величины на некоторое число. Наилучшим способом повышения оправдываемости метеопрогнозов является применение комплексных алгоритмов обработки получаемой метеорологической информации.

Рассмотрим перспективные методы и алгоритмы комплексной обработки и учета метеорологических параметров атмосферы.

В настоящее время сформирован технический облик перспективной комплексной аэродромной мобильной метеорологической системы (КАММС) [1, с. 10] и сформулированы основные требования к ней. Применяемый метод комплексной обработки информации о метеопараметрах атмосферы в районе аэродрома включает в себя три последовательных этапа: определение перечня комплексируемых систем и устройств измерения метеопараметров атмосферы в районе аэродрома; синтез алгоритмов комплексной обработки метеоинформации о параметрах атмосферы в районе аэродрома; оценку качества синтезированных алгоритмов комплексной обработки метеоинформации о параметрах атмосферы в районе аэродрома.

Использование искусственного интеллекта для анализа метеорологических условий и их влияния на безопасность полетов открывает новые возможности для повышения эффективности и безопасности полётов авиации. Разработанные алгоритмы позволяют автоматизировать процессы обработки данных, прогнозирования и принятия решений, что особенно важно в условиях возрастающей сложности авиационных систем и увеличения объемов информации.

Системы с ИИ уже успешно используются и функционируют при анализе спутниковой метеорологической информации. Маска облачности является основой для построения большинства информационных продуктов, а также детектирования льда и снега. При обработке данных, поступаемых с КА Арктика-М, использование нейросетевого подхода, который кроме яркостных анализирует также текстурные признаки объекта, позволило получить маску облачности (рисунок 1), по точности сопоставимую с зарубежными аналогами [5].

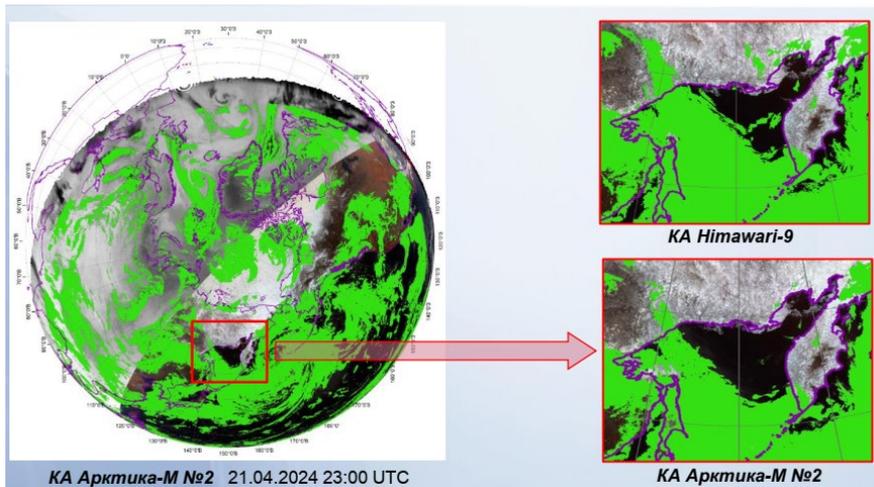


Рисунок 1 – Маска облачности, полученная с использованием нейросетевого подхода

Для определения типов облачности используется программный комплекс (рисунок 2). Ядром алгоритма является нейросетевой классификатор, использующий микро- и макрофизические параметры для верхней границы облачности, рассчитанные с использованием программного комплекса. Для обучения классификатора были сформированы наборы данных на основе экспертных знаний опытных специалистов-дешифровщиков спутниковой информации. По результатам этой работы получены обучающие выборки для летнего и зимнего времени года в широких климатических условиях [5].

Помимо анализа спутниковой информации, нейросетевые технологии успешно используются и для прогноза. Например, для прогноза осадков используется алгоритм, основанный на операторной нейронной сети. Модель по очереди прогнозирует перемещение полей осадков и изменение интенсивности с течением времени. Метод обладает более высокой точностью в сравнении с решениями на основе рекуррентных нейронных сетей и методов оптического потока.

Перспективными направлениями исследований в направлении внедрения систем ИИ в практику метеорологического обеспечения являются:

- Разработка более точных моделей машинного обучения для прогнозирования опасных метеорологических явлений.
- Интеграция ИИ в системы управления ВС для автоматической адаптации к изменяющимся метеорологическим условиям.
- Создание комплексных систем поддержки принятия решений для экипажей ВС и операторов беспилотных летательных аппаратов.

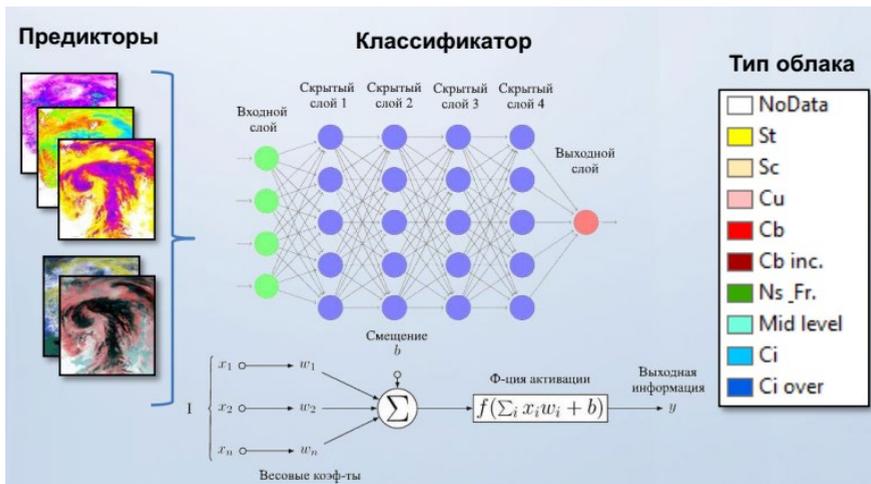


Рисунок 2 – Нейросетевой классификатор типа облачности

Машинное обучение (МОБ) является ключевым инструментом для анализа больших объемов метеорологических данных и прогнозирования опасных явлений погоды. В применении к метеорологическому обеспечению авиации, МОБ позволяет не только обрабатывать данные в реальном времени, но и выявлять сложные зависимости между метеорологическими параметрами и их влиянием на безопасность полетов.

Регрессионные модели используются для прогнозирования непрерывных метеорологических величин, таких как температура, давление, влажность и скорость ветра. Эти модели могут быть полезны для:

- Прогнозирования изменений температуры и давления: Линейная регрессия или более сложные методы, такие как метод опорных векторов (SVR), могут быть использованы для прогнозирования изменений температуры и давления на различных высотах.
- Оценки влияния метеорологических параметров на изменение летно-технических характеристик ВС. Множественная регрессия может помочь определить, как температура, давление и влажность влияют на длину разбега/пробега и подъемную силу.

Классификационные модели используются для идентификации категориальных данных, таких как наличие или отсутствие опасных метеорологических явлений:

- Идентификация грозовых явлений: Методы классификации, такие как логистическая регрессия, деревья решений или метод k-ближайших соседей (k-NN), могут быть использованы для определения вероятности возникновения грозы на основе данных о температуре, влажности и облачности;
- Обнаружение обледенения: Классификационные модели могут быть обучены на получаемых данных о температуре, влажности и скорости ветра для прогнозирования условий, благоприятных для возникновения обледенения.

Нейронные сети, особенно глубокие нейронные сети (DNN), способны выявлять сложные нелинейные зависимости в данных. Они могут быть использованы для:

- Прогнозирования турбулентности: Рекуррентные нейронные сети (RNN) или сверточные нейронные сети (CNN) могут анализировать временные ряды данных о ветре и температуре для прогнозирования зон турбулентности;

- Анализа влияния метеорологических условий на летно-технические характеристики. Глубокие нейронные сети могут быть обучены на больших объемах данных для определения влияния различных метеорологических параметров на характеристики полета, такие как скорость, расход топлива и управляемость.

Ансамблевые методы, такие как случайные леса (RandomForest) и градиентный бустинг (GradientBoosting), могут быть использованы для повышения точности прогнозов:

- Прогнозирование сдвига ветра. Ансамблевые методы могут комбинировать данные из различных источников (спутники, радиозонды, СВЧ-радиометрия) для более точного прогнозирования сдвига ветра;

- Оценка рисков возникновения обледенения. Комбинация различных моделей позволяет более точно оценить вероятность обледенения на основе данных о температуре, влажности и облачности.

Закключение. Очевидно, что влияние внешних факторов, в частности, неблагоприятные и опасные метеорологические явления, могут значительно повлиять на уровень безопасности полетов, на траекторию движения воздушного судна и значительно увеличить операционную нагрузку на органы обслуживания воздушного движения. Внедрение систем ИИ в практику метеорологического обеспечения полётов позволит снизить время на проведение анализа большого количества поступающей метеорологической информации, повысит эффективность распознавания и анализа спутниковой информации, а также повысит качество прогнозов особых явлений погоды, особенно на краткосрочный период. Особенно актуально внедрение систем ИИ в практику метеорологического обеспечения полётов окажется для аэродромных площадок в районах Крайнего Севера и Арктики.

Список литературы

1. *Болелов, Э.А.* Методы и алгоритмы комплексной обработки метеоинформации при метеорологическом обеспечении полетов воздушных судов гражданской авиации: автореф. дис. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук (05.22.14) / Болелов Эдуард Анатольевич. – Москва, 2020. – 33 с.
2. *Болелов Э.А.* Повышение оправдываемости метеопрогнозов по аэродрому путем комплексирования измерителей метеопараметров атмосферы. Научный вестник МГТУ ГА. 2019 т. 22, №5. С. 43-53.
3. *Моисеева Н.О.* Повышение безопасности полетов и эффективности использования воздушных судов за счет применения модели регионального метеорологического обеспечения авиации / Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. Под ред. Ю.Ю. Михальчевского, 2021. № 4 (33). С. 15-26
4. *Моисеева Н.О.,* Ременсон В.А., Румянцева Е.А. Применение методов синоптической климатологии в автоматизированных системах статистической интерпретации выходной продукции прогностических гидродинамических моделей атмосферы // Ученые записки РГГМУ, № 44, 2016.-С.157-164.
5. *Асмус В.В., Крамарева Л.С., Тасенко С.В., Хайлов М.Н., Ширишаков А.Е., Шумаков И.А.* Высокоэллиптическая гидрометеорологическая космическая система «Арктика-М» // Двадцать вторая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» г. Москва, 11 – 15 ноября 2024.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОЛЕТНОЙ ВИДИМОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Дорофеев В.В., Голунов А.С., Черепанов Д.В., Панарин А.А.

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж
meteo_box@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается использование нейронных сетей для прогнозирования полетной видимости из кабины воздушного судна. Традиционные методы прогнозирования, основанные на метеорологических параметрах, не учитывают комплексное взаимодействие факторов, таких как скорость полета, влажность, турбулентность и яркостный контраст объектов. В работе предложена гибридная модель, которая сочетает аналитические формулы и нейронные сети для повышения точности прогнозов. Нейронная сеть использует семь параметров: скорость полета, высота, влажность, температура, высота нижней границы облаков, метеорологическая дальность видимости и яркостный контраст объектов. Результаты показали, что нейронная сеть значительно улучшает точность прогнозирования по сравнению с традиционными методами.

Ключевые слова. Полетная дальность видимости, нейронные сети, прогнозирование, метеорологические параметры, традиционные методы, аналитические формулы, гибридные модели, безопасность полетов.

FLIGHT VISIBILITY PREDICTION USING NEURAL NETWORKS

Dorofeev V.V., Golunov A.S., Cherepanov D.V., Panarin A.A.

Military Training and Research Center of the Air Force "Air Force Academy named after
Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin", Voronezh

Annotation. The article discusses the use of neural networks to predict flight visibility from the cockpit of an aircraft. Traditional forecasting methods based on meteorological parameters do not take into account the complex interaction of factors such as flight speed, humidity, turbulence and brightness contrast of objects. The paper proposes a hybrid model that combines analytical formulas and neural networks to improve the accuracy of forecasts. The neural network uses seven parameters: flight speed, altitude, humidity, temperature, height of the lower cloud boundary, meteorological range of visibility and brightness contrast of objects. The results showed that the neural network significantly improves prediction accuracy compared to traditional methods.

Keywords. Flight visibility range, neural networks, forecasting, meteorological parameters, traditional methods, analytical formulas, hybrid models, flight safety.

Прогнозирование полетной дальности видимости (ПДВ) является важным для обеспечения безопасности полетов в условиях ограниченной видимости, таких как туман, низкая облачность или осадки. Традиционные методы, основанные на метеорологических параметрах, имеют ограниченную точность, поскольку они не учитывают все факторы, влияющие на видимость, такие как скорость полета, влажность и турбулентность. В связи с этим предлагается использование гибридной модели, которая сочетает традиционные аналитические методы с нейронными сетями, чтобы улучшить точность прогнозирования, особенно для скоростей более 300 км/ч.

Для расчетов полетной видимости предложены различные типы режимов горизонтальной видимости (ТРГВ), которые моделируются на основе высоты полета, метеорологических данных и яркостного контраста объектов. Основная формула для расчета ПДВ основывается на таких параметрах, как высота полета, путевая скорость, высота нижней границы облаков (ВНГО), метеорологическая дальность видимости (МДВ), время аккомодации зрения пилота и тип явления (дымка, дождь и другие) [1, 2].

Для интеграции нейронной сети предложена модель с тремя полносвязными слоями (128 → 64 → 32 нейронов) и выходом с одним нейроном, который прогнозирует полетную видимость. Входной слой принимает шесть параметров, таких как скорость полета, высота, температура, влажность, ВНГО, и МДВ.

Для оптимизации используется метод Adam (один из самых эффективных алгоритмов оптимизации в обучении нейронных сетей: он адаптирует скорость обучения для каждого веса индивидуально, что может ускорить сходимость и улучшить производительность модели; он часто применяется при обучении модели RNN (рекуррентных нейронных сетей), которая прогнозирует следующее значение временного ряда на основе предыдущих значений) с функцией потерь MSE (среднеквадратичная ошибка) [3].

Для использования данных их необходимо нормализовать, а датасет делится на обучающую и валидационную выборки (80% и 20% соответственно).

Модель нейронной сети продемонстрировала значительные улучшения по сравнению с традиционными методами. Средняя абсолютная ошибка (MAE) для нейронной сети составила 165,7 м, в то время как для традиционного метода она была 328,3 м. Модели удалось учесть нелинейные эффекты, такие как влияние влажности и турбулентности, что улучшило точность прогнозов.

Графики зависимости ПДВ от скорости полета показали, что традиционный метод дает большую ошибку прогнозирования ПДВ с увеличением скорости, в то время как нейронная сеть демонстрирует зависимость с более точным результатом, что ближе к реальным данным. При использовании традиционного метода значения ПДВ завышаются относительно реальных значений (рисунок 1).

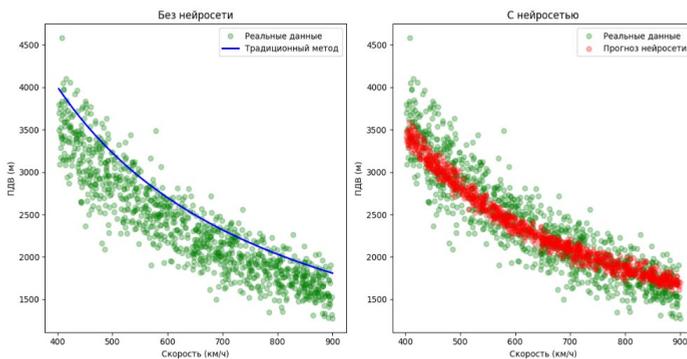


Рисунок 1 – Зависимость полетной дальности видимости от скорости полета

Валидация модели показала хорошую корреляцию с реальными данными ($r=0.92$). В ходе обучения были получены графики потерь и точности, показывающие снижение ошибки с течением времени. Модель с нейронной сетью превзошла традиционные методы по точности прогнозирования, что подтверждается анализом результатов на тестовых данных.

Использование нейросети предоставляет преимущества:

- учет нелинейных эффектов и взаимосвязей метеозлементов (турбулентность, влажность и др.);
- адаптация к экстремальным условиям (низкая облачность + высокая скорость).

Однако, это накладывает ограничения:

- требуются большие вычислительные ресурсы для обучения;
- зависимость от качества входных данных.

Таким образом, использование нейронных сетей для прогнозирования полетной видимости значительно улучшает точность расчетов по сравнению с традиционными методами, снижая ошибку на 15-20%. Такой подход эффективно учитывает комплексные взаимодействия метеорологических факторов, что особенно важно в условиях сложных погодных явлений. Модель особенно эффективна в условиях, где требуется учет комплексных метеорологических взаимодействий. Использование нейросетевых технологий при прогнозировании метеорологических условий особенно значимы для полетов на малых высотах для скорости полета более 300 км/ч, а также позволит быстро и с достаточной точностью калибровать модель по данным конкретного региона (влажность, типичная ВНГО и др.). Применение модели в реальных условиях авиации может существенно повысить безопасность полетов, особенно в условиях ограниченной видимости.

Список литературы

1. Дорوفеев В.В., Бакланов И.О., Степанов А.С., Жильчук И.А., Ковалёв В.И. Полетная видимость. Монография. Воронеж, Воронежский ЦНТИ, 2013. 250 с.
2. Кмито А.А., Смирнов П.И. Общий курс метеорологии. Часть II. – Л.: ВВИА им. проф. А.Ф.Можайского, 1959. 182 с.
3. Glorot X., Bengio Y. Understanding the difficulty of training deep feedforward neural networks // Proc. of AISTATS. 2010. P. 249–256.

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА ГОРОДСКОГО ОСТРОВА ТЕПЛА НА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРОДА В РАЗЛИЧНЫЕ СЕЗОНЫ ГОДА

Озерова Н.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
nadinalex19@mail.ru

Аннотация. Проанализировано влияния городского острова тепла мегаполиса на основные метеорологические характеристики на основе численного моделирования с использованием мезомасштабной модели WRF-ARW. Приведены результаты анализа влияния параметризаций на качество моделирования в разные сезоны года.

Ключевые слова. Остров тепла, параметризация урбанизации, модель WRF-ARW.

INFLUENCE OF THE URBAN HEAT ISLAND EFFECT ON THE METEOROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE CITY IN DIFFERENT SEASONS OF THE YEAR

Ozerova N.A.

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

Abstract. The influence of the urban heat island of a megalopolis on the main meteorological characteristics is analyzed based on numerical modeling using the mesoscale WRF-ARW model. The results of the analysis of the influence of parameterizations on the quality of modeling in different seasons of the year are presented.

Key words. Heat island, urbanization parameterization, WRF-ARW model.

В настоящее время урбанизация достигла своих пиковых масштабов за всю историю. Плотность населения в городах постоянно увеличивается, а инфраструктура в городах неустанно развивается. Города с высокой плотностью населения и развитой

инфраструктурой становятся одними из самых уязвимых мест при меняющемся климате. В российских регионах изменения климата проявляются в увеличении частоты экстремальных природных явлений, повышении уровня моря, таянии многолетней мерзлоты и загрязнении окружающей среды. Как результат климатические изменения приводят к ухудшению условий жизни в городской среде [1].

Эффект урбанизации, или искажающее влияние городов на естественные метеорологические процессы, является важным параметром при анализе климатических характеристик городов. Для городского климата характерно понятие "остров тепла". Физически это явление проявляется так, что в центральных частях крупных городов наблюдается максимальная температура воздуха. Интенсивность и размер этого эффекта варьируются во времени и пространстве в зависимости от метеорологических условий и особенностей самого города [2].

Разница температур между центром города с характерным для него островом тепла и окружающими территориями может достигать составлять 6°C . Обычно разница температур более выражена ночью по сравнению с днем, также в зимний период по сравнению с летним и обычно наблюдается при слабом ветре [3]. Ночное охлаждение поверхностей и приземного воздуха в городах происходит медленнее из-за накопленного тепла, что приводит к более высоким ночным температурам в городских районах по сравнению с более быстрым охлаждением в сельской местности. Интенсивность эффекта острова тепла быстро уменьшается перед рассветом.

Арктические регионы в последнее время активно исследуются в области естественных наук. Изучить влияние эффекта острова тепла в городах арктической зоны необходимо наряду с другими поставленными задачами данного региона. Изучение данной проблематики крайне необходимо в связи с уязвимостью Арктики и арктической природы при меняющемся климате.

В данной работе будет оцениваться изменение климата в северных регионах на примере Санкт-Петербурга. Эффект острова тепла проявляется в большей степени в зимний период при малооблачной и безветренной погоде с преобладанием устойчивой стратификации атмосферы, что характерно для антициклонов.

Для Санкт-Петербурга напротив характерен циклонический тип циркуляции, при котором локальные климатические особенности городской среды проявляются меньше, что приводит к меньшей средней разнице температур между центром города и его пригородами. Эффект острова тепла также смягчается близостью Финского залива [4].

Тем не менее, в пределах Санкт-Петербурга в зимний период происходят вторжения арктических воздушных масс и усиление влияния Сибирского антициклона. В летний период нередки усиления влияния на территории Санкт-Петербурга Азорского антициклона с выносом тропических воздушных масс. Установления антициклонической погоды могут продолжаться до недели, а при установлении в теплое время года блокирующих антициклонов – до трех – четырех недель. При этом создаются благоприятные условия для усиления эффекта городского острова тепла.

В данном исследовании использовалась мезомасштабная гидродинамическая модель WRF-ARW.

Сетка модели исследования включает в себя три домена. Первый домен покрывает Европейскую часть России, часть Скандинавии и северо-восток Европы с пространственным разрешением 9 км. Второй домен (первая вложенная сетка) включает в себя Ленинградскую и Новгородскую области, а также Финский залив и имеет пространственное разрешение 3 км. Третий домен (вторая вложенная сетка) покрывает район Санкт-Петербурга и близлежащих территорий с пространственным разрешением 1 км.

В качестве исходных данных использовались данные NCEP FNL с разрешением 0,25° для постановки начальных и граничных условий модели.

Главной целью данного исследования является проведение анализа и сравнения поведения эффекта острова тепла в разные периоды времени, а именно в зимний и летний сезоны. Как известно [3], остров тепла проявляется в наибольшей степени именно в зимнее время. Настоящим исследованием необходимо подтвердить данную аксиому на примере моделирования с использованием мезомасштабной гидродинамической модели WRF-ARW.

Таким образом, в исследовании рассматривался период с 1 января 2010 года 0000 ВСВ по 31 января 2010 года 0000 ВСВ и с 1 июля 2010 года 0000 ВСВ по 31 июля 2010 года 0000 ВСВ. Проводится исследование для каждого года в период с 1980 по 2020 для влияния климатических изменений.

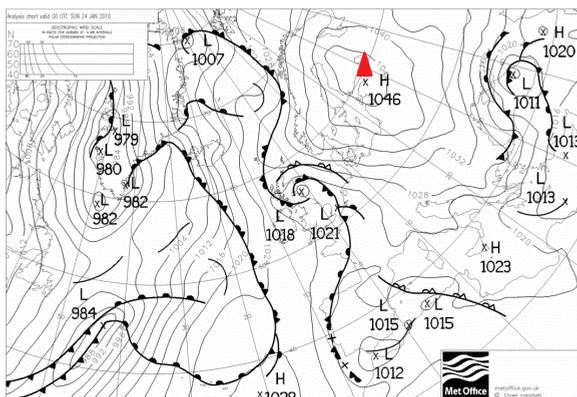
Схема параметризации, используемая в модели, представлена моделью городского полога UCM. Было произведено два запуска модели: без включения параметризации модели городского полога и с ее использованием.

В модели городского полога предполагаются бесконечно длинные улицы, или «уличные каньоны», представляющие геометрию города. В уличном каньоне учитываются затенение, отражение и поглощение радиации. Прогностические переменные включают температуру поверхности крыш, стен и дорог и профили температуры в пределах моделируемых слоев крыши, стен и дорог [5].

В качестве примера были выбраны четыре дня для сравнения результатов моделирования: два дня зимнего периода и два дня летнего периода. Путем анализа синоптических ситуаций и отбора наиболее типичных случаев циклонической и антициклонической циркуляций в пределах Санкт-Петербурга были выбраны:

- 24 января, когда погода определялась условиями антициклона;
- 30 января, когда погоду определял циклон с центром вблизи Ленинградской области;
- 14 июля, когда в пределах Ленинградской области также преобладала антициклоническая циркуляция;
- 31 июля, когда на погоду в Санкт-Петербурге влияла близость холодного фронта и связанной с ним барической ложбиной.

Согласно результатам 24 января 2010 года в течение суток Ленинградская область находилась под действием антициклона (рисунок 1). Об этом свидетельствует слабый ветер и северное, северо-восточное направление ветра, антициклоническая циркуляция.



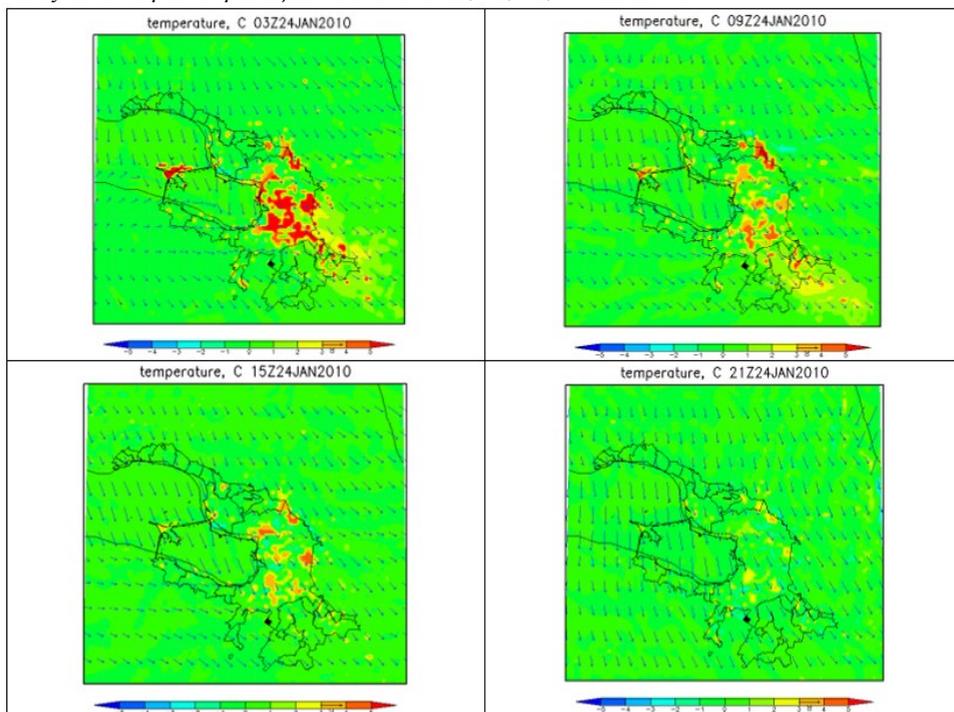
*Рисунок 1 – Синоптическая ситуация над Европой и европейской частью России
24.01.2010 00 часов ВСВ [6]*

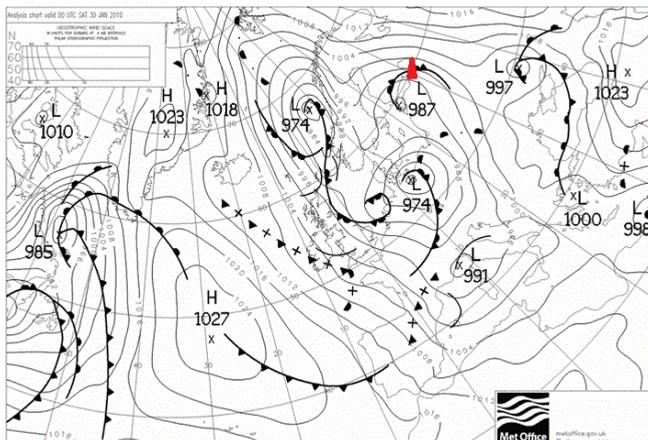
При данном типе циркуляции действие эффекта острова тепла должно усиливаться. Что можно наблюдать на результатах моделирования в таблице 1.

На рисунках в таблице 1 представлены результаты моделирования разницы температур воздуха с учетом и без учета параметризации. Учет параметризации при моделировании приводит к тому, что на выходных изображениях температуры воздуха в центральных частях города несколько выше по сравнению с окрестными территориями Санкт-Петербурга. Наиболее ярко выраженными участками (красный и оранжевый цвет) выделяются промышленные районы и наиболее густонаселенные районы города. В данных районах эффект острова тепла, согласно рисункам таблицы 1, существовал практически в течение всех суток 24 января 2010 года, приобретая максимум в начале суток (3 часа ВСВ) постепенно ослабевая к 21 часу ВСВ. Представленные результаты моделирования хорошо согласуются с теоретической базой эффекта острова тепла [2].

Далее рассмотрим 30 января 2010 года. В течение этих суток над Ленинградской областью установилась область пониженного давления (рисунок 2), о чем свидетельствует южное, юго-западное направление ветра, циклоническая циркуляция. Также погоду определял фронтальный раздел, представленный фронтом окклюзии. Вкупе неблагоприятные погодные условия должны способствовать ослаблению эффекта острова тепла в городской среде. Данное утверждение находит подтверждение в результатах моделирования, содержащихся в таблице 2.

Таблица 1 – Результаты моделирования разницы температуры воздуха с учетом и без учета параметризации 24.01.2010 03, 09, 15, 21 часов ВСВ





*Рисунок 2 – Синоптическая ситуация над Европой и европейской частью России
30.01.2010 00 часов ВСВ [6]*

Влияние эффекта острова тепла 30 января 2010 года выражен значительно меньше в пределах Санкт-Петербурга по сравнению с 24 января 2010 года. Можно наблюдать лишь отдельные участки относительного повышения температуры воздуха в северных районах города, что не дает оснований заключать вывод о существовании острова тепла в пределах всего Санкт-Петербурга.

Сравнив результаты моделирования за зимний анализируемый период, перейдем к анализу результатов за летний период.

Согласно результатам 14 июля 2010 года в течение суток Ленинградская область находилась под влиянием западной периферии антициклона (рисунок 3). Об этом свидетельствует ветер от слабого до умеренного и южные направления ветра, антициклоническая циркуляция на западной периферии области повышенного давления.

При рассмотрении зимнего периода наблюдалось усиление эффекта острова тепла в условиях антициклона. Но для летнего времени усиление влияния эффекта острова тепла, согласно теоретическим сведениям [2], должно быть не столь выражено по сравнению с холодным периодом. Обратимся к результатам моделирования в таблице 3.

Поведение эффекта острова тепла в условиях зимнего и летнего антициклонов кардинально отличаются. Если на рисунках из таблицы 1 отчетливо видно, что эффект острова тепла постепенно ослабевает к концу дня в январе, то рисунки таблицы 3 свидетельствуют о том, что в летний период эффект острова тепла наоборот усиливается к концу суток. Например, судя по таблице 3, в течение суток 14 июля 2010 года в Санкт-Петербурге не наблюдались значительные температурные аномалии. Разница температур при этом колебалась в диапазоне $\pm 1^{\circ}\text{C}$. При этом в основном зоны проявления острова тепла также, как и в примере 24 января 2010 года, остаются в наиболее густонаселенных северных районах города (желтый цвет).

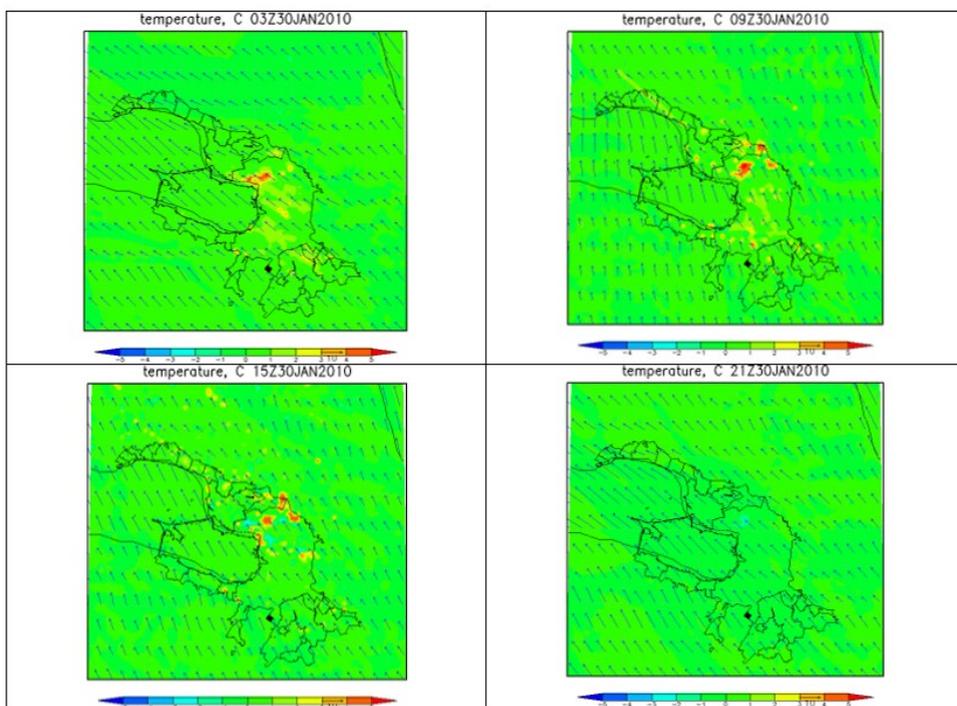
Наконец рассмотрим заключительный пример в рамках данной работы – 31 июля 2010 года. Погоду Ленинградской области в данные сутки определяла барическая ложбина и близость холодного фронта (рисунок 4). Указанная синоптическая ситуация не должна была способствовать развитию эффекта острова тепла в течение рассматриваемого дня. Данное утверждение находит подтверждение в результатах моделирования, продемонстрированных в таблице 4.

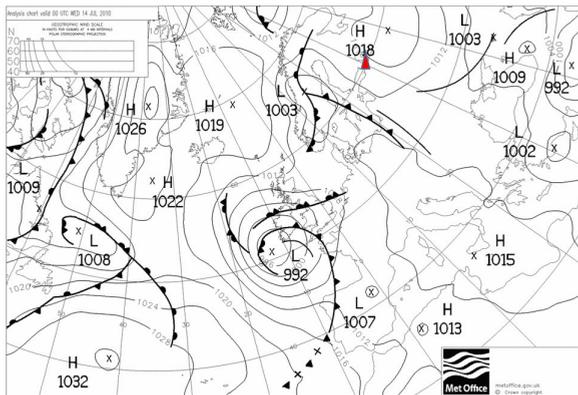
Эффект острова тепла 31 июля 2010 года, судя по рисункам таблицы 4, в пределах Санкт-Петербурга практически отсутствует. Так же, как и 14 июля 2010 года, в течение

всего дня над городом существуют лишь незначительные температурные аномалии, достигающие $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Необходимо отметить, что результаты моделирования запечатлели момент прохождения холодного фронта через Санкт-Петербург в 15 часов ВСВ 31 июля 2010 года (таблица 4), что можно видеть по характерному повороту ветра соответственно перед и после атмосферного фронта. При этом после прохождения холодного фронта, на рисунке в 21 час ВСВ, присутствуют положительные температурные аномалии (желтый цвет). Но проявляются они, наоборот в сельской местности, что не связано с эффектом острова тепла. Разница температур же в пределах города остается незначительной для того, чтобы посчитать активным эффект острова тепла.

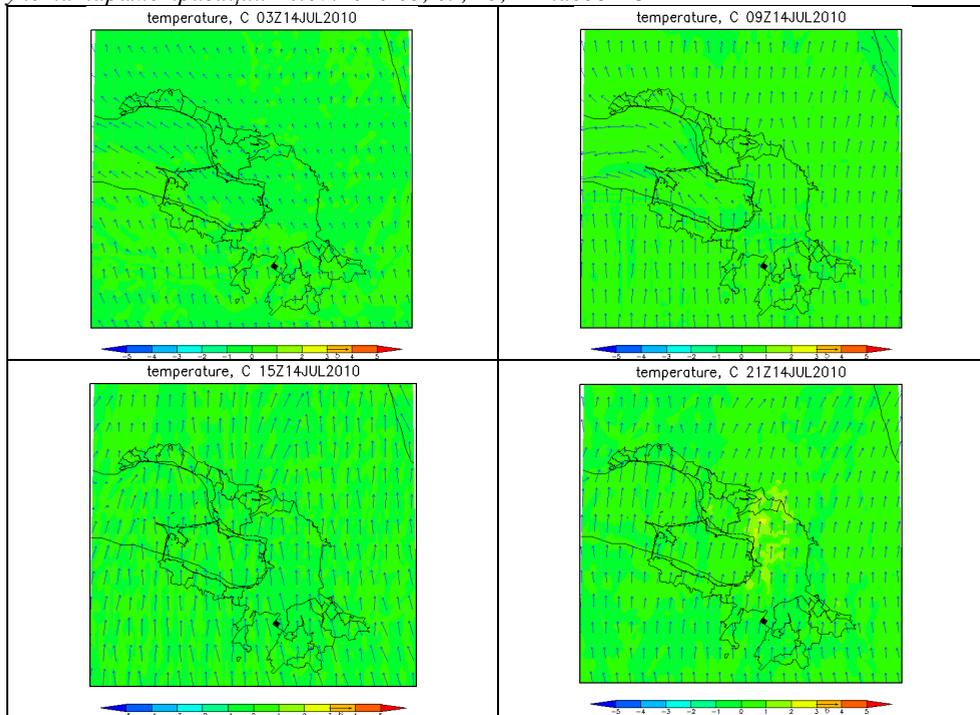
Таблица 2 – Результаты моделирования разницы температуры воздуха с учетом и без учета параметризации 30.01.2010 03, 09, 15, 21 часов ВСВ

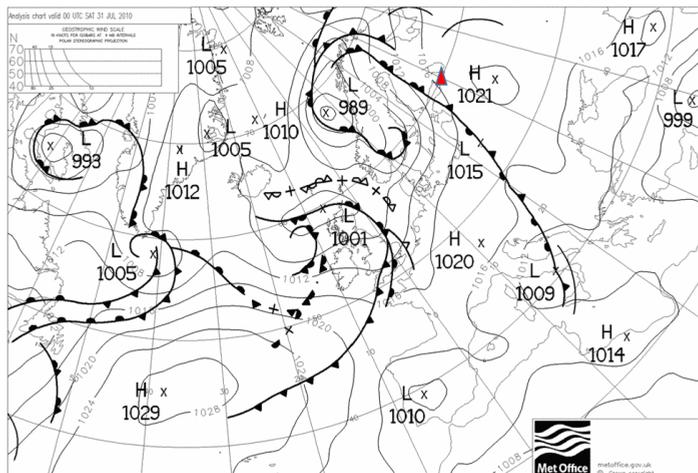




*Рисунок 3 – Синоптическая ситуация над Европой и европейской частью России
14.07.2010 00 часов ВСВ [6]*

Таблица 3 – Результаты моделирования разницы температуры воздуха с учетом и без учета параметризации 14.07.2010 03, 09, 15, 21 часов ВСВ





*Рисунок 4 – Синоптическая ситуация над Европой и европейской частью России
31.07.2010 00 часов ВСВ [6]*

При анализе полученных данных моделирования и сравнении их с теоретическими сведениями об эффекте острова тепла можно говорить о том, что включение параметризации модели городского полога в расчеты позволяет улучшить результаты для изучения городского острова тепла.

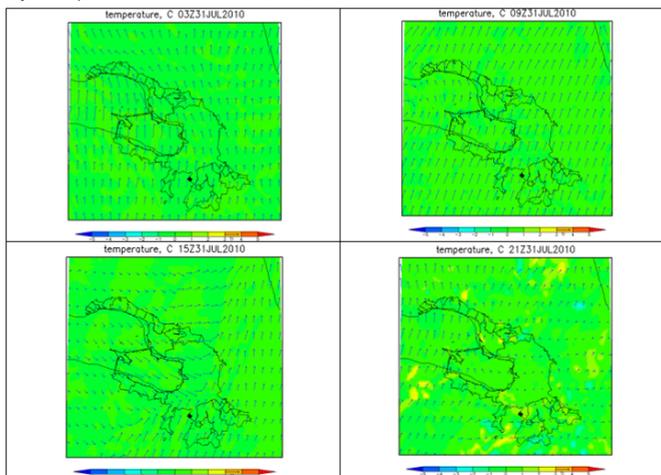
По результатам исследования можно судить о влиянии городского острова тепла на поля температуры воздуха при разных типах циркуляции и в разные сезоны года. Как упоминалось в [2], остров тепла в наибольшей степени проявляется в зимний период в условиях антициклона. Подтверждение этому найдено по итогам проведенного моделирования.

Зимой при антициклоне эффект острова тепла проявляется в наибольшей степени, причем максимум приходится на утренние часы. В данной работе (таблица 1) – на 03 часа ВСВ. Летом в условиях антициклонической циркуляции эффект острова тепла проявляет себя значительно хуже и имеет обратную зависимость с максимумом эффекта в вечерние часы (в 21 час ВСВ – таблица 3).

В условиях циклонов, барических ложбин, а также атмосферных фронтов как зимой, так и летом, эффект острова тепла «угасает». Если в зимний период эффект проявляется лишь в незначительной степени, то летом он и вовсе отсутствует.

Таким образом, по результатам проведенного исследования были сделаны выводы о том, как проявляет себя эффект острова тепла в различные сезоны года в условиях разных типов циркуляции атмосферы.

Таблица 4 – Результаты моделирования разницы температуры воздуха с учетом и без учета параметризации 31.07.2010 03, 09, 15, 21 часов ВСВ



Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №23-77-30008, <https://rscf.ru/project/23-77-30008/>

Список литературы

1. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – СПб.: Научное издание, 2022. – 124 с.
2. *Пигольцина Г. Б.* Микроклиматические особенности различных районов Санкт-Петербурга // Общество. Среда. Развитие (Terza Humana). 2009. №3. С. 130-144.
3. *Матвеев Л.Т., Матвеев Ю. Л.* Доклад Академии наук. 2000. Т. 370. № 2. С. 249-252.
4. Климат Ленинграда. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 252 с.
5. *Chen, F., Kusaka, H., Bornstein, R., Ching, J., Grimmond, C.S.B., Grossman-Clarke, S., Loridan, T., Manning, K.W., Martilli, A., Miao, S., Sailor, D., Salamanca, F.P., Taha, H., Tewari, M., Wang, X., Wysogrodzki, A.A. and Zhang, C.* The integrated WRF/urban modelling system: development, evaluation, and applications to urban environmental problems. Int. J. Climatol., 2011. – 31: 273-288.
6. Wetter3.de: [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.wetter3.de/> (дата обращения: 25.01.2025).

ГЕННАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ГИДРОЛОГИИ: СОЗДАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ БАКТЕРИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДОЕМОВ

Прокопенко Д.Н., Рыбакова Т.К., Абрамов В.М.

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О.

Макарова, Санкт-Петербург

prokopenko.danilka121@gmail.com

Аннотация. В этой статье исследуется потенциал генно-инженерных бактерий как средства борьбы с загрязнением воды, подчеркивается их способность улучшать процессы биовосстановления. В нем рассматриваются современные методы генной инженерии, такие как CRISPR-Cas9 и оптимизация на основе искусственного интеллекта, а также экологические, этические и нормативные проблемы, связанные с их внедрением.

Ключевые слова. Загрязнение воды, генетически модифицированные бактерии, биоремедиация, CRISPR-Cas9, искусственный интеллект, экологическая безопасность, этика биоинженерии.

GENETIC ENGINEERING AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HYDROLOGY: CREATION OF ARTIFICIAL BACTERIA FOR PURIFICATION OF RESERVOIRS

Prokopenko D.N., Rybakova T.K., Abramov V.M.

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg

Annotation. This article explores the potential of genetically engineered bacteria as a means of combating water pollution, emphasizing their ability to improve bio-healing processes. It examines modern genetic engineering techniques such as CRISPR-Cas9 and artificial intelligence-based optimization, as well as the environmental, ethical, and regulatory challenges associated with their implementation.

Keywords. Water pollution, genetically modified bacteria, bioremediation, CRISPR-Cas9, artificial intelligence, environmental safety, ethics of bioengineering.

Введение. В современном мире загрязнение водоемов приобретает все большую актуальность [1-6]. По данным международных исследований, уже в значительной части водных ресурсов нашей планеты можно обнаружить превышенные значения допустимых концентраций вредных веществ, таких как пластмассовая продукция, утечка нефтепродуктов, радиоактивные и промышленные отходы, а также сточные воды из канализации. Все эти компоненты существенно изменяют физический и химический баланс водной экосистемы. Первоначально загрязнения могут быть невелики и самоустраняемы или восстанавливаемы при помощи человека, но со временем, при отсутствии вмешательства и критическом превышении вредных веществ в воде, экосистема начинает разрушаться. Одним из случаев бытового загрязнения является наличие в сточных водах множества питательных элементов, таких как азот и фосфор. Это приводит к процессу, называемому эвтрофированием, когда водоемы и реки перенасыщаются этим элементом. Однако из-за высокой нагрузки органические вещества в водоеме не успевают полностью разлагаться и подвергаются деструкции и минерализации лишь частично. Часть удаляется из водоема со стоками в виде растворенного или взвешенного органического вещества, часть теряется в виде газообразных продуктов распада, а часть органического вещества не подвергается распаду, оседает на дно и входит в состав иловых отложений, где также интенсивно идут микробиологические процессы минерализации. К основным микроорганизмам, участвующим в превращениях веществ в водоемах и круговороте биогенных элементов, относятся: фотолитотрофы (пурпурные серобактерии, зеленые серобактерии и несерные пурпурные бактерии) и хемолитотрофы (нитрифицирующие бактерии, серобактерии, водородные бактерии, железобактерии). В связи с высокими скоростями размножения микроорганизмы являются наиболее чувствительными к изменению состояния водной среды как природного, так и антропогенного характера, поэтому даже при повышенных загрязнениях они могут не справиться и погибать, что и подводит к логическому умозаключению: почему бы не создать искусственные бактерии для более эффективной очистки и для поддержания работоспособности естественных микроорганизмов.

Методы и технологии. Современные технологии уже позволяют использовать генную инженерию для решения разных проблем, а в случае очистки водоемов с помощью изменённых или созданных бактерий, возможно подключить искусственный интеллект для управления процессами, делая их более эффективными. В генной инженерии можно создавать новые методы, так и использовать уже существующие, например:

- Системы CRISPR-Cas9. Эта система с высокой точностью позволяет изменять ДНК бактерий. Ученые могут встраивают в геном бактерий специальные

последовательности, которые активируют или отключают нужные гены. К примеру, можно повысить устойчивость к тяжелым металлам и их ускоренное расщепление в отличии от изначальных бактерий.

- Искусственные эндонуклеазы рестрикции. Методы, основанные на использовании искусственных эндонуклеаз, таких как ZFN и TALEN, позволяют вносить специфические изменения в геном бактерий, улучшая их метаболические пути для переработки токсичных веществ.

- Фаговые векторы. В этом методе используются бактериофаги (вирусы, поражающие бактерии) для доставки полезных генов в клетки бактерий. Это позволяет “перепрограммировать” бактерии, превращая их в усовершенствованные “фильтры”.

Генная инженерия создает эффективные бактерии, но для лучшего управления и оптимизации работы можно использовать искусственный интеллект, например:

- Проектирование бактериальных штаммов. ИИ анализирует генетические данные и предлагает лучшие варианты генной модификации. Например, с помощью алгоритмов можно предсказать, какие гены помогут бактериям быстрее разлагать нефтепродукты.

- Системы для оптимизации работы бактерий. ИИ может анализировать данные с датчиков, установленных в водоёмах, и давать рекомендации по использованию бактерий.

Экологические аспекты и безопасность. Как и у всех методов, ему присущи как положительные, так и отрицательные стороны, которые необходимо учитывать при исследовании и возможной разработке.

К положительному влиянию можно отнести:

- Повышенная эффективность биоремедиации. В отличие от естественных микроорганизмов, модифицированные бактерии работают быстрее и эффективнее, поскольку в их ДНК внесены изменения, усиливающие метаболизм и устойчивость к токсичным веществам.

- Адаптация. Одним из преимуществ генно-инженерных бактерий является их способность адаптироваться к сложным и экстремальным условиям.

- Контролируемый процесс. Системы мониторинга могут анализировать параметры воды в режиме реального времени и регулировать активность бактерий, предотвращая их чрезмерное размножение.

- Экологическая альтернатива химическим методам. Искусственные бактерии предлагают экологически безопасную альтернативу, поскольку они разлагают загрязняющие вещества на безвредные компоненты без образования токсичных побочных продуктов.

- Самовоспроизводимость. В отличие от механических или химических методов, требующих регулярного обновления или добавления реагентов, бактерии могут поддерживать процесс очистки в течение длительного времени, что делает этот метод более устойчивым и экономически выгодным.

К возможным негативным последствиям относится:

- Риск неконтролируемого распространения. Если бактерии начнут бесконтрольно размножаться и распространяться в другие экосистемы, это может привести к непредсказуемым изменениям в природном балансе.

- Потенциальные непредвиденные последствия. В худшем случае это может привести к образованию новых, нежелательных штаммов бактерий, устойчивых к традиционным методам контроля.

- Этические и социальные аспекты. Некоторые люди и организации выступают против вмешательства в природные процессы, опасаясь долгосрочных последствий. Возникают вопросы о допустимости изменения биологических организмов и о том, кто несёт ответственность за возможные негативные последствия.

- Необходимость строгого контроля и регулирования. Для безопасного применения генно-инженерных бактерий должны быть разработаны строгие протоколы тестирования, мониторинга и уничтожения бактерий после выполнения ими своих функций.

- Экономические и технические барьеры. Внедрение этих технологий может быть экономически оправданным для крупных промышленных объектов, но для малых предприятий или региональных экологических программ стоимость может оказаться слишком высокой.

Заключение. Проблема очистки водных объектов от антропогенного загрязнения выходит за рамки научных дискуссий — это многогранный вопрос на стыке экологии, этики и технологий. Создание искусственных бактерий, способных "восстанавливать" экосистемы, может показаться концепцией из области научной фантастики, однако такие инновации могут стать ключом к преодолению кризиса, в значительной степени спровоцированного нами самими. Однако крайне важно избегать двух крайностей: слепого оптимизма, который не замечает рисков, и панического скептицизма, который сдерживает прогресс.

Современная генная инженерия и искусственный интеллект открыли возможности, которые всего несколько десятилетий назад были немислимы. Но главный вопрос остается открытым: готовы ли мы взять на себя ответственность за новые формы жизни, которые мы создаем? Даже самые продвинутые бактерии не являются "волшебным средством". Их реализация требует не только технической точности, но и глубокого понимания экосистем, строгого регулирования и открытого диалога с обществом.

Возможно, путь вперед лежит через сочетание инноваций с осторожностью. Интегрируя искусственные организмы в качестве партнеров в естественных процессах, а не заменителей, мы могли бы не только снизить уровень загрязнения, но и восстановить экологический баланс. Однако для этого требуется нечто большее, чем лаборатории и алгоритмы — это требует новых этических рамок, международного сотрудничества и, прежде всего, признания того, что вмешательство в природу должно быть актом смирения, а не высокомерия.

Результаты исследования целесообразно использовать в образовательных целях [7].

Список литературы

1. Хурина О.В., Кузякина Т.И., Саушкина Л.Н. Оценка экологического состояния пресноводной гидроэкосистемы в условиях антропогенной нагрузки [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-ekologicheskogo-sostoyaniya-presnovodnoy-gidroekosistemy-v-usloviyah-antropogennoy-nagruzki> (дата обращения: 02.03.2025)
2. Искусственный интеллект на службе генной инженерии: создание новых генов с инструментом CRISPR, 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://aiinsider.ru/iskusstvennyj-intellekt-na-sluzhbe-gennoj-inzhenerii-sozdanie-novyh-genov-s-instrumentom-crispr/> (дата обращения: 02.03.2025)
3. Генетическая инженерия: продвижение биоремедиации через биотехнологию, 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://fastercapital.com/ru/content/Генетическая->

инженерия--продвижение-биоремедиации-через-

биотехнологию.html?utm_source=chatgpt.com (дата обращения: 02.03.2025)

4. Fuliang Bai, Hui Tian, Jun Ma Advanced treatment of sewage by membrane bioreactor associate with genetically engineered autotrophic nitrifying bacteria, 2019 [Электронный ресурс]. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31129517/> (дата обращения: 02.03.2025)

5. Проблема загрязнения окружающей среды сточными водами и ее решение [Электронный ресурс]. URL: <https://flotenk.ru/press-centr/posts/problema-zagryazneniya-okruzhayushchey-sredy-stochnymi-vodami-i-ee-reshenie/> (дата обращения: 02.03.2025)

6. Daniil Filipenco Water pollution in the world: major causes and statistics, 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.developmentaid.org/news-stream/post/152754/water-pollution-in-the-world> (дата обращения: 02.03.2025)

7. Digital learning technologies development for university education in environmental economics / V. M. Abramov, [et al.] // Vision 2025: Education Excellence and Management of Innovations through Sustainable Economic Competitive Advantage: Proceedings of the 34rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019, Madrid, 13–14 ноября 2019 года. – Madrid: International Business Information Management Association, 2019. – P. 9409-9417. – EDN YGOFIF.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГРАДООБРАЗОВАНИЯ

Шишкина Т.Р., Анискина О.Г.

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

Аннотация. Проведен численный эксперимент по моделированию града, прошедшего 15.07.2021 г. в пос. Стрельна (Санкт-Петербург). Использовалась мезомасштабная модель WRF-ARW и встроенный в нее модуль WRF-HAILCAST, который позволяет моделировать град напрямую. Тестировались две параметризации микрофизики Milbrandt-Yau 2-moment и Goddard 4-ice, которые воспроизвели град.

Ключевые слова. Конвективные процессы, град, прогноз града, моделирование, модель WRF-ARW.

MODELING OF HAIL FORMATION PROCESSES

Shishkina T.R., Aniskina O.G.

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

Annotation. A numerical experiment was conducted to simulate the hail that took place on 07/15/2021 in the village. Strelna (Saint Petersburg). The WRF-ARW mesoscale model and the built-in WF-MAIL CAST module were used, which allows modeling hail directly. Two microphysics parameterizations were tested- Milbrandt-Yau 2-moment and Goddard 4-ice, which reproduced hail.

Keywords. Convective processes, hail, hail forecast, modeling, WRF-ARW model.

Исследование и моделирование града является важной задачей в метеорологии, поскольку град наносит значительный ущерб всем сферам жизнедеятельности человека. В условиях меняющегося климата традиционные синоптические методы, основанные на анализе приземных и высотных карт погоды, могут быть недостаточно эффективными для прогноза града, так как они не учитывают сложные микрофизические и динамические процессы, происходящие внутри конвективных облаков [1, 2]. Подобные проблемы позволяет разрешить гидродинамическое моделирование.

В работе для исследования процессов градообразования использовалась мезомасштабная модель WRF-ARW и интегрированная в нее модель роста градин WRF-HAILCAST [3, 4, 5], в которой используются данные о вертикальных профилях температуры, влажности и ветра. Модель учитывает механизмы роста градин, их траектории внутри облака и таяние при падении. При прогнозе града с помощью WRF-HAILCAST важно учитывать параметризацию микрофизических процессов, которые описывают условия формирования облаков и осадков.

Для анализа был выбран случай града в окрестностях Санкт-Петербурга 15.07.2021 г. в пос. Стрельна. По данным обзоров неблагоприятных и опасных явлений ФГБУ «СЗУГМС» за июль 2021 г. и опубликованных СМИ диаметр града достигал 1,5 см. Также опубликованы фотографии повреждений автомобилей.

В Санкт-Петербурге с 05.07.2025 по 16.07.2025 наблюдалась аномально жаркая погода с отклонением среднесуточной температуры воздуха от климатической нормы на 7 °C и более. Среднесуточные значения наблюдались в пределах от 24,4 °C. до 28,6 °C при норме от 17,4 °C до 17,9 °C. В результате сильного прогрева атмосферного воздуха развилась мощная кучево-дождевая облачность, из которой выпал град. По данным реанализа ERA5 параметр CAPE достигал значения 1200 Дж/кг, что соответствует умеренной неустойчивости атмосферы.

Модель включала в себя три сетки – d01 (материнская), d02 (первая вложенная), d03 (вторая вложенная, самая мелкая). Использовались начальные данные анализа глобальной модели GFS на широтно-долготной сетке с шагом 0,25°. Численные эксперименты проводились с двумя схемами параметризации микрофизических процессов – Milbrandt-Yau 2-moment scheme (MY) и Goddard 4-ice scheme (Godd).

Обе схемы параметризации воспроизвели град – рисунок 1. Время начала выпадения града по результатам моделирования двух схем практически совпадает: схема Godd – 10:30 UTC, схема MY – 10:45 UTC, однако фактическое время выпадения града – 14:00-15:00 UTC. Время окончания града по схеме Godd – 17:00 UTC, по схеме MY – 17:45 UTC.

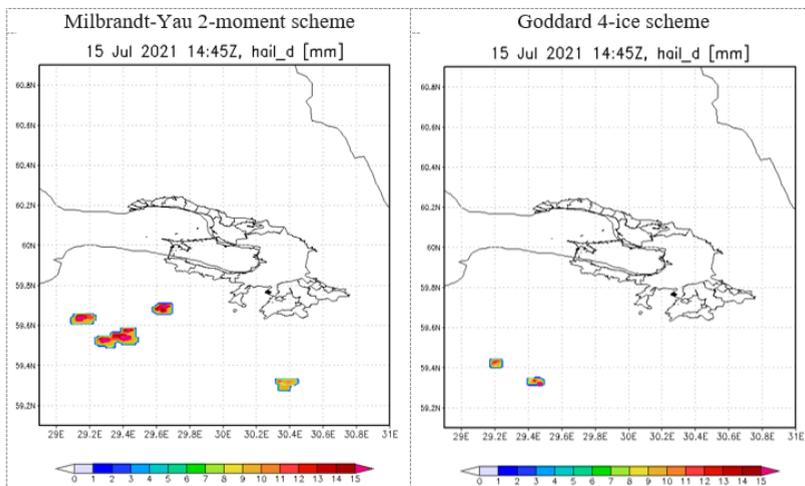


Рисунок 1 – Градовые ячейки, полученные по результатам моделирования WRF-HAILCAST с параметризацией микрофизики Milbrandt-Yau 2-moment scheme (слева) и Goddard 4-ice scheme (справа)

Градовые ячейки, по результатам моделирования с использованием обеих схем параметризации, локализируются в южной части Санкт-Петербурга, что соответствует действительности, но также и в Ломоносовском, Гатчинском и Всеволожском районах Ленинградской области. Локализация ячеек града в этих районах совпадает с местоположением гроз по данным архива грозопеленгации [6].

Диаметр града по результатам моделирования обеих схем параметризации микрофизики достигает 1,5 см в срок выпадения града, в некоторые сроки схема Godd воспроизводит диаметр, доходющий до 3 см.

В результате можно заключить, что найдены схемы параметризации микрофизических процессов в WRF-HAILCAST, способные воспроизвести град напрямую. Несмотря на расхождения между фактической локализацией града и полученной при моделировании, результаты могут быть использованы в качестве ориентировочной информации. В будущем планируется протестировать другие схемы параметризации физических процессов.

Исследование выполнено при поддержке Российского Научного Фонда (грант №23-77-30008, <https://rscf.ru/project/23-77-30008/>).

Список литературы

1. Шишкина Т.Р. Исследование повторяемости выпадения града на территории СЗФО с 1931 по 2022 гг. / Т.Р. Шишкина // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2024». Секция География, 2024 [Электронный ресурс]. URL: https://lomonosov.msu.ru/archive/Lomonosov_2024/data/33467/169030_uid806598_report.pdf (дата обращения: 28.02.2025).
2. Шишкина, Т. Р. Анализ изменения количества случаев града в Северо-Западном федеральном округе за период с 1931 по 2022 гг / Т. Р. Шишкина, О. Г. Анискина // Гидрометеорология и физика атмосферы: современные достижения и тенденции развития: Материалы II Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 20–22 марта 2024 года. 2024. – С. 187-189.
3. Adams-Selin R. D Forecasting hail using a one-dimensional hail growth model within WRF / R. D. Adams-Selin, C. L. Ziegler // Monthly Weather Review, 2016. – Т. 144 – № 12. – P. 4919-4939.
4. Maulana M. I. S. Comparison of Microphysics Schemes on WRF- HAILCAST Model to Study Hailstone in Aeronautics (Case Study: Hail Strike on AirAsia A320-200, November 16, 2018) / M. I. S Maulana, A. Kristianto // JPSE, 2023. – 8. – P. 20-35.
5. Maulana M. I. S. Sensitivity of WRF-HAILCAST Model for Hailstone Detection in Central Lombok on 24 February 2019 / M. I. S Maulana, A. Kristianto // Jurnal Fisika dan Aplikasinya, 2024. – 20. – № 1. – P. 1-7.
6. Архив грозопеленгации. URL: <https://www.lightningmaps.org/> (дата обращения: 10.03.2025).

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ПОСТПРОЦЕССИНГА РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНВЕКТИВНОГО ОБЛАКА

Федотова Г.Д., Торопова М.Л.

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург
glafirafedotovaaa@gmail.com

Аннотация. Анализ и обработка данных, полученных при помощи трехмерной численной модели конвективного облака, разработанной в Росгидромете под руководством ФГБУ «ГГО», помимо рассмотрения трехмерных полей данных включает критический анализ общего хода развития облака, выделение его жизненных стадий, рассмотрение динамики изменения исследуемых характеристик. Все это требует значительных временных ресурсов. На языке Python реализована программа «Extremum-visualizer», которая автоматизирует процесс постпроцессинга данных, включая вывод экстремумов ключевых параметров облака и построение временных рядов их развития. Программа позволяет ускорить анализ данных и упростить интерпретацию результатов моделирования.

Ключевые слова. Численное моделирование, конвективное облако, постпроцессинг данных.

DEVELOPMENT OF A POST-PROCESSING PROGRAM FOR THE RESULTS OF MODELING OF CONVECTIVE CLOUDS

Fedotova G.D., Toropova M.L.

Voeikov Main Geophysical Observatory, St. Petersburg

Annotation. The analysis and processing of data obtained using a 3D numerical model of convective clouds, developed at Roshydromet under the guidance of the Voeikov Main Geophysical Observatory, involve not only the examination of 3D data fields but also a critical analysis of the overall cloud development process, including the identification of its life stages and the investigation of parameter dynamics. These tasks demand significant time resources. To address this, a Python-based program, "Extremum-visualizer," has been developed to automate the post-processing of data. This program extracts extrema for key cloud parameters and generates time series illustrating their evolution, thereby significantly accelerating data analysis and simplifying the interpretation of modeling results.

Keywords. Numerical modeling, convective cloud, data post-processing.

Одним из передовых направлений исследований в физике облаков и активных воздействий является численное моделирование. На данный момент трехмерное численное моделирование конвективных облаков позволяет детально изучать динамические, микрофизические и электрические процессы, пространственное распределение микроструктурных и электрических параметров в конвективном облаке [1]. Этот подход открывает уникальные возможности для анализа сложных взаимодействий между фазовыми переходами воды и аэрозолями, расположения объемных зарядов и напряженности электрического поля и других параметров, что особенно важно для понимания механизмов формирования осадков, развития грозовой активности и влияния активных воздействий на облака.

Трехмерная модель конвективного облака, разработанная в Росгидромете под руководством и при непосредственном участии сотрудников Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, – инструмент, позволяющий исследовать протекание физических процессов с достаточно малым пространственным и временным шагом [2]. Результаты трехмерного численного моделирования дают информацию не только о динамических, микрофизических и электрических параметрах, но и о трехмерных полях и стадиях развития конвективного облака. Такой метод изучения конвективного облака, к примеру, дает возможность воспроизводить его зарядовую структуру для каждой стадии электризации внутри облака и в его окрестностях [3]. Стоит отметить, что анализ полученных при моделировании данных является комплексным, требует значительных временных ресурсов, в связи с чем встает необходимость в автоматизации постпроцессинга данных.

При использовании трехмерной численной нестационарной модели облачной конвекции автоматически формируется файл, содержащий информацию об изменении

следующих параметров: высоты верхней границы облака, скорости восходящего потока, интенсивности осадков и проч. На языке программирования Python нами была реализована программа-визуализатор «Extremum visualizer», которая выводит экстремумы динамических и микрофизических характеристик облака, а также визуализирует временной ход развития таких параметров, как верхняя граница облака, интенсивности осадков и проч.

В результате работы программы формируется html-файл, содержащий таблицы с экстремумами основных характеристик облака (рисунок 1), таких как максимальная высота облака, интенсивность осадков, концентрация капель и кристаллов льда, а также электрические параметры, включая напряжённость электрического поля и частоту разрядов молний. Программа «Extremum visualizer» рассчитывает частоту разрядов в облаке при различном временном шаге и выводит соответствующую гистограмму в html-файле. Кроме того, этот файл содержит графики временного хода развития ключевых параметров, включая скорость восходящего потока, содержания воды и льда, интенсивности осадков и проч. (рисунок 2). Такое структурированное представление данных не только обеспечивает наглядность, но и значительно упрощает их дальнейший анализ и интерпретацию. Это особенно важно для исследований, связанных с изучением динамики облаков, их микрофизических и электрических свойств, а также для оценки эффективности методов активного воздействия на облака.

Рассматриваемый файл:
IJ_extremumcase002.dat

СВЕДЕНИЯ ОБ ЭКСТРЕМУМАХ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ (ДИНАМИЧЕСКИХ И МИКРОФИЗИЧЕСКИХ):

Время (сек)	Время (мин)	Время с момента появления облака (мин)	Названия параметров с единицами измерений	Значение	Высота, на которой достигается максимум
1778	29.6	0	Время появления облака	-	-
2469	41.1	11.5	Водность облачных капель, г/м ³ (Qc)	2.1	3.75
2506	41.8	12.1	Объем переослажденной части облака с отражаемостью более 35 дБЗ, км ³ (VZ35)	5.0	-
2878	48.0	18.3	Скорость восходящего потока, z-компонента (W)	17.5	4.85
3008	50.1	20.5	Ледность градин, г/м ³ (Qi)	6.9	2.85
3100	51.7	22.0	Ледность облачных кристаллов, г/м ³ (Qic)	0.93	7.45

Рисунок 1 – Результат выполнения программы «Extremum visualizer». Фрагмент таблицы со сведениями об экстремумах основных параметров облака

Разработанная программа «Extremum-visualizer» представляет собой эффективный инструмент для автоматизированного постпроцессинга данных трёхмерного моделирования конвективных облаков. Она позволяет значительно сократить время обработки полученных результатов и представлять их в удобном для анализа виде. В перспективе возможно расширение функционала программы, включающее, в том числе автоматизацию анализа и сравнения данных, полученных при различных расчётах, а также внедрение более сложных видов визуализации. Автоматизация формирования отчётов в html-формате не только экономит время исследователей, но и позволяет сосредоточиться на интерпретации полученных результатов, делая данный инструмент ценным при выполнении исследований с помощью указанной модели.

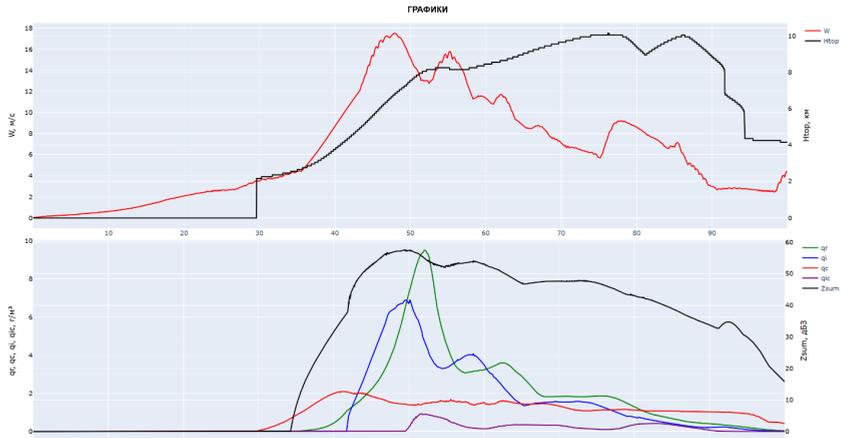


Рисунок 2 – Результат выполнения программы «Extremum visualizer». Графики некоторых параметров облака.

Получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ [4].

Список литературы

1. Шаповалов В.А., Ковалев Е.А., Кулиев Д.Д., Муратов И.А. Исследование пространственного распределения микроструктурных и электрических параметров в мощном конвективном облаке на основе трехмерной численной модели // Инженерный вестник Дона, 2020 г. – С. 169 - 170
2. Веремей Н.Е., Довгалюк Ю.А., Затевахин М.А., Игнатьев А.А., Морозов В.Н., Пастушков Р.С. Описание базовой численной нестационарной трехмерной модели конвективного облака // Труды ГГО, 2016 г. – Вып. 582. – С. 45 – 91
3. Михайловский Ю.П., Торопова М.Л., Веремей Н.Е., Довгалюк Ю.А., Синькевич АА., Янг Д., Лу Д. Динамика электрической структуры кучево-дождевых облаков // Известия Вузов. Радиофизика, 2021 г. – С. 341 -353
4. Федотова Г.Д., Торопова М.Л., Веремей Н.Е. Постобработка и визуализация результатов трехмерного численного моделирования облачной конвекции «Extremum visualizer» версия 1.0: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2024683537, 2024 г.

СЕКЦИЯ 2

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ РАЗНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ МАСШТАБОВ

ИЗМЕНЕНИЕ ГТК НА ТЕРРИТОРИИ Г. СУХУМ И Г. СТАВРОПОЛЬ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РЕГИОНА

Афанасьев И.С.¹, Хинтуба Л.В.^{2,3}, Экба Я.А.^{2,3}, Закирян Р.Г.⁴

¹Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик, Россия,

²Институт экологии Академии наук Абхазии г. Сухум, Абхазия,

³Абхазский государственный университет, г. Сухум, Абхазия

⁴Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия

afana5jew.igor@yandex.ru, LolitaKhintuba@yandex.ru

Аннотация. В данной работе рассматриваются изменения гидротермического коэффициента (ГТК) на Кавказе в городе Сухум и городе Ставрополь, а также его влияние на агроклиматические условия региона. Анализируется динамика ГТК в контексте изменения климатических параметров, выявляются тенденции и возможные последствия для сельского хозяйства. Особое внимание уделяется влиянию колебаний ГТК на влажность почвы, вегетационные периоды и продуктивность сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова. Гидротермический коэффициент (ГТК), климат, влажность, эрозия, агроклиматические условия.

THE CHANGE IN THE GTC IN THE TERRITORY OF SUKHUM AND STAVROPOL AND ITS IMPACT ON THE AGRO-CLIMATIC CONDITIONS OF THE REGION

Afanasyev I. S.¹, Khintuba L. V.^{2,3}, Ekba Y. A.^{2,3}, Zakinyan R. G.⁴

¹Highland Geophysical Institute, Nalchik, Russia

²Institute of Ecology of the Academy of Sciences of Abkhazia, Sukhum, Abkhazia

³Abkhaz State University, Sukhum, Abkhazia

⁴North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

Annotation. This paper examines the changes in the hydrothermal coefficient (HTC) in the Caucasus in the city of Sukhum and the city of Stavropol, as well as their impact on the agro-climatic conditions of the region. The dynamics of the HTC in the context of climate change is analyzed, trends and possible consequences for agriculture are identified. Special attention is paid to the effect of fluctuations in the HTC on soil moisture, growing seasons and crop productivity.

Keywords. HTC, climate, humidity, erosion, agro-climatic conditions.

Гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова (ГТК) показывает степень увлаженности территории и ее пригодность для сельскохозяйственных культур. Формула расчёта ГТК:

$$\text{ГТК} = 10R / \sum T_{\geq 10^{\circ}\text{C}}, \quad (1)$$

где R представляет собой сумму осадков в миллиметрах за период с температурами выше $+10^{\circ}\text{C}$; $\sum T_{\geq 10^{\circ}\text{C}}$ определяет сумму температур в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$) за то же время.

При ГТК=1 наблюдается оптимальный баланс тепла и влаги. Значения ниже 0,7 указывают на засушливый климат, а ГТК<0,4 считается критическим. Показатели выше 1,6 свидетельствуют об избыточных осадках, что также негативно сказывается на урожае. Повышенная влажность способствует развитию грибковых заболеваний растений, тогда как засушливость снижает урожайность и делает невозможным выращивание некоторых сортов [4, 5].

Глобальное климатическое изменение ГТК существенно влияет на агроклиматические условия Абхазии и юга России, особенно в Ставрополье. Основные аспекты воздействия:

1. Изменение температурного режима. В последние десятилетия наблюдается общее повышение среднегодовой температуры в различных регионах, в том числе на Кавказе.

2. Изменение режима осадков. Климат становится непредсказуемым с увеличением частоты сильных ливней, что повышает риск эрозии почв. В некоторых районах учащаются продолжительные засухи, требующие улучшения систем орошения.

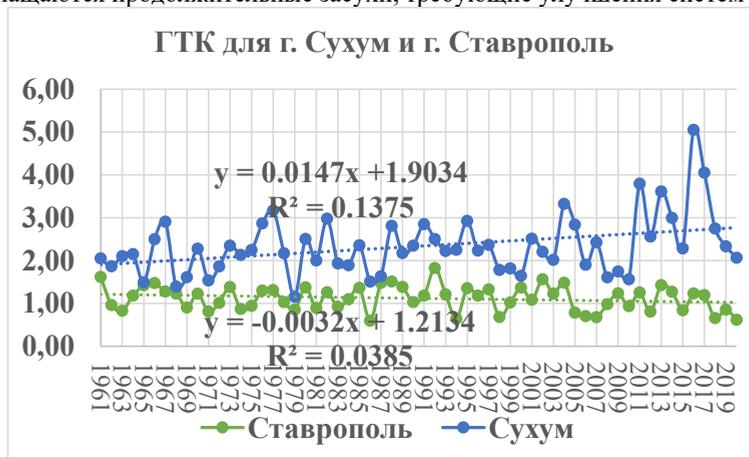


Рисунок 1 - Изменение ГТК для г. Сухум и г. Ставрополя с 1961-2020 гг.

На рисунке 1 показан график ГТК г. Сухум и г. Ставрополя, на котором также четко прослеживается тренд ГТК в последние десятилетия.

В целом, среднее значение ГТК для г. Ставрополя соответствует норме (ГТК_{ср}=1.1), однако есть тенденция к более частым и ощутимым засухам, в отдельные годы ГТК равен 0.6-0.7, что необходимо учитывать также аграриям. Также, в среднем, ГТК для г. Ставрополя уменьшилось на 0.2 за 60 лет, дальнейшая тенденция может привести превращение степной зоны региона в полупустыни (особенно соседних, более засушливых городов на юго-востоке Ставрополья) [3].

Данные тенденции должны привести к пересмотру площадей засева культур в пользу более засухоустойчивых (например, зернобобовых, кормовых культур). Также, с учетом изменения температурного режима и снижения ГТК, необходимо периодически пересматривать сроки посева и сбора озимых [1].

Для г. Сухум, находящегося вблизи Черного моря, стоит отметить, что еще до 1960 гг. ГТК был равен 1.9 – такие значения свидетельствуют о высокой влажности климата. В последние годы частота и интенсивность осадков только возросла (с 2010 по 2020 гг. зафиксировано 5 раз ГТК ≥ 3), за все указанное время наблюдения – ГТК_{ср}=2.3 [2], то есть избыточное увлажнение климата становится всё более выраженным.

В отдельные периоды данные изменения ГТК для г. Сухум оказывают комплексное влияние на агроклиматические условия и сельское хозяйство, включая как положительные, так и отрицательные эффекты.

Положительное влияние:

1. *Снижение риска засух.*
2. *Повышение урожайности влаголюбивых культур (рис, картофель, кукуруза).*
3. *Улучшение водоснабжения за счет повышения уровня грунтовых вод.*

Отрицательное влияние:

1. *Затопление и ухудшение аэрации корней.*
2. *Развитие грибковых и бактериальных заболеваний.*
3. *Снижение урожайности засухоустойчивых культур (виноград, подсолнечник).*
4. *Задержка полевых работ из-за избыточной влаги.*
5. *Эрозия почв и вымывание питательных веществ.*

Анализ ГТК для г. Ставрополя и г. Сухум и его изменение указывает на то, что, несмотря на относительную близость городов, тенденция для ГТК различна, иногда даже крайне противоположна. Это подтверждает выводы о том, что глобальное потепление приводит к увеличению числа природных катастроф и делает климаты регионов более контрастными [6]. Таким образом, умеренно континентальный климат Ставрополя становится более засушливым, а морской климат Сухума – ещё более влажным, что оказывает непосредственное влияние на агроклиматические условия Кавказа.

Список литературы

1. *Антонов С.А.* Тенденции изменения климата и их влияние на земледелие Ставропольского края // Известия ОГАУ. 2017. №4 (66).
2. *Ахсалба А.К.* Физико-статистические характеристики режима осадков и температуры, их влияние на наземные экосистемы Абхазии. Сухум, 2007. - 175 с.
3. *Бадахова Г. Х.* Границы зон увлажнения территории Ставропольского края в условиях современного климата // Инновационная наука. 2022. №9-1.
4. *Ионова Е.В., Лиховидова В.А., Лобунская И.А.* Засуха и гидротермический коэффициент увлажнения как один из критериев оценки степени ее интенсивности (обзор литературы). *Зерновое хозяйство России.* 2019; (6):18-22.
5. *Карпухин, М. Ю.* Грибковые заболевания томатов в защищенном грунте / М. Ю. Карпухин, Т. Л. Чапалда, Д. В. Перевалова // АгроФорум. – 2023. – № 5. – С. 88-91.
6. *Митрова Т., Хохлов А., Мельников Ю. Пердеро А., Мельникова М., Залобовский Е.* Глобальная климатическая угроза и экономика России в поисках особого пути. – М., 2020. Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО. – 69 с

АНАЛИЗ ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЙ ПЕРЕД ХОЛОДНЫМ АТМОСФЕРНЫМ ФРОНТОМ ВТОРОГО РОДА, КОТОРЫЙ НАБЛЮДАЛСЯ НАД МОСКОВСКИМ РЕГИОНОМ 21 НОЯБРЯ 2024 Г.

Рябова С.А.^{1,2}

¹Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук

²Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта Российской академии наук
riabovasa@mail.ru

Аннотация. На основе анализа результатов инструментальных наблюдений выделены возмущения магнитного поля, опережающие приход холодного атмосферного фронт второго рода, который наблюдался над Московским регионом 21 ноября 2024 г.

Ключевые слова. Атмосферный фронт, магнитное поле Земли, вариация, вейвлет анализ.

**ANALYSIS OF GEOMAGNETIC VARIATIONS IN FRONT OF A COLD ATMOSPHERIC
FRONT OF THE SECOND KIND, WHICH WAS OBSERVED OVER THE MOSCOW
REGION ON NOVEMBER 21, 2024**

Ryabova S.A.

Academician M.A. Sadovsky Institute of Geospheric Dynamics of the Russian Academy of
Sciences

Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences

Annotation. Based on the analysis of the results of instrumental observations, magnetic field disturbances are identified that are ahead of the arrival of a cold atmospheric front of the second kind, which was observed over the Moscow region on November 21, 2024.

Keywords. Atmospheric front, Earth's magnetic field, variation, wavelet analysis.

Неравномерное нагревание земной поверхности и нижних слоев атмосферы является причиной возникновения горизонтальных градиентов температуры. Вследствие горизонтального переноса теплые и холодные воздушные массы могут сближаться друг с другом или, наоборот, удаляться друг от друга. При сближении воздушных масс, имеющих различные характеристики, в зоне между ними увеличиваются горизонтальные градиенты температуры воздуха, влажности, давления, возрастает скорость ветра. Переходные зоны в тропосфере, в которых происходит сближение воздушных масс с различными характеристиками, называются фронтальными зонами [2].

В настоящей работе на основе анализа результатов инструментальных наблюдений выделены возмущения магнитного поля, которые наблюдались перед холодным атмосферным фронтом второго рода 21 ноября 2024 г.

В качестве исходных данных использовались результаты наблюдений за вариациями метеопараметров, выполненных в Центре геофизического мониторинга г. Москвы Института динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук, результаты наблюдений за вариациями метеопараметров, выполненных на обсерватории «Москва» Института Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкина Российской Академии наук, а также результаты наблюдений за вариациями магнитного поля Земли (ГЦ РАН) и метеопараметров, выполненных в Геофизической обсерватории «Михнево» Института динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук.

Помимо анализа временных вариаций в работе выполнялся спектральный анализ на основе вейвлет-преобразования. Использовалось непрерывное вейвлет-преобразование, в качестве базисного вейвлета использовался вейвлет Морле. Представление результатов вейвлет-преобразования оформлено в виде скалограмм (локальный спектр энергии) с учетом «краевых» эффектов (конус влияния) [5].

Результаты предыдущих исследований [3, 6, 7] анализа частотного состава геомагнитных вариаций, зарегистрированных в период высокоэнергетических событий, показали, что в период такого рода событий записи геомагнитных вариаций искажены вариациями магнитного поля, вызванными источниками солнечного происхождения (за исключением восточной горизонтальной компоненты магнитного поля), поэтому в ходе настоящей работы проводился анализ вариаций восточной горизонтальной компоненты магнитного поля, предшествующих холодному атмосферному фронту,

Анализ временных вариаций и результаты спектрального анализа на основе вейвлет-преобразования свидетельствуют о том, что перед холодным фронтом второго рода наблюдаются вариации в магнитном поле Земли в диапазоне внутренних гравитационных волн. Вызванные атмосферным фронтом ВГВ распространяются

впереди атмосферного фронта в силу условий излучения [4] и достигают ионосферы, где приводят к вариациям ионосферных токов. Отмечается, что низкочастотная часть геомагнитных возмущений приходит раньше, чем высокочастотная часть. Опережение низкочастотной части геомагнитных возмущений по сравнению с высокочастотной следует из дисперсионного соотношения для ВГВ [1].

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИДГ РАН «Преобразование геофизических полей как основной фактор межгеосферных взаимодействий» (№ 125012700798-8) и в рамках государственного задания ИФЗ РАН.

Список литературы

1. *Грачев А.И., Данилов С.Д., Куличков С.Н., Свертилов А.И.* Основные характеристики ВГВ в нижней атмосфере от конвективных штормов // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 1994. Т.30. №6. С. 759–767.
2. *Дашко Н. А.* Курс лекций по синоптической метеорологии. Владивосток: ДВГУ, 2005.
3. *Рябова С. А., Ольшанская Е. В., Шалимов С. Л.* Отклик нижней и верхней ионосферы на землетрясения в Турции 06.02.2023 г. // Физика Земли. 2023. № 6. С. 153–162. DOI: 10.31857/S0002333723060182.
4. *Gossard E., Hook W.* Waves in the atmosphere: atmospheric infrasound and gravity waves: their generation and propagation. — Amsterdam, New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1975.
5. *Riabova S.* Application of wavelet analysis to the analysis of geomagnetic field variations // Journal of Physics Conference Series. 2018. V. 1141. DOI: 10.1088/1742-6596/1141/1/012146.
6. *Riabova S.A., Shalimov S.L.* Ionospheric response of earthquakes in the Philippines from November to December 2023 // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2024. V. 60(6). P. 1016–1025. DOI: 10.1134/S1069351324701015.
7. *Riabova S.A., Shalimov S.L.* On the geomagnetic and ionospheric variations after the 2023 strong eruption of the Shiveluch volcano // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2024. V. 60(4). P. 612–621. DOI: 10.1134/S1069351324040013.

ВЛИЯНИЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНОВ НА ПОЛЕТЫ САМОЛЕТОВ И ВЕРТОЛЕТОВ

Акसेлевич В.И.^{1,2}, Мазуров Г.И.²

¹Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики

²Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова
vaksster@gmail.com nanmaz@rambler.ru

Аннотация. Не иссякают проблемы авиационных метеорологов. Одно из первых мест по значимости стали занимать полеты в период интенсивного извержения вулканов. Они потребовали разработки новых моделей распространения примесей в атмосфере и уточнения прогноза ветровой обстановки.

Ключевые слова. Авиационная метеорология, извержения вулканов, прогнозы, пепел, диоксид серы, климат, полеты, мониторинг

MODERN PROBLEMS OF AVIATION

Akselevich V.I.^{1,2}, Mazurov G.I.²

¹Saint Petersburg University of Management Technologies and Economics

²Main Geophysical Observatory named after A.I. Voeikova
vaksster@gmail.com nanmaz@rambler.ru

Abstract. The problems of aviation meteorologists do not dry up. One of the first places in importance began to occupy flights during the period of intense volcanic eruptions. They required the development of new models of the spread of impurities in the atmosphere and refinement of the forecast of the wind situation.

Keywords. Aviation meteorology, volcanic eruptions, forecasts, ash, sulfur dioxide, climate, flights, monitoring

В настоящее время специалисты в области авиационной метеорологии выделяют 8 основных погодных опасностей для полетов авиации. К ним относятся: грозы, низкая облачность, ограниченная видимость, турбулентность, обледенение, вулканический пепел, сдвиг ветра на малых высотах, турбулентность на малых высотах. Они достаточно подробно рассмотрены в учебниках и монографиях [1, 2]. В последние десятилетия авиационные метеорологи столкнулись со случаями попадания летательных аппаратов (ЛА) в облака, возникающие при извержении вулканов.

На Земле насчитывается более 1000 действующих вулканов. Серьезную опасность для летательных аппаратов представляют облака вулканического пепла, выброшенные в атмосферу. Пепел воздействует на фюзеляж и аэродинамические поверхности самолета, а также на турбореактивные двигатели и узлы обзора (фонарь и иллюминаторы). В последнем случае это затрудняет или даже вовсе исключает пространственную ориентировку экипажа в полете. Частицы пепла могут иметь абразивную структуру и повреждать не только поверхность фонаря (рисунок 1) и лопатки двигателей, но и фюзеляж и другие части ЛА (рисунок 2).

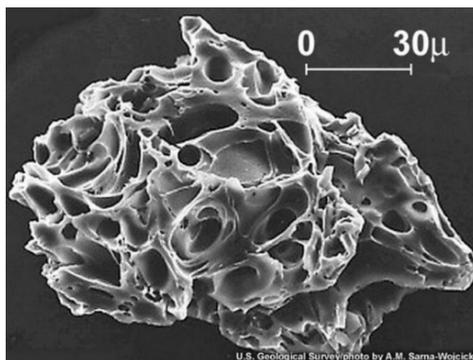


Рисунок 1 - Частичка вулканического пепла при извержении вулкана Сент-Хеленс в 1980 году. Она состоит из мелких частиц тefры диаметром менее 2 мм

Вследствие того, что пепел является абразивным материалом, согласно данным Международной организации гражданской авиации (ICAO), могут ожидать следующие события [1]: – засорение датчиков и систем измерения; – эрозия внешних элементов воздушного судна; – загрязнение систем кондиционирования и герметизации; – отказ одного или нескольких двигателей и их неустойчивая работа.

Одним из наиболее опасных повреждений газотурбинных двигателей является эрозионно-абразивный износ лопаток компрессора, а также формирование стекловидных отложений на деталях и сборочных единицах «горячей части» двигателя, прежде всего на сопловых лопатках первой ступени турбины высокого давления, которые могут привести к непрекращающимся помпажам компрессора и потере тяги двигателя.



Рисунок 2 - Пример серьезной поломки лопастей несущего винта вертолета после его пролета вблизи действующего вулкана

Ключевым механизмом повреждения компрессора является абразивно-эрозионный износ лопаток компрессора. Так, в результате длительного ударения твердых частиц пепла по профилю лопатки компрессора возможно существенное изменение её формы и контуров, подобно воздействию чрезмерно запыленной атмосферы на лопатки вертолетного двигателя в условиях пустыни.

Аккумуляция частиц вулканического облака на сопловом аппарате может стать причиной отключения двигателя. В условиях глобального роста мировых авиaperевозок уделяется особое внимание безопасности полетов, в том числе оценивается устойчивость работы двигателей при попадании самолетов в облака вулканического пепла.

Прогнозисты также должны понимать важность прогноза направления и скорости ведущего потока, перемещающего вулканическое облако и трансформацию его размеров под влиянием вертикальных и горизонтальных потоков. Эта работа начинается, когда на метеостанцию поступает информация о месте расположения и начале извержения вулкана, а также о координатах предполагаемого района запрета полетов.

В интересах понимания причин и характеристик вулканических извержений, обнаружения вулканического пепла, прогнозирования движения шлейфа и оценки социальных последствий необходимо скрупулезно рассмотреть физику протекающих природных процессов в атмосфере.

Эти знания повысят ситуационную осведомленность метеоролога в отношении опасности вулканов и вулканических извержений. Они также позволят интерпретировать различные вулканические продукты и переводить научную информацию о вулканах в термины, которые наиболее значимы для общественности.

В таблице 1 приведены сведения о наиболее известных авиационных инцидентах, связанных с извержениями вулканов.

Таблица 1 – Сводная таблица авиационных инцидентов с выходом из строя авиационных двигателей из-за попадания в облако вулканической пыли [3]

Дата	Вулкан	Страна	Высота, км	Продолжительность, мин	Расстояние, км	Время после инцидента, час	Марка самолета	Кол-во двигателей
23.05.1980	Гора Св. Елены	США	4,6-4,9	-4	-100	-2,5	C-130	2-4
24.06.1982	Галангунг	Индонезия	11,3	13	150	-2	B747	4-4
13.07.1982	Галангунг	Индонезия	10,1			-2	B747-200B	3-4
15.12.1989	Редаут	США	7,6	-8	150	1,5	B747-400	4-4
17.06.1991	Пинатубо	Филиппины	11,3	2	930		B747-200B	2-4

*Материалы III международной научно-практической конференции
«Авиационная и спутниковая метеорология»
19-20 марта 2025 г*

17.06.1991	Пинатубо	Филиппины					ДС-10	1-3
27.06.1991	Унизен	Япония	11,3			<24	ДС-10	2-3
29.07.2001	Суфриер Хиллс	Малые Антильские о-ва			<500	<24	V767-400	1-2
17.06.2006	Манам	Папуа-Новая Гвинея	11,9	7	250	<24	Гольфстри м -II	2-2

Извержения вулканов и выбросы пепла могут стать причиной больших трудностей для местных и региональных властей из-за выпадения пепла, грязевых потоков и загрязнения воды. Эти извержения с их шлейфами дрейфующего пепла не только вызывают существенные задержки полетов, но и могут нанести значительный ущерб как авиационной технике, так и специфическому оборудованию. Пыль и газы, выбрасываемые во время извержений, могут влиять на климат Земли как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе в зависимости от взаимодействия вулканического материала и солнечного света.

В свете последствий извержения вулкана любая правительственная или неправительственная организация по всему миру, которая обязана реагировать на природные инциденты, должна быть знакома с процессами и опасностями, создаваемыми такими извержениями. Это позволит смягчить вред, предоставить критически важную информацию для распределения ресурсов реагирования, планирования помощи и принятия решений по реагированию, документировать ущерб и купировать неблагоприятные последствия для природных ресурсов.

Авиационный метеорологический центр управляет веб-сайтом Службы авиационных цифровых данных (ADDS) и несколько раз в день выпускает совместный конвективный прогностический продукт (CCFP) в течение сезона конвекции.

На рисунке 3 приведен пример прогноза распространения вулканической пыли за 30 октября 2012 года. Как видите продукты вулканического извержения наблюдаются над территорией США, северо-восточной частью Тихого океана и западом центральной части Атлантического океана.

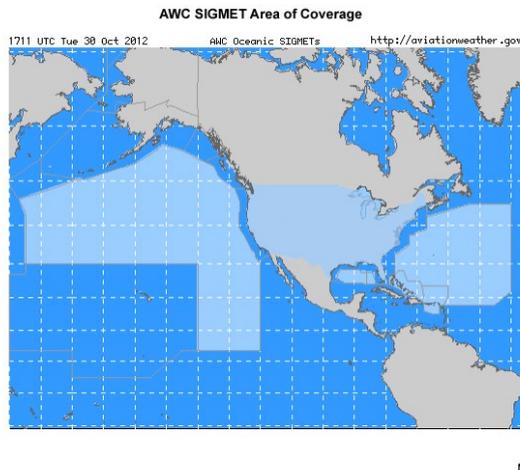


Рисунок 3 - Схема распространения облака вулканического пепла вблизи территории США

Аляскинское авиационно-метеорологическое подразделение включает в себя Консультативный центр по вулканическому пеплу Анкориджа (VAAC), который осуществляет мониторинг более 100 исторически активных вулканов в регионе.

«С 1953 по 2009 год было зарегистрировано более 129 инцидентов, когда самолеты сталкивались с вулканическим пеплом» [3]; 79 из них привели к физическому повреждению самолета. 26 разрушительных столкновений следует считать достаточно серьезными, включая девять инцидентов, которые привели к потере мощности в полете в одном или нескольких двигателях» [4].

В период с 2018 по 2022 год Консультативный центр по вулканическому пеплу в Вашингтоне (VAAC) выпустил более 23000 предупреждений о вулканическом пепле (VAA).

Рассмотрим теперь в качестве примера последовательность событий, которые повлияли на воздушное движение после извержения вулкана Райкоке на одном из Курильских островов в июне 2019 года, и движение и эволюцию следовавших за ним облаков пепла и SO₂.

Короткое, но интенсивное извержение началось 21 июня 2019 года, вызвав выбросы пепла и SO₂ в стратосферу и на расстояние более 1000 км. Сильные взрывы фиксировались в течение следующих 48 часов, а затем продолжались незначительные выбросы. Поднялось облако пепла.

Токийский консультативный центр по вулканическому пеплу (VAAC) впервые обнаружил шлейф пепла на спутниковых снимках на высоте 10,4 км в 18:50 21 июня 2019 года, чуть менее чем через час после того, как о взрыве впервые сообщила KVERT (Камчатская группа реагирования на вулканические извержения). Примерно через четыре часа Токио увеличил высоту до 13,1 км на основе спутниковых данных и отчета пилота.

22 июня Анкориджский VAAC взял на себя операции по этому облаку пепла и после пяти дней мониторинга больше не смог обнаружить шлейф пепла на спутниковых снимках вскоре после полуночи по всемирному времени (UTC) 27 июня. Однако облако SO₂ продолжало циркулировать над Дальним Востоком России и Беринговым морем в течение более трех недель после первоначального взрыва.

Анкориджский VAAC сообщил 23 июня 2019 года, что шлейф пепла скрывается другими облаками вокруг большой и глубокой системы низкого давления в западной части Берингова моря.

Предупреждение VAA является наиболее важным документом, описывающим вулканический пепел в пространстве. Оно включает информацию о текущем и будущем местоположении облака пепла в течение следующих 18 часов. В течение 20 минут после обнаруженного извержения в зоне ответственности VAAC должно быть выписано предупреждение, включающее местоположение вулкана, а в течение 75 минут после извержения предупреждение должно включить текущее и прогнозируемое местоположение облака пепла. Вся эта информация преобразуется в картографический вид, а затем передается в ориентировку SIGMET для немедленного выпуска.

Далее материал должен обновляться через каждые 6 часов. Текущие контуры облака пепла анализируются прогнозистами VAAC на основе постоянного спутникового мониторинга (RGB-изображения GOES Ash и SO₂ и изображения Split Window Difference), выходных данных VOLCAT (пакет искусственного интеллекта, включающий информацию о спутниковой и числовой модели прогнозирования погоды) от CIMSS (Кооперативный институт метеорологических спутниковых исследований) и донесения пилотов.

Американский спутник GOES-R использует 5 диапазонов длин волн для получения информации о перемещении вулканической пыли: 7,3; 8,4; 10,3; 12,3 и

13,3мм. Кроме того, можно использовать радиолокационную информацию, которую необходимо комплексировать со спутниковой.

Все продукты VAA включают высоту облака вулканического пепла, а в NAS все VAA предполагают, что основание облака находится на поверхности. Когда верхняя часть облака пепла находится низко, некоторые летательные аппараты могут вполне безопасно пролетать над верхней частью облака пепла, но всегда рекомендуется соблюдать осторожность в отношении вулканического пепла, поскольку точную высоту пепла определить сложно.

В прогнозе облака пепла указываются текущее и будущее расположение облака пепла, а также любые неопределенности, текущее и будущее местоположение облака SO₂, список аэропортов, где происходит выпадение пепла и список закрытых из-за выпадения пепла аэропортов.

В заключении следует сказать, что извержение вулкана является сложным геологическим процессом, возникновение которого практически не предсказывается, а прогноз его эволюции затруднителен. Само извержение и его облако оказывает отрицательное влияние на многие отрасли хозяйственной и промышленной деятельности, в том числе на полеты всех видов авиации и типов ЛА.

Метеорологи при прогнозе эволюции вулканического облака должны обращать внимание на точность прогноза параметров ведущего потока и на изменение конфигурации этого облака под влиянием нисходящих и восходящих потоков.

Список литературы

1. *Богаткин О.Г.* Основы авиационной метеорологии. Учебник. - СПб.: Изд. РГГМУ, 2009. - 339 с.
2. *Мазуров Г.И., Нестерук В.Н.* Метеорологические условия и полеты вертолетов. – СПб., Гидрометеиздат, 1992. – 256 с.
3. *Guffanti, Marianne, Thomas J. Casadevall, and Karin E. Budding.* Encounters of aircraft with volcanic ash clouds: A compilation of known incidents, 1953-2009. US Department of Interior, US Geological Survey, 2010. <https://pubs.usgs.gov/ds/545/DS545.pdf>
4. *Lechner, P., Tupper, A., Guffanti, M., Loughlin, S., Casadevall, T. (2017).* Volcanic Ash and Aviation—The Challenges of Real-Time, Global Communication of a Natural Hazard. In: Fearnley, C.J., Bird, D.K., Haynes, K., McGuire, W.J., Jolly, G. (eds) *Observing the Volcano World. Advances in Volcanology.* Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/11157_2016_49

ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ПОЛУОСТРОВА ИНДОКИТАЙ

Закусилов В.П., Буи Т.Д.,

ВУНЦ ВВС «ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
zakusilov04@yandex.ru

Аннотация. Выявлены особенности температурного режима приземного слоя атмосферы полуострова Индокитай наблюдаемые в сухом и влажном сезонах года.

Ключевые слова. Полуостров Индокитай, температурный режим, средняя месячная температура, среднеквадратическое отклонение температуры, сухой сезон, влажный сезон.

FEATURES OF THE TEMPERATURE REGIME OF THE SURFACE LAYER OF THE ATMOSPHERE OF THE INDOCHINA PENINSULA

Zakusilov V.P. Bui T.D.

Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N.E. Zhukovsky and Y.A.
Gagarin Air Force Academy», Voronezh

Annotation. The peculiarities of the temperature regime of the surface layer of the atmosphere of the Indochina peninsula observed in the dry and wet seasons of the year are revealed.

Keywords. Indochina Peninsula, temperature regime, average monthly temperature, standard deviation of temperature, dry season, wet season.

Температурный режим приземного слоя атмосферы играет ведущую роль в развитии погодообразующих процессов как локального, так и глобального уровня, происходящих в атмосфере. Именно он в первую очередь определяет глобальное изменение климата. Наметившееся в настоящее время глобальное потепление, по мнению многих ученых, обуславливает увеличившееся количество стихийных бедствий гидрометеорологического характера. В связи с этим изучение и уточнение температурного режима воздуха как в целом на планете, так и в отдельных ее регионах является задачей актуальной.

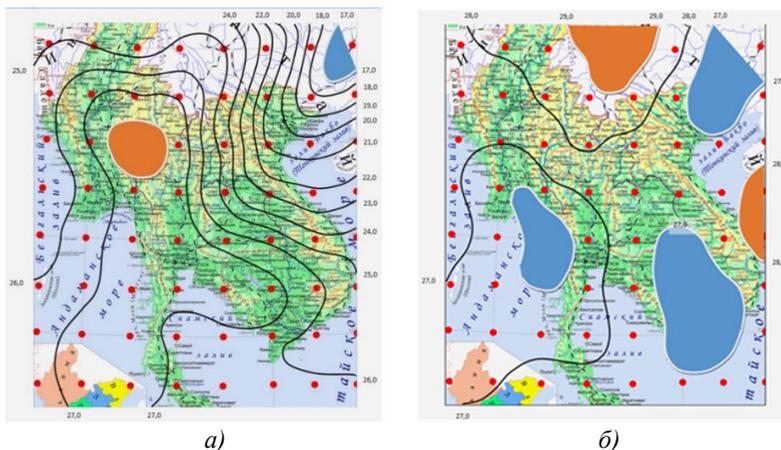
Целью работы является выявление особенностей, по уточненным современным данным, температурного режима на территории полуострова Индокитай (рис.1), наблюдаемого в месяцах сухого и влажного сезонов.



Рисунок 1 – Местоположение полуострова Индокитай на континенте Евразия и схема расположения узлов регулярной сетки точек

Исходными данными в работе явились среднемесячные значения температуры приземного слоя в узлах регулярной сетки точек с шагом $2,5^0 \times 2,5^0$ [1] в секторе с широтой $7,5^0 - 25,0^0$ с.ш., $92,5^0 - 110,0^0$ в.д., охватывающем территорию полуострова [2]. Архивная выборка длиной 20 лет включала период с 2003 по 2022 год. Сухой сезон включал в себя период с ноября по май, влажный – период с июня по октябрь.

По физико-географическому районированию полуостров относится к сектору юго-восточная Азия, к физико-географической стране – Индокитай. На юге и востоке полуостров омывается водами Тихого океана (Сиа́мский залив, Китайское море), на западе – водами Индийского океана (Андаманское море), расположен в субэкваториальном и экваториальном климатических поясах. Зимой господствует северо-восточный пассат, полуостров в этот период подвергается вторжениям относительно холодного континентального воздуха, проникающего вплоть до 15^0 с. ш. Основную массу



а) б)
Рисунок 2 – Карта средних значений температуры воздуха для:
а) сухого сезона; б) влажного сезона

Из анализа рисунка 2а следует, что особенностью температурного режима сухого сезона является полоса экстремально-максимальных значений температуры воздуха простирающаяся с северо-запада на юго-восток территории полуострова, с максимальными значениями в очаге на северо-западе – около $+29^{\circ}\text{C}$, второй очаг на юго-востоке со значением чуть более $+27^{\circ}\text{C}$. Экстремально-минимальные значения температуры воздуха наблюдаются на северо-востоке полуострова и составляют $+20$ – $+22^{\circ}\text{C}$. Таким образом контраст температур на рассматриваемой территории составляет до 7° .

Из анализа рисунка 2б следует, что особенностью температурного режима влажного сезона является достаточно ровное поле среднесезонных температур на территории полуострова. Несколько выше отмечаются температуры на севере, северо-западе территории (28 – 29°C), ниже – в юго-восточной части и на юго-западном побережье полуострова (26 – 27°C). Таким образом контраст температур на рассматриваемой территории составляет не более 3° .

Проводя сравнительный анализ полей на рисунке 2 можно сделать общий вывод, что в климатических полях средних за сухой и влажный сезон значений температуры воздуха имеются свои характерные особенности, проявляющиеся в значениях температуры и местоположении очагов с максимальными и минимальными ее значениями. Данные особенности более выражены для сухого сезона, чем для влажного.

Расчет средних значений температуры производился по отдельным выборочным значениям, которые наблюдались за многолетний период времени. Индивидуально все выборочные значения отличаются в положительную или отрицательную сторону от расчетного среднего, то есть испытывают некоторый разброс или вариацию. Мерой доверия к полученным средним значениям может служить величина среднего квадратического отклонения от расчетных средних, которая характеризует разброс рассматриваемой величины [4] и рассчитывается по формуле (4):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n}} \quad (4)$$

где \bar{X} – выборочное среднее, n – размер выборки.

На рисунке 3 представлено территориальное распределение среднеквадратических отклонений значений температуры воздуха от рассчитанных климатических значений, сухого и влажного сезонов.

Из анализа рисунка 3а следует, что достаточно высокие значения среднеквадратических отклонений температуры воздуха в сухом сезоне наблюдаются на северо-востоке территории полуострова. Их значения по величине составляют от 3 до 5⁰, на оставшейся территории их значения меньше и составляют от 2⁰ на севере с уменьшением до 1,3 – 2⁰ в центральных районах и до 0,5-0,7⁰ в южных, юго-восточных районах полуострова.

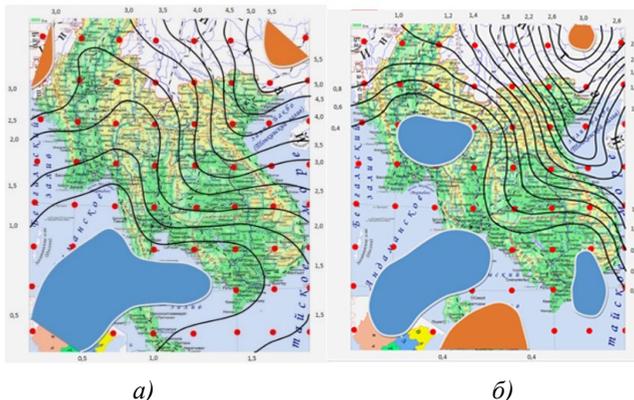


Рисунок 3 – Карта значений с.к.о. средней температуры воздуха для:
а) сухого сезона; б) влажного сезона

Анализ рисунка 3б указывает на схожесть распределения значений среднеквадратических отклонений температуры влажного сезона с распределением значений среднеквадратических отклонений, наблюдаемых в сухом сезоне, но отличие наблюдается в самих значениях. На северо-востоке территории полуострова величина значений составляет от 1,5 до 2,5⁰. На оставшейся территории (в центральных районах, южных и юго-восточных районах полуострова) значения среднеквадратических отклонений меньше и составляют 0,2-0,5⁰.

Рассчитанные значения среднеквадратических отклонений среднемесячных значений температуры воздуха и представленные графически позволяют судить о степени доверия к климатическим данным о среднемесячной температуре воздуха в тех или иных районах исследуемой территории. С большим доверием к климатическим данным о среднемесячной температуре воздуха можно относиться в районах с меньшими значениями среднеквадратических отклонений. Таким районом можно считать всю территорию полуострова для влажного сезона и почти всю (за исключением северо-восточной части) для сухого сезона.

Список литературы

1. NCEP/DOE AMIP II Reanalysis [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis2.html> (дата обращения: 15.12.2024).
2. Атлас гидрометеорологических данных Африка том II. / под ред. А.И. Аюпова, Е. П. Борисенкова, И. Д. Копанева. – С-Пб.: 1993. – 355 с.
3. Тараканов Г.Г. Тропическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 176 с.
4. Елисеева И. И. Статистика. Учебник – Издательский дом «Питер», 2021. – 368 с.

ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО – ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА СУТОЧНЫЙ ХОД ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

Дорофеев В.В., Степанов А.В., Подгузов М.Ю.

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж
metemilitary@yandex.ru

Аннотация. В статье представлено исследование влияния физико-географических условий на суточный ход температуры воздуха.

Ключевые слова. Климат, температура воздуха, амплитуда температуры воздуха, широта, долгота.

INFLUENCE OF PHYSICAL AND GEOGRAPHICAL CONDITIONS ON THE DAILY COURSE OF AIR TEMPERATURE IN THE SURFACE LAYER OF THE ATMOSPHERE

Dorofeev V.V., Stepanov A.V., Podguzov M.Yu.

Military Training and Research Center of the Air Force "Military Air Academy named after Professor
N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin", Voronezh

Annotation. The article presents a study of the influence of physical and geographical conditions on the daily course of air temperature.

Keywords. Climate, air temperature, air temperature amplitude, latitude, longitude.

Последнее десятилетие стало самым теплым за всю историю наблюдений, побив серию температурных рекордов. Повышение температуры воздуха со временем приведет к изменению климата. Так как температура воздуха является не только причиной изменения климата, но и одним из его индикаторов, хорошо заметным при суточном ходе, то при разработке прогноза погоды необходимо учитывать суточные изменения температуры воздуха под влиянием физико – географических условий, выраженные значениями амплитуды температуры воздуха [1]:

$$A_T = T_{\max} - T_{\min} \quad (1)$$

где T_{\max} – максимальная температура за сутки;

T_{\min} – минимальная температура за сутки.

Учет амплитуд температуры воздуха зависит от типа природных зон, так как там, где среднесуточная изменчивость температуры в среднем мала, суточная амплитуда может быть значительная [2].

На изменение температуры воздуха у земли оказывают влияние следующие факторы:

1) постоянно действующие - географическая широта, долгота, высота места над уровнем моря, рельеф, характер подстилающей поверхности и другие, не зависящие от времени года и циркуляции;

2) изменяющиеся - приток солнечной радиации к земной поверхности в течение суток, облачность, влажность, прозрачность атмосферы, состояние подстилающей поверхности, стратификация воздуха, турбулентность.

Для прогноза температуры воздуха в различных физико-географических условиях необходимо использовать данные средних суточных амплитуд приземной температуры воздуха (из климатических справочников), которые представляют средние трансформационные изменения температуры воздуха у земли за интервал времени, близкий к 12 часам. В исключительных случаях (при отсутствии в климатическом

справочнике сведений) используются климатические нормы и средние многолетние данные ближайшей метеорологической станции. Как правило использование климатических норм и средних многолетних данных ближайших метеорологических станций возможно только для равнинной местности [3].

Целью статьи является повышение качества прогноза температуры воздуха с учетом влияния физико-географических условий и локальных (трансформационных) изменений температуры воздуха в зависимости от широты (φ) и долготы (λ).

Для анализа трансформационных изменений температуры в зависимости от физико-географических условий из климатических справок были отобраны станции, расположенные вдоль $\varphi = 59^\circ, 54^\circ, 53^\circ, 51^\circ, 45^\circ$ и $\lambda = 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ$.

По климатическим данным выбранных станций определены амплитуды температуры воздуха, характеризующие ее средние суточные локальные (трансформационные) изменения в приземном слое атмосферы [2, 3].

В качестве примера на рисунках 1 и 2 представлены зависимости амплитуды температуры воздуха в январе и июле от изменения долготы и широты.

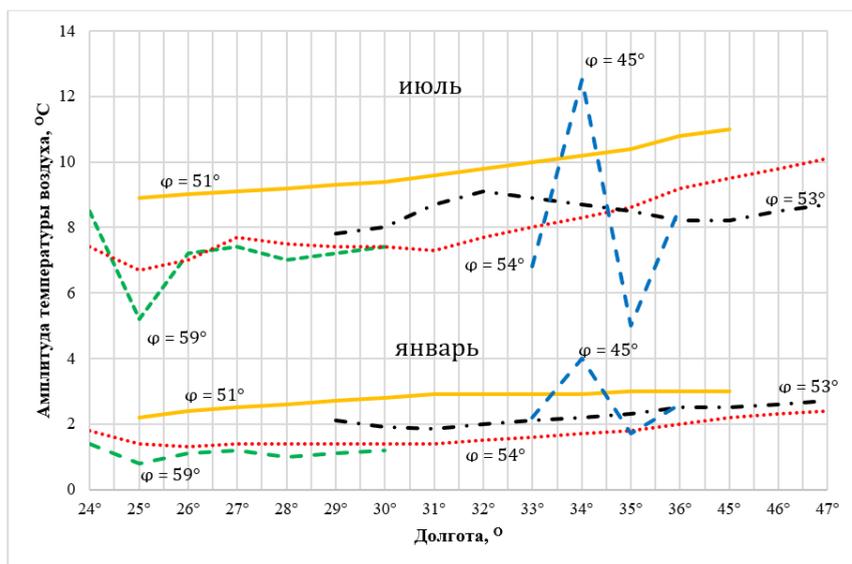


Рисунок 1 – Зависимость амплитуды температуры воздуха от физико-географических условий при изменении долготы вдоль заданной широты ($\varphi = 59^\circ, 54^\circ, 53^\circ, 51^\circ, 45^\circ$)

Анализ рисунков 1 и 2 показывает, что:

- рост средних значений амплитуды температуры воздуха происходит по мере увеличения долготы (рисунок 1) и широты (рисунок 2). Это объясняется тем, что влияние Атлантического океана (при увеличении долготы) и Северного Ледовитого океана (при увеличении широты) ослабевает, а влияние континента увеличивается (постоянно действующий фактор);

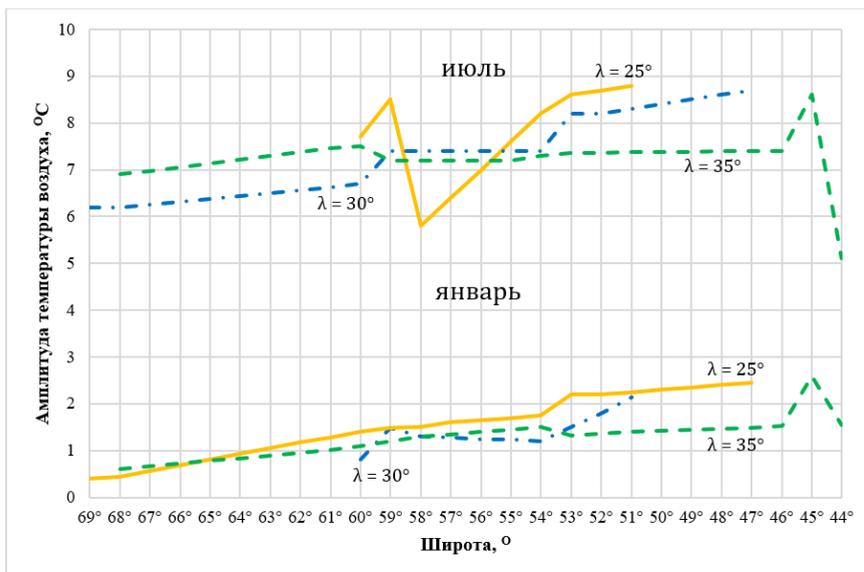


Рисунок 2 – Зависимость амплитуды температуры воздуха от физико-географических условий при изменении широты вдоль заданной долготы ($\lambda = 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ$)

- резкие изменения линии тренда средних значений амплитуды температуры воздуха на рисунках 1 и 2 происходят в прибрежных районах ($\varphi=59^\circ, \lambda=24-25^\circ$ - район Финского залива, $\varphi=44-46^\circ, \lambda=35^\circ$ - район Крымского полуострова) в июле – это обусловлено разной теплоемкостью воды (4200 Дж/кг) и суши (840 Дж/кг). В январе резкие изменения линии тренда средних значений амплитуды температуры воздуха наблюдаются только в районе Крымского полуострова, так как акватория Черного моря не замерзает, а значит сохраняется разница в теплоемкости воды и суши. В районе Финского залива резкие изменения отсутствуют. Это обусловлено приблизительно одинаковой теплоемкостью льда на поверхности замерзшего Финского залива (2100 Дж/кг) и снега на суше (2090 Дж/кг) (изменяющийся фактор);

- плавные изменения линии тренда средних значений амплитуды температуры воздуха на рисунке 1 происходят в районе реки Виляя ($\varphi=54^\circ, \lambda=24-26^\circ$), реки Западная Двина ($\varphi=54^\circ, \lambda=30-31^\circ$), реки Днепр ($\varphi=53^\circ, \lambda=31-35^\circ$), Киевского ($\varphi=53^\circ, \lambda=30-32^\circ$) и Саратовского ($\varphi=53^\circ, \lambda=48-50^\circ$) водохранилищ;

- плавные изменения линии тренда средних значений амплитуды температуры воздуха на рисунке 2 происходят в районе реки Виляя ($\lambda=25^\circ, \varphi=53-54^\circ$), реки Западная Двина ($\lambda=30^\circ, \varphi=54^\circ$) и реки Днепр ($\lambda=35^\circ, \varphi=54-55^\circ$).

Разница между линиями тренда средних значений амплитуды температуры воздуха на заданной долготе или широте в июле и январе объясняется различным притоком солнечной радиации и состоянием подстилающей поверхности (изменяющийся фактор).

В январе колебания линии тренда средних значений амплитуды температуры воздуха на одной широте не превышают 1°C (кроме $\varphi=45^\circ$), а в июле, за счет увеличения притока солнечной радиации, колебания амплитуды температуры воздуха достигают $3-4^\circ\text{C}$.

Таким образом можно сделать вывод, что при разработке прогноза температуры необходимо учитывать физико-географические условия, оказывающие влияние на

изменение температуры в течении суток под воздействием изменяющихся и постоянно действующих факторов.

Список литературы

1. Всемирная метеорологическая организация. Сайт: wmo.int. (дата посещения 02 марта 2025 года).
2. *Матвеев Л.Т.* Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1965 г.- 876 с.
3. *Шакина Н.П., Иванова А.Р.* Прогнозирование метеорологических условий для авиации. Научно методическое пособие. Москва. Триада лтд, 2016 г.- 312 с.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СУЩЕСТВОВАНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ ПОЛЫНЕЙ ЗАЛИВА ПРЮДС

Солоненко С.Е.¹, Молчанов М.С.², Кашин С.В.², Безгрешнов А.М.², Ильющенко И.А.²

¹СП "Центр гидрометеорологии и аэронавигации ГАПОУ МО Подмосковный колледж
"Энергия"

²Государственный научный центр РФ «Арктический и Антарктический научно-
исследовательский институт», Санкт-Петербург, Россия

¹savvasolonenko@gmail.com ²mms@aari.ru

Аннотация. Приводятся результаты исследования метеорологических условий существования прибрежной полыньи мыса Дарнли в заливе Прюдс (море Содружества, восточная Антарктика) по данным спутниковых наблюдений AMSR-2 и атмосферного реанализа ERA5. На примере выбранных периодов приводится анализ метеорологических условий, способствующих вскрытию и закрытию полыньи в период антарктической зимы с мая по сентябрь.

Ключевые слова. Антарктика, залив Прюдс, морской лед, полыньи, метеоусловия

METEOROLOGICAL CONDITIONS THAT DETERMINE THE FORMATION OF PRUDS BAY COASTAL POLYNYAS

S.E. Solonenko¹, M.S. Molchanov², S.V. Kashin², A.M. Bezgreshnov², I.A. Ilyushchenkova²

¹SP "Centre for Hydrometeorology and Aeronavigation GAPOU College "Energiya", Moscow

²Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg

Abstract. The results of the study of meteorological conditions of existence of the coastal polynya of Cape Darnley in Prydz Bay (Commonwealth Sea, East Antarctica) are presented: from satellite observations and atmospheric reanalysis data. The analysis of meteorological conditions contributing to the polynya opening and closure is presented on the example of the selected periods.

Keywords. Antarctica, Prydz Bay, sea ice, polynyas, weather conditions

Приводятся результаты исследования метеорологических условий, определяющих режим существования прибрежных антарктических полыней, на примере полыньи мыса Дарнли в зимний период в заливе Прюдс (море Содружества, восточная Антарктика). Используемые в исследовании данные о концентрации льда (сплоченности морского льда). Спутниковые данные получены при помощи микроволнового радиометра AMSR-2, измеряющего яркостную температуру каждого пикселя спутникового снимка, значения концентрации льда в пикселе с пространственным разрешением 3,125x3,125 км² получены после автоматической обработки алгоритмом ARTIST Sea Ice (ASI) [1,2]. По данным космических наблюдений были рассчитаны площади полыней и площади открытой воды в полынях. Площадь полыньи рассчитывалась, как площадь акватории,

с внешней границей по сплоченности не более 30%. Площадь открытой водной поверхности рассчитывалась как сумма площадей ячеек S_w внутри полыньи $S_w = S_0 * [1 - IceConcentration]$. Границы районов, внутри которых рассчитывалась площадь полыньи, показаны на рис. 1.

Информация о метеопараметрах (давление, скорость и направление ветра) в приземном слое в области существования полыньи бралась из данных атмосферного реанализа ERA5 (пространственное разрешение $0.25^\circ \times 0.25^\circ$) [3]. Для анализа подготовлены срочные (0, 6, 12, 18 ч.) карты давления и ветра для района моря Содружества. Используя данные атмосферного реанализа совместно с данными о состоянии ледяного покрова моря Содружества, были определены даты твскрытия и закрытия прибрежной полыньи мыса Дарнли. Для анализа были подготовлены данные о времени существования и площади распространения (развития) полыньи мыса Дарнли в море Содружества (залив Прюдс) в Антарктике за период с 2013 - 2024 гг.

В качестве примера на рисунке 1 показано влияние направления и силы приземного ветра на раскрытие полыньи. Так в августе 2015 года ветра юго-западных направлений часто сменялись ветрами восточных и северных направлений, и максимальная площадь раскрытия полыньи мыса Дарнли достигала 2 тыс км². Однако, в августе 2016 года преобладали ветра юго-восточных направлений, что позволило в два раза увеличить площадь полыньи до 4 тыс. км². В августе 2015 года региональная циркуляция характеризовалась прохождением циклонов вдоль берега, а в августе 2016 циклоны проходили значительно мористее. Такое изменение синоптической ситуации характеризуется индексом SAM (Southern Annular Mode) [4]. Для августа 2015 и 2016 гг. значение индекса SAM составляет 1,86 и -1,28 [5] соответственно. Предположительно, такое изменение должно обеспечивать значительно больший объем поступления морской соли в верхний слой океана в процессе динамического ледообразования в полынье.

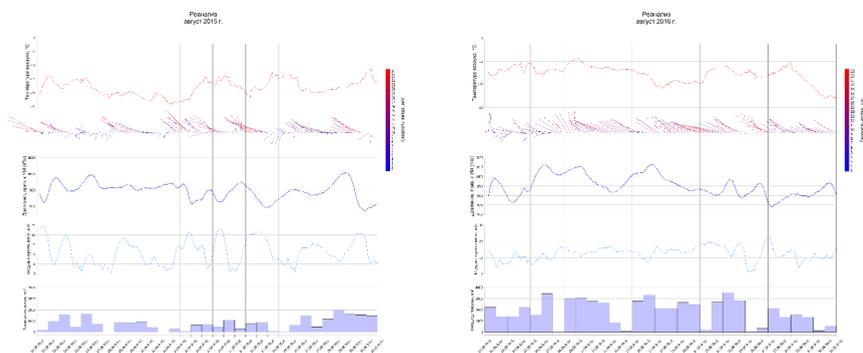


Рисунок 1 – Ежесуточная площадь открытой водной поверхности полыньи мыса Дарнли по данным спутниковых снимков AMSR2 и метеорологические условия, полученные на основе реанализа ERA5 для точки с координатами $67^\circ 20'$ ю.ш. и $69^\circ 58'$ в.д. для августа 2015 (слева) и 2016 (справа) гг.

В течение месяца, только 7, 13, 24 и 30 августа 2016 г. полынья находилась в закрытом состоянии. На рисунке 2 более подробно представлена изменение синоптической ситуации с 6 по 8 августа 2016 г.

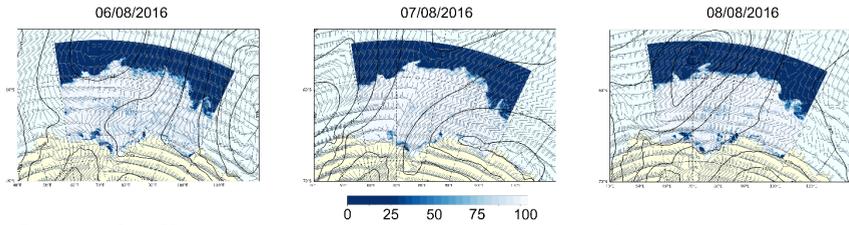


Рисунок 2 – Изменение синоптической ситуации и ледовитости в регионе моря Содружества в период 06 – 08 августа 2016 года

По снимкам можно определить, что 7 августа полынья закрыта. Предположительно, закрытие полыньи произошло вследствие перестройки синоптических процессов и нахождения области барического гребня с слабым ветровым воздействием над полыньей мыса Дарнли. При низких температурах происходит быстрое намерзание молодого льда на поверхности полыньи. 8 августа приходит мощный циклон с давлением в центре 976 гПа и ветром, скорость которого превышает 25 м/с. Циклон проходит над экваторией с запада на восток, со сменой направления ветра. Благодаря этому явлению изменяется общая площадь открытой водной поверхности полыньи до впечатляющих 3 тыс. км². В дальнейшие дни под действием кatabатических ветров полынья открыта до 12 августа, а закрывается полностью 13 августа с новым изменением барической ситуации (рисунок 1).

Благодарность. Работа выполнена в рамках прохождения преддипломной практики в лаборатории Южного океана ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт» в 2025 г.

Список литературы

1. *Melsheimer, Christian; Spreen, Gunnar* (2019): AMSR2 ASI sea ice concentration data, Antarctic, version 5.4 (NetCDF) (July 2012 - December 2018). PANGAEA, doi:10.1594/PANGAEA.898400
2. *Spreen, G., L.Kaleschke, and G.Heygster* (2008), Sea ice remote sensing using AMSR-E 89 GHz channels *J. Geophys. Res.*, vol. 113, C02S03, doi:10.1029/2005JC003384.
3. *Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., MuñozSabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J-N.* (2018): ERA5 hourly data on single levels from 1959 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). doi:10.24381/cds.adbb2d47
4. *Marshall, G.J.*, (2003): Trends in the Southern Annular Mode from observations and reanalyses. *J. Clim.*, **16**, 4134-4143
5. Интернет ресурс: <https://legacy.bas.ac.uk/met/gjma/sam.html>, дата обращения (01.03.2025)

ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ГРОЗОГРАДОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ РОССИИ

Михайловский Ю.П.¹, Синькевич А.А.¹, Торопова М.Л.¹, Куров А.Б.¹,
Тарабукин И.А.¹, Кашлева Л.В.²

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

²Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

yuralych@ya.ru

Аннотация. Представлены результаты радиолокационных исследований градовых облаков Северо-Западного региона Российской Федерации. Выбраны случаи подтвержденного наблюдателями выпадения града за период 2017–2022 гг. и соответствующие облака по данным доплеровского метеорологического радиолокатора (ДМРЛ-С). Проанализированы значения радиолокационных параметров облаков во время выпадения града, получены статистические характеристики. Рассмотрена микрофизическая структура облаков. Показаны сильные корреляционные связи между объемами облака с градом и крупой и прочими радиолокационными параметрами.

Ключевые слова. Град, крупа, поляризационные радиолокационные характеристики, микрофизическое строение облака.

DYNAMICS OF THUNDERSTORM PROCESSES IN THE NORTH-WESTERN REGION OF RUSSIA

Mikhailovskii Yu.P.¹, Sin'kevich A.A.¹, Toropova M.L.¹, Kurov A.B.¹, Tarabukin I.A.¹,
Kashleva L.V.²

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

² Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Annotation. The results of radar studies of hail clouds in the North-Western region of the Russian Federation are presented. Cases of observer-confirmed hail events for the period 2017–2022 were selected and corresponding clouds according to Doppler C-band weather radar (DMRL-C) data. The values of radar parameters of clouds during hailstorm were analyzed and statistical characteristics were obtained. The microphysical structure of clouds is considered. Strong correlations are shown between the volumes of clouds with hail and graupel and other radar parameters.

Keywords. Hail, graupel, polarimetric radar characteristics, microphysical cloud structure.

Введение. Кучево-дождевые облака являются источниками целого ряда опасных явлений (ОЯ) для авиации и других отраслей. Как - то: грозы, смерчи, шквалы, катастрофические ливни и град, порывы и др. В данной статье рассматривается динамика процессов в грозоградовых облаках Северо-Западного региона России. Град является опасным явлением погоды. Градобития ежегодно причиняют крупный ущерб агропромышленному комплексу, объектам энергетической, промышленной, жилищно-коммунальной инфраструктуры и др. В связи с этим исследование градовых облаков не только сохраняет свою актуальность, но и становится все более востребованным в условиях изменяющегося климата. Кроме того, крупные ледяные частицы (град и крупа) определяют мощность процессов электризации в конвективных облаках и, следовательно, интенсивность гроз, которые также приносят заметные экономические потери, нарушают радиосвязь, могут приводить к гибели людей. Развитие этих ОЯ в значительной степени определяется региональными особенностями. Соответственно, актуальность и практическая значимость исследований проблемы прогноза и диагноза грозо- и градоопасности облаков северо-западного региона остаются на высоком уровне. Сотрудниками Главной геофизической обсерватории ранее и в настоящее время ведутся активные работы в данном направлении [1- 6].

Важной задачей является распознавание грозоградовых облаков по радиолокационным (р/л) измерениям, а также дистанционное определение градоопасности по интенсивности грозовой активности на основе анализа р/л характеристик, наиболее тесно коррелирующих с частотой молниевых разрядов [1-9].

Задачей настоящей работы является исследование структуры облаков, формирующих град в Санкт-Петербурге и его окрестностях, а также установление связи объемов града в облаке с различными радиолокационными характеристиками

Данные и методика. Использовалась информация об отражаемости в горизонтальном и вертикальном каналах, поляризационные характеристики облаков и осадков (дифференциальную отражаемость, коэффициент кросскорреляции между каналами, дифференциальную фазу и удельный дифференциальный фазовый сдвиг). Данные для исследования имеют пространственное разрешение 1 км. Период сканирования составляет 10 мин. За указанный день исследован период с 00:00 до 23:50. Для анализа выбраны радиолокационные ячейки, расположенные в слое атмосферы над нулевой изотермой, имеющие отражаемость свыше 35 дБZ. Исследовались радиолокационные ячейки, имеющие объём в диапазоне от 20 до 200 км³, это было сделано для исключения из рассмотрения небольших облаков и крупных групп облаков, в которых сразу несколько ячеек формировали единую зону отражаемости 35 дБZ. Для каждой из выбранных ячеек были выполнены оценки объёмов с различной отражаемостью (dV35, dV40 и т. д.) и рассчитаны радиолокационные параметры. Для получения микрофизических характеристик облаков использовались поляризационные радиолокационные измерения. С их помощью по методике, изложенной в работе [10, 11], была осуществлена оценка объёмов зон с крупными каплями, снегом, крупой, и градом в каждой из рассматриваемых ячеек.

Облака были разделены на 2 группы 1) переходного периода (первая группа) анализировались по данным за 3 дня: 3 сентября 2022, 3 сентября 2021, 19 мая 2020 г. Их мощность была относительно небольшой, а верхняя граница располагалась в некоторых случаях на высотах 5–7 км. Можно отметить, что в переходный период в исследуемом районе достаточно часто наблюдаются облака, из которых выпадает крупа. В ряде случаев размер крупинки превышает принятый порог в 5 мм, что позволяет классифицировать такие осадки как град. Во вторую группу (облака летнего периода) были отнесены данные за 5 дней: 2020-06-18, 2020-06-09, 2017-07-22, 2017-07-18, 2017-05-25. Высота верхней границы таких облаков могла превышать 10 км, диаметр градин достигал 1–2 см.

Результаты и обсуждение. Вычислены коэффициенты корреляции Спирмена между анализируемыми характеристиками. Для рассмотренных случаев коэффициент корреляции между объемом облака с градом и следующими характеристиками составил: с площадью облака – 0,76, максимальной отражаемостью – 0,77, высотой уровня отражаемости 5 дБZ – 0,71, максимальной интенсивностью осадков – 0,70, потоком осадков – 0,76, объемом облака с крупой – 0,81, переохлажденным объемам облака с отражаемостью 45 дБZ и 50 дБZ – 0,87 и 0,88 соответственно. Коэффициенты корреляции рассчитаны с уровнем значимости $p < 0,05$.

Ниже приводятся характеристики облаков, из которых фиксировалось выпадение града диаметром от 5 до 20 мм. Значения радиолокационных параметров получены с использованием специально разработанной программы. Облака выделялись по контуру радиолокационной отражаемости 45 дБZ. Основные статистические радиолокационные характеристики облаков представлены в таблице 1.

Максимальная отражаемость Z_m от облаков менялась в широких пределах – от 45,5 до 66 дБZ. Одним из критериев появления в облаке града является максимальное значение радиолокационной отражаемости. Согласно РД 52.37.731-2010 («Организация и проведение противорадовой защиты») при переходе облака в опасное явление второй категории (градоопасные облака) отражаемость должна превышать 45 дБZ. Для всех исследованных облаков это условие выполнялось. Для части из них отражаемость соответствовала 3–4 категории опасности, т. е. случаям с выпадением града. Распределение значений максимальной отражаемости (рис. 3а) носит неравномерный характер, что обусловлено ограниченным количеством рассмотренных случаев. Максимальная отражаемость достигала 66 дБZ. Медиана распределения была равна

58 дБЗ Высота уровня максимальной отражаемости H_{Z_m} располагалась в нижней части облака (ниже нулевой изотермы) в 69% случаев (рис. 3б). Это указывает на то, что большие значения отражаемости могли быть также обусловлены появлением водяной пленки на ледяных частицах и жидкокапельными осадками. В 38 % случаев отсутствовали области с отражаемостью более 50 дБЗ в переохлажденной части облака. Это также указывает на то, что в значительной части облаков наибольшие значения отражаемости фиксировались в их нижней части. Вычислены коэффициенты корреляции Спирмена между анализируемыми характеристиками. Для рассмотренных случаев коэффициент корреляции между объемом облака с градом и следующими характеристиками составил: с площадью облака – 0,76, максимальной отражаемостью – 0,77, высотой уровня отражаемости 5 дБЗ – 0,71, максимальной интенсивностью осадков – 0,70, потоком осадков – 0,76, объемом облака с крупой – 0,81, переохлажденным объемам облака с отражаемостью 45 дБЗ и 50 дБЗ – 0,87 и 0,88 соответственно. Коэффициенты корреляции рассчитаны с уровнем значимости $p < 0,05$

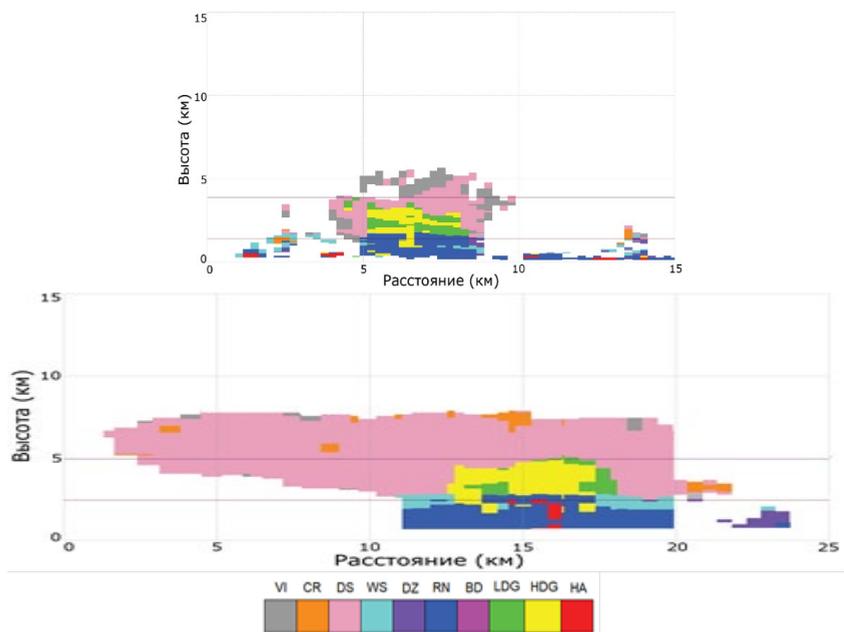


Рисунок 1 - Микрофизическое строение облаков первой (а) и второй (б) групп: VI – вертикальные ледяные кристаллы, CR – ледяные кристаллы, DS – сухой снег, WS – тающий снег, DZ – морось, RN – дождь, BD – большие капли/тающий град, LDG – крупа с низкой плотностью, HDG – крупа с высокой плотностью, HA – град

Таблица 1 – Статистические характеристики облаков, из которых наблюдалось выпадение града

Характеристика	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение
Максимальная отражаемость, Z_m , дБZ	57,3	58,0	45,5	66,0	6,5
Высота уровня максимальной отражаемости, H_{Z_m} , км	1,6	1,3	0,6	4,2	0,77
Высота уровня отражаемости 5 дБZ, км	9,1	9,5	4,3	16,7	3,5
Объем облака с дождем, км ³	43,7	25,2	0	147	46,7
Объем облака с крупой, V_{GR} , км ³	73,4	13,8	0,76	273	95,9
Объем облака с градом, V_H , км ³	8,6	0	0	56,1	19,2
Максимальная интенсивность осадков, мм/час	123	92,9	25,4	315	105
Объем переохлажденной части облака с отражаемостью более 50 дБZ, км ³	19,8	0,47	0	115	38,5

Выводы. Впервые для Северо-Западного региона РФ получены статистические радиолокационные характеристики облаков, из которых выпадал град, непосредственно фиксируемый наземными наблюдателями. Град наблюдался в переходный период (май, сентябрь) и летом (июнь–август). В первом случае размер града был близок к крупе, во втором случае — достигал 2 см. Указанные периоды характеризуются существенными различиями в строении атмосферы — летом наблюдается более высокое расположение изотермы 0°C и большие значения энергии неустойчивости CAPE.

Микрофизическая структура облаков обоих периодов показала наличие достаточно обширной области с крупой в центральной части облака. Горизонтальные размеры градовых осадков невелики и не превышали 1 км. Высота верхней границы облаков составляла не менее 4,3 км, а в 57% случаев – более 9 км. Максимальная отражаемость Z_m от облаков изменялась от 45,5 до 66 дБZ. Объем облака с крупой и градом вычислялся по методике (Dolan et al., 2013).

Объемы облака с крупой в целом существенно превышали объемы облака с градом. Выполненный статистический анализ показал, что объем облака с градом хорошо коррелирует с переохлажденными объемами облака с отражаемостью более 45 и 50 дБZ, которые могут служить индикаторами града в облаках Северо-Запада РФ.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (Грант № 25-27-00219)

The research was supported by the Russian Science Foundation (grant no. 25-27-00219)

Список литературы

1. Сальман Е.М. Комплексный радиолокационный метод метеорологического обслуживания авиации // Труды ГГО. 1964. Вып. 159, С. 24–34.
2. Михайловский Ю.П. Эмпирическая модель электрически активных конвективных облаков и возможности ее использования для тестирования численной модели. Труды ГГО. 2003. № 552. С. 66-75.
3. Михайловский Ю.П., Синькевич А.А., Павар С.Д. и др., Исследования развития грозоградового облака. Часть 2. Анализ методов прогноза электрического состояния облаков. Метеорология и гидрология. 2017. № 6. С. 31-45.
4. Синькевич А.А., Попов В.Б., Абшаев А.М. и др., Радиолокационные характеристики конвективных облаков разных регионов при переходе в грозовую стадию. Оптика атмосферы и океана. 2020. Т. 33. № 12 (383). С. 932-936.
5. Sin'kevich A., Boe B., Pawar S. et al. Investigation of thundercloud features in different regions // Remote Sens. 2021. V. 13, N 16. DOI: 10.3390/rs13163216.
6. Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Аджиев А.Х., и др. Анализ развития и взаимодействия ячеек в грозоградных облаках. Труды ГГО. 2017. № 586. С. 93-116.
7. Кашлева Л.В., Михайловский Ю.П., Михайловский В.Ю. Механизмы электризации облачных гидрометеоров в грозовых облаках. Ученые записки РГГМУ. 2016. № 45. С. 119-131.
8. Михайловский Ю.П., Торопова М.Л., Веремей Н.Е., и др. Динамика электрической структуры кучево-дождевых облаков. Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 2021. Т. 64. № 5. С. 341-353.
9. Инюхин В. С., Макитов В. С., Куцев С. А. (2017). Радиолокационные исследования формирования и развития градных очагов в мощных конвективных облаках // Метеорология и гидрология. № 7. С. 103–111.
10. Dolan B., Rutledge S.A., Lim S., et al. A robust C-band hydrometeor identification algorithm and application to a long-term polarimetric radar dataset // J. Appl. Meteorol. Climatol. - 2013. - V. 52, N 9. - P. 2162-2186.
11. Saunders C.P.R., Peck S.L. Laboratory studies of the influence of the rime accretion rate on charge transfer during crystal/graupele collisions // J. Geophys. Res. Atmos. 1998. V. 103, D12. P. 13949–13956. DOI: 10.1029/97JD02644.

АНАЛИЗ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РАЗНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ МАСШТАБОВ

Лобанов В.А., Нзамбимана Энок, Аль-Сабахи Джафар, Айа Кристиан,
Ясер Аль Меклафи

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
va_lobanov56@mail.ru

Аннотация. Показано, что результаты выявленных закономерностей изменений климата зависят от пространственно-временных масштабов, на которых они рассматриваются. С этим же связан и состав внешних и внутренних факторов климатической системы, которые также не остаются постоянными. На масштабах времени в сотни тысяч лет по рядам изотопной температуры хорошо выявляются 100-тысячелетние колебания, обусловленные динамикой эксцентриситета Земли. На масштабах времени всего в десятки лет выявляются климатические изменения в индексах атмосферной циркуляции, таких как индекс САК (Северо-Атлантическое колебание). На установленные закономерности динамики климата оказывают влияние и пространственный масштаб. Так, изменение глобальной температуры обычно представлено монотонным трендом, а региональные изменения и изменения на отдельных станциях больше соответствуют модели ступенчатых переходов от одного стационарного среднего значения к другому.

Ключевые слова. Динамика климата, разные интервалы времени, пространственные и временные масштабы, закономерности изменений.

ANALYSIS OF CLIMATIC PROCESSES OF DIFFERENT SPATIAL-TEMPORAL SCALES

V.A. Lobanov, Nzambimana Enoch, Al-Sabahi Jafar, Aya Christian, Yasser Al Meklafi
Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg

Annotation. It is shown, that the results of the revealed regularities of climate change depend on the spatio-temporal scales on which they are considered. The composition of external and internal factors of the climate system, which also do not remain constant, is also associated with this. On time scales of hundreds of thousands of years, 100-thousand-year fluctuations caused by the dynamics of the Earth's eccentricity are clearly revealed by the isotope temperature time series. On time scales of only tens of years, climatic changes are revealed in atmospheric circulation indices, such as the NAO (North Atlantic Oscillation) index. The established regularities of climate dynamics are also affected by the spatial scale. Thus, a change in global temperature is usually represented by a monotonic trend, while regional changes and changes at individual stations are more consistent with the model of stepwise transitions from one stationary average value to another.

Keywords. Climate dynamics, different time intervals, spatial and temporal scales, patterns of change.

Исследование природных процессов, к которым относится и климат, зависит от масштабов пространства и времени внутри которых они рассматриваются. От этого зависят не только статистически устанавливаемые закономерности, но также и физические свойства климатической системы. Если их представить в терминах мало изменяющихся «внешних факторов» и «характеристик внутреннего состояния климатической системы», то соотношение между ними также будет не постоянно и будет зависеть от рассматриваемых интервалов времени. Так для рассматриваемых интервалов в десятки лет, как для современного климата, к внешним практически неизменным факторам относятся: приходящая солнечная радиация; распределение океанов и суши, «глубокий» океан; газовый состав атмосферы; ледниковые щиты и вечная мерзлота. При этих условиях внутренними факторами климатической системы будут: атмосфера, деятельный слой океана, сезонный снежный покров и морской лед. Эти факторы будут изменяться «быстро» относительно практически неизменных за период в десятки лет внешних факторов. Если же рассматриваются изменения климата на протяжении многих сотен лет, то за этот период уже осуществляется перемешивание всего «глубокого» океана, изменяется часть криосферы, например, вечная мерзлота, имеет место проявление колебаний углеродного цикла, и ряд других процессов переходит из разряда неизменных внешних условий во внутренние изменяющиеся процессы климатической системы. При таком временном масштабе неизменными внешними факторами будут солнечная энергия, газовый состав атмосферы, распределение океанов и суши и ледниковые щиты. Если же масштаб рассматриваемых изменений климата составляет тысячи и десятки тысяч лет, то изменяться будут и ледниковые щиты, и газовый состав атмосферы, а неизменными останутся только астрономические и геологические факторы. При исследовании климата за всю обозримую его историю существования в миллионы лет следует уже учитывать изменения и в геологии, и приходящей радиации.

Рассматриваемый интервал времени при исследовании климата также влияет на число процессов разного временного масштаба. Пример достаточно сложной функции спектральной плотности для температуры нижней атмосферы, реконструированной Дж. Митчелом [1] за весь исторический период, приведен на рис. 1, где по вертикальной оси

представлена плотность спектральной функции в относительных единицах, а по горизонтальной – период гармоник.

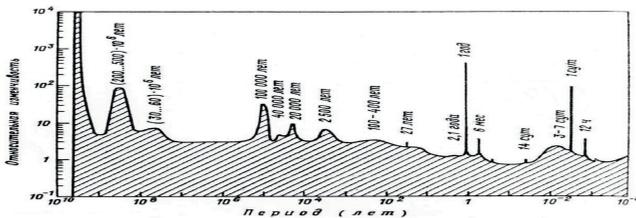


Рисунок 1 – Плотность спектра колебаний температуры нижней атмосферы по периодам от 1 часа до возраста Земли [2]

Из анализа графика можно сделать вывод, что спектр температуры является сложным, размытым и включает в себя два существенных всплеска при периодах 1 сутки и 1 год и достаточно много менее значимых с разными периодами: 12 часов, 3–7 суток, 6 месяцев, 27 лет, 100–400 лет, 2500 лет, 20 тыс. лет, 40 тыс. лет., 100 тыс. лет, 30–60 млн лет и 200 млн лет. Для температуры воздуха наиболее значимые гармоники с периодом 1 сутки и 1 год обусловлены вращением Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца и проявляются в виде известного суточного и годового хода температуры. Этим же причинам соответствуют и процессы с полупериодом от основных: полусуточные и полугодовые. Следующими по значимости являются цикл колебаний с периодом 200 млн лет, хотя надежность его определения низкая, и циклы в 20, 40 и 100 тыс. лет, обусловленные влиянием астрономических факторов. Циклы с периодами в среднем 2500 лет и 100–400 лет являются более сглаженными, и предполагается, что они обусловлены колебаниями внутренних инерционных процессов климатической системы, такими как криосфера и океан. Колебания с периодами 3–7 суток обусловлены синоптическими процессами. Наиболее известными в климатологии считаются следующие циклы, обусловленные внешними воздействиями [3].

Для такого интервала времени в сотни тысяч и миллионы лет характерна статистическая модель, включающая основные периоды колебаний климатических характеристик, начиная с межгодового, следующего вида:

$$Y_i = Y_{1i} + Y_{2i} + Y_{3i} + Y_{4i} + Y_{5i} + Y_{6i} + Y_{7i}, \quad (1)$$

где: Y_i - многолетний ряд климатической характеристики (температура, осадки и т.п.), Y_{1i} , Y_{2i} , Y_{3i} , Y_{4i} , Y_{5i} , Y_{6i} , Y_{7i} - естественные процессы межгодового, десятилетнего, столетнего, тысячелетнего масштабов, масштабов в десятки, сотни и миллионы лет и т.д.

Пример выявленных климатических закономерностей с колебаниями в среднем 100 тыс. лет, связанные с динамикой эксцентриситета орбиты, на временном интервале в 800 тыс. лет приведен на рис.2

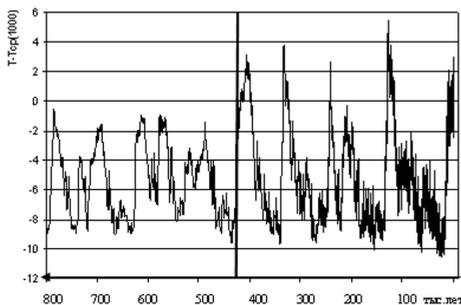


Рисунок 2 – Колебания изотопной температуры воздуха за последние 800 тыс. лет по данным ледниковых кернов Антарктиды (ось времени направлена в прошлое)

Если же рассматривается интервал времени в десятки или 1-2 сотни лет, обеспеченный регулярными инструментальными наблюдениями, то уравнение (1) можно существенно упростить, оставив в нем только процессы масштаба климатической изменчивости: межгодового (Y_{1i}) и десятилетнего (Y_{2i}) и часть цикла или почти полный цикл процесса столетнего масштаба (Y_{3i}). Вклад остальных процессов от тысячелетнего масштаба колебаний и выше будет крайне незначителен и практически нулевой. Поэтому общее уравнение многолетних колебаний климата интервала времени в 100 – 150 лет можно записать как:

$$Y_i = Y_{1i} + Y_{2i} + Y_{3i} , \quad (2)$$

$$Y_{1i} = f_1(t), \quad Y_{2i} = f_2(t), \quad Y_{3i} = f_3(t),$$

где: t – время, $f_1(t)$, $f_2(t)$, $f_3(t)$ – функции от времени для каждого из квазиоднородных процессов межгодового, десятилетнего и столетнего масштабов.

Функции от времени для каждого из процессов могут быть как стохастическими, так и детерминированно-стохастическими. Если в первом приближении принять, что процессы межгодовой и десятилетней климатической изменчивости являются случайными, то их можно представить в виде одной случайной составляющей ε_i и уравнение (2.21) еще упростится:

$$Y_i = f_3(t) + \varepsilon_i \quad (3)$$

В этом случае $f_3(t)$ вероятнее всего не случайная функция и зависит от времени.

Существует несколько возможных вариантов задания функции $f_3(t)$ и наиболее распространенные среди них:

- гармоническая функция, если осуществляется аппроксимация полного цикла колебаний процесса столетнего масштаба и цикл представляет собой гармонику;
- тренд, если процесс столетнего масштаба представлен только частью цикла подъема или спада;
- функция ступенчатых изменений, представляющая собой переход от одних стационарных условий к другим, если цикл представлен не гармоникой, а «П»-образной функцией.

Для рядов наблюдений за температурой воздуха на отдельных метеостанциях переход от одного стационарного режима к другому, который произошел в конце 1980х является практически единственным за всю историю многолетних аблюдений, как показано на рис.3 (слева) для ряда среднегодовых температур на метеостанции Кострома с 1840 года [4].

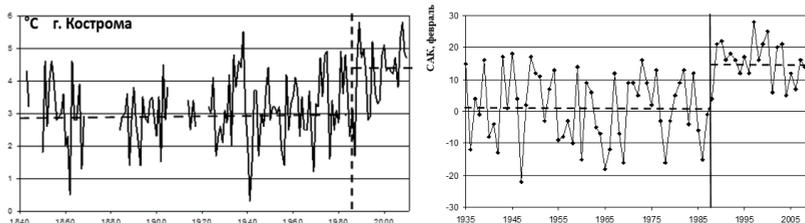


Рисунок 3 – Ступенчатый рост среднегодовой температуры на метеостанции Кострома (слева) и индекса Северо-Атлантического колебания в феврале (справа)

Исследование рядов отдельных месяцев показало, что такие ступенчатые переходы имеют место не во все месяцы, а только в феврале, марте и апреле. Поэтому к полученным результатам на основании пространственно-временных осреднений надо относиться осторожно, так как осреднения являются своеобразным математическим фильтром, который отфильтровывает существенные случайные колебания и выделяет далеко не всегда значимые нестационарности.

Полученный ступенчатый рост температуры в конце 1980х наблюдается как на метеостанциях на территории Европы, так и в азиатской части России вплоть до Якутии. Установлено, что причина такого потепления, и особенно в холодный период, связана со ступенчатым ростом индекса Северо-Атлантического колебания (САК), как показано на рис.3 (справа) для февраля, который произошел также в конце 1980х. В случае роста САК, что проявилось в период с января по апрель, западный перенос усиливается и теплые воздушные массы с Атлантики проникают как на европейский, так и на азиатский континенты. Если же рассматривается пространственный масштаб всей планеты, то глобальная температура обычно аппроксимируется монотонным трендом.

Поэтому результаты оценки изменений климата зависят от рассматриваемых пространственно-временных масштабов. Для выявления процессов разных временных масштабов во временных рядах применяются как математические фильтры и методы декомпозиции, так и используются многолетние ряды характеристик в которых фильтрация процессов меньших масштабов осуществляется естественным путем: температура почвы на глубинах, уровни бессточных озер и другие.

Список литературы

1. *William James Burroughs* Climate Change: A Multidisciplinary Approach. Cambridge University Press, 2007. – 378 pp.
2. [https://books.google.ru/books?id=mCEgAAAQBAJ&pg=PA364&dq=Mitchell+ J.+M.+ \(1990\)+ Climate+variability:+past,+present+%26+future.+Climate+Change+16,+231-46](https://books.google.ru/books?id=mCEgAAAQBAJ&pg=PA364&dq=Mitchell+ J.+M.+ (1990)+ Climate+variability:+past,+present+%26+future.+Climate+Change+16,+231-46).
3. *Монин А.С., Сонечкин Д.М.* Колебания климата. – М.: Наука, 2005. – 192 с.
4. *В.А.Лобанов, Г.Г.Тоцакова* Особенности и причины современных климатических изменений в России. Географический вестник, Пермский университет, 2016, № 3(38), с.79-89.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ИЮЛЯ НА ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА

Вдовенко А.И.^{1,2}, Лобанов В.А.²

¹ Агентство гидрометеорологической службы Республики Узбекистан, г.Ташкент

²Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
alena-meteo@mail.ru

Аннотация. В статье получены показатели эффективности нестационарных моделей температур воздуха июля, как самого теплого месяца года, за период наблюдений с 1966 г., а также дана количественная оценка этих изменений. Получены пространственные закономерности роста температур, который достигает 3,5°C в северной части Республики Узбекистан в связи с ростом опустынивания и высыханием Аральского моря.

Ключевые слова. Изменение климата, температура июля, модели нестационарного среднего, пространственные закономерности.

SPATIAL PATTERNS OF MODERN CHANGES IN JULY TEMPERATURES IN UZBEKISTAN

Vdovenko A.I.^{1,2}, Lobanov V.A.²

¹ Agency of Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan, Tashkent

² Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Annotation. The article presents the indicators of efficiency for non-stationary models of July air temperatures, as the warmest month of the year, for the observation period since 1966, and also provides a quantitative assessment of these changes. Spatial patterns of temperature growth, which reaches 3.5°C in the northern part of the Republic of Uzbekistan due to the growth of desertification and the drying up of the Aral Sea, are obtained.

Keywords. Climate change, July temperature, non-stationary average models, spatial patterns.

В последнее десятилетие интерес к изменению климата во всем мире возрастает. Вопрос об изменениях климата привлекает внимание многих исследователей, после появления в средствах массовой информации сообщений о каких-либо экстремальных явлениях в атмосфере и океане типа штормов, наводнений, паводков или засух, а также о катастрофах, причиной которых могли бы быть опасные явления природы. Обычно спрашивают, не связано ли это событие с опасными "изменением климата" и "глобальным потеплением", о которых все слышаны, хотя многие не ясно представляют, что это такое.

Климат Узбекистана резко континентальный, так же подвержен изменению климата и опасным гидрометеорологическим явлениям, таким как засуха, сели, паводки и лавины. Особенность климата Узбекистана, это жаркая засушливая погода летом, редкие осадки, перепады годовых и суточных температур. Связано это с тем, что Узбекистан расположен далеко от океанов, и не имеет выхода к морям, а воздушные массы из Атлантического океана доходят до страны уже жаркими и с малым количеством влаги.

Исходным материалом для выполнения исследований послужил архив среднемесячных данных температур воздуха июля и января по станциям, расположенным на территории Узбекистана [1-3]. В работе используются данные за среднемесячными приземными температурами воздуха на 66 метеорологических станциях на территории Узбекистана.

Для пространственного обобщения были рассчитаны следующие основные показатели эффективности нестационарных моделей, аппроксимирующих многолетние ряды температур июля: Δmp - отклонение модели тренда от стационарной, %; $\Delta ступ.$ - отклонение модели ступенчатых изменений от стационарной модели, %; Rmp - коэффициент корреляции уравнения линейного тренда [4-9].

Результаты интерполяции показателей эффективности нестационарных моделей, построенных за весь период наблюдений с 1966 по 2016 гг. приведены на рисунках 1-3. На картах интерполяции оттенками красного цвета (красный, розовый) обозначаются градации $\Delta \geq 10\%$, а оттенками синего (фиолетовый) – области эффективных стационарных моделей.

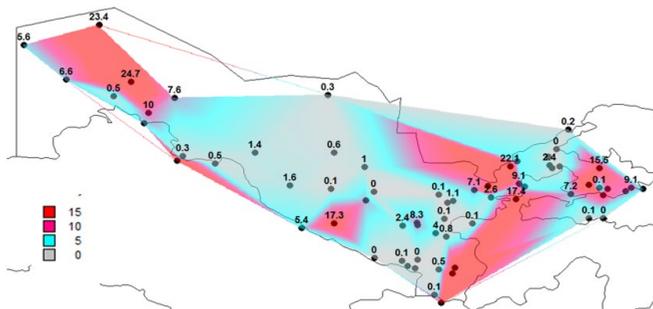


Рисунок 1 – Относительные отклонения модели линейного тренда температур июля по Узбекистану от стационарной модели (Δm_r , в %)

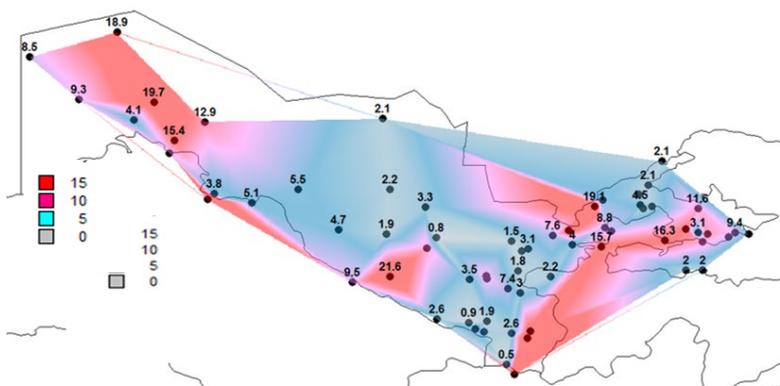


Рисунок 2 – Относительные отклонения модели ступенчатых изменений температур июля по Узбекистану от стационарной модели ($\Delta \text{ступ.}$, в %)

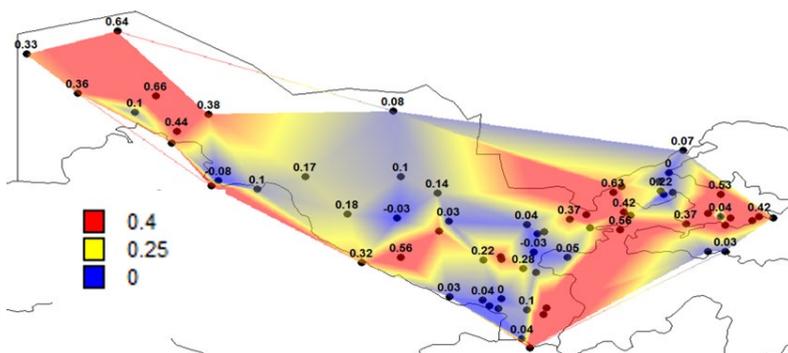
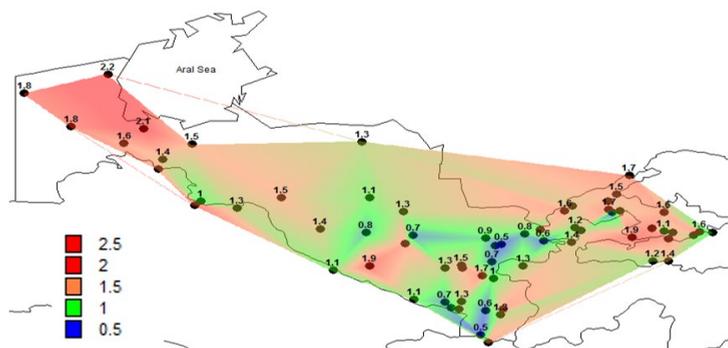


Рисунок 3 – Коэффициенты корреляции моделей линейного тренда температур июля по Узбекистану ($R_{\text{мр}}$)

Из сопоставления всех трех карт на рисунках 1-3 следует общий вывод, что на них предствлены практически одни и те же области нестационарности. В общем на картах можно выделить 4 области нестационарности:

- северо-западная нестационарная область в Каракалпакии, находящаяся под влиянием высыхания Аральского моря и опустынивания ближайшей территории (здесь нестационарность представлена двумя ступенчатыми ростоми среднего значения: 1973 и 2007 гг.);
- южная область вдоль границы с Киргизией и Таджикистаном (один ступенчатый рост в 1973 г.);
- небольшая центральная область, примыкающая к южной части территории;
- изолированная область на границе с Туркменистаном.

На заключительном этапе работы были рассчитаны разности норм температур за разные последовательные квазиоднородные периоды. На рис.4 показаны разности двух норм температур, рассчитанные за период 1973-2016 гг. и предыдущий период 1966-1972 гг.



*Рисунок 4 – Разность средних температур июля за два стационарных периода:
1966-1972 гг. и 1973-2016 гг. в °С*

Как следует из пространственного распределения, области наибольшего роста температур (более 1-1,5°C) практически полностью соответствуют областям эффективных нестационарных моделей (рис.1 и 2). Причем наибольший прирост температур имеет место в районе Аральского моря и на юге - юго-востоке Узбекистана. В северо-западной части Каракалпакии, в низовьях Амударьи и южном побережье Аральского моря прирост норм температур наибольший: на станции Актумсук он составляет 2.2°, а на станции Муйнак - 2.1° видимо за счет высыхания Аральского моря. Еще одна область большого роста норм температур (от 1,5° до 2.0°C) – это южная часть Ферганской долины. На остальной территории Узбекистана прирост норм температур составляет в основном около 1.5°. Только в центральной части республики и на юго-западе прирост норм менее 1.0°.

Если же учесть, что на некоторых станциях наблюдается изменение норм не только в 1973 г., но и еще и в 2007 г., что особенно характерно для метеостанций Каракалпакии, то можно найти разницу норм за 2007-2016 гг. и 1966-73 гг., которая будет еще больше для этих станций. Тогда рост норм температур в районе Аральского моря будет еще больше, как показано на рис.5.

Как следует из рисунка 5, рост норм температур в северной части республики на таких станциях, которые расположены возле Аральского моря, составляет: +3.6° на станции Актумсук и +3.5° на станции Муйнак. На остальных станциях Каракалпакистана рост норм также стал несколько больше и составляет в среднем +2° С. В основном по

всей территории Республики за весь период наблюдений с 1966 по 2016г.г. температура поднялась на $+1^{\circ}+1.5^{\circ}$.

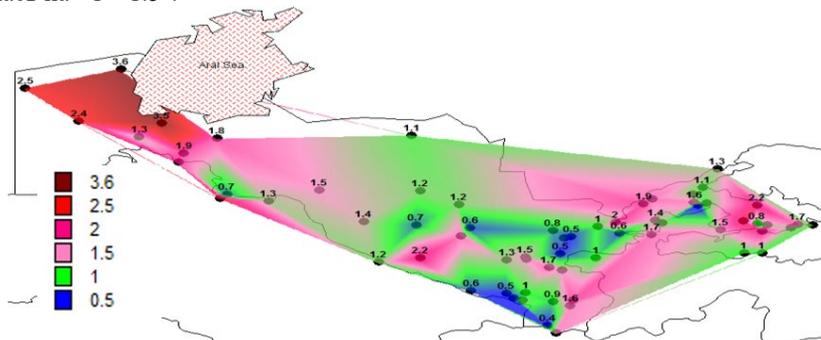


Рисунок 5 – Разность средних температур июля за два и три (для Каракалпакии) стационарных периода: 1966-1972 гг. и 1973-2016 гг. в $^{\circ}\text{C}$

В юго-восточной и южной части республики Кашкадрийской области на метеорологических станциях (Акрабад, Гузар и Карши) температура июля за весь период составила от $+0.4^{\circ}$ до $+0.6^{\circ}$ (хребты, горы) и Сурхандарьинской области на станции (Байсун) горного типа температура июля составила $+0.9^{\circ}$, а на станции (Шерабад) можно сделать вывод: ведутся не качественные метеонаблюдения или отсутствуют поверенные надежные приборы и оборудование.

На всей территории Джизакской области юго-западе (хребты, горы) и северо-востоке (равнинная часть) за весь период наблюдений с 1966 по 2016г.г. температура не поднялась больше $+1^{\circ}$, а составляет $+0.5^{\circ}+0.8^{\circ}$.

За весь период наблюдений мы видим, что температура растет в Северной части на таких станциях которые ближе расположены возле Аральского моря на станции Актумсух температура июля выросла на $+3.6^{\circ}$ и на станции Муйнак на $+3.5^{\circ}$. На рисунке 5 показано, что на всей территории Каракалпакии, где расположены метеостанции температура растет и это связано все из-за высыхания Аральского моря.

Список литературы

1. Чуб В.Е. Третье Национальное Сообщение Республики Узбекистан по Рамочной Конвенции ООН об Изменении Климата, Ташкент 2016г., с.219.
2. Метеорологические данные (температура, осадки с 1966 по 2016г.г.) Центра Гидрометеорологической Службы при Министерстве по Чрезвычайным ситуациям Республики Узбекистан (Узгидромет).
3. Интернет http://cdiac.ornl.gov/by_new/bysubject.html#climate
4. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии (Часть 1, 2011г. – 144с. И Часть 2, 2012г.- с. 178, Санкт-Петербург).
5. Лобанов В.А., Методические указания «Оценка современных региональных изменений климатических характеристик», Санкт-Петербург 2018г., 90с.
6. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003, Москва, Госстрой России, 2004. – 73 с.
7. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М., Статистика, 1973.–392 с.
8. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. - Л.: Гидрометеиздат, 1984. - 78с.
9. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. – 598 с.

АНАЛИЗ РЕЖИМА «КОСЫХ ДОЖДЕЙ» В МУРМАНСКЕ

Абанников В.Н., Ятченко А.С.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
abvik@rshu.ru

Аннотация. Приводятся результаты анализа режима метеорологических характеристик, наблюдающихся в период выпадения «косых дождей», жидких осадков, которые при скоростях ветра выше 6 м/сек попадая на вертикальные стены зданий и сооружений, приводят их промачиванию. В условиях г. Мурманска промокшие стены с наступлением холодного сезона станут интенсивно разрушаться, что отрицательно скажется на защитных свойствах стен.

Ключевые слова. Косые дожди, режим метеорологических характеристик, г.Мурманск, промачивание стен и их защитные свойства.

ANALYSIS OF THE SLANTING RAIN REGIME IN MURMANSK

Abannikov V.N., Yatchenko A.S.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St.Petersburg

Annotation. The article presents the results of the analysis of the meteorological characteristics observed during the period of "slanting rains", liquid precipitation, which at wind speeds above 6 m/sec, falling on vertical walls of buildings and structures, leads to their soaking. In the conditions of Murmansk, wet walls with the onset of the cold season will begin to rapidly deteriorate, which will negatively affect the protective properties of the walls.

Keywords. Slanting rains, meteorological characteristics, Murmansk, soaking of walls and their protective properties.

Введение: в приморских городах при климатическом обслуживании строительной отрасли важное место отводится анализу режима осадков. Среди множества видов осадков особый интерес представляют «косые дожди». Это жидкие осадки, выпадающие при скоростях ветра выше 6 м/сек [1, 2].

В ходе данного исследования на основании срочных метеорологических наблюдений в г.Мурманске, за теплый сезон с 2017 по 2022 гг., был проанализирован режим «косых дождей».

Исходные данные и методы обработки: в качестве исходных данных были отобраны результаты многолетних срочных ежесуточных метеорологических наблюдений в Мурманске с 2017 по 2022 гг. в объеме 10272 срока наблюдений из архива ВНИИГМИ-МЦД [3].

Обработка массива данных предполагает, как расчет абсолютных, относительных и вероятностных показателей, которые отражают режим косых дождей и их сочетание с различными метеорологическими характеристиками.

Согласно рекомендациям [1], расчет суммы осадков на вертикальную поверхность (R_B) осуществляется по формуле (1):

$$R_B = (1,4 p_1 + 2,4 p_2 + 3,0 p_3) R, \quad (1)$$

где p_1 , p_2 и p_3 – вероятности скоростей ветра при дожде по соответствующим интервалам 6-9, 10-14, и ≥ 15 м/сек; R – общая сумма осадков.

Все рассматриваемые коэффициенты и суммы осадков определяются по данным срочных метеорологических наблюдений, состоящих из 8 сроков, через каждые 3 часа. Для расчета вероятностей скоростей ветра из массива данных необходимо провести выборку сроков с осадками при скоростях ветра выше 6 м/сек.

Результаты и обсуждение: вначале следует рассмотреть суммы месячных осадков с 2017 по 2022 гг. за теплый сезон, которые приведены в таблице 1 [3].

Таблица 1 – Месячные суммы осадков в Мурманске 2017-2022 гг. за теплый сезон, мм

Годы	Месяцы							Сезонная сумма	Средняя сезонная
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
2017	29,9	33,7	64,5	39,7	86,8	55,3	36,6	347	50
2018	21,4	51,6	78,8	23,6	70,7	43,6	39,9	330	47
2019	11,3	39,6	82,7	66,6	43,7	68,1	58,9	371	53
2020	53,8	50,2	50,7	39,4	111,9	66,8	61,1	434	62
2021	36,9	62,3	69,6	48,6	84,4	34,9	81,7	418	60
2022	16,2	26,5	65,7	77,6	60	89,5	56,3	392	56
Месячная сумма	170	264	412	296	458	358	335	2291	327
Ср.месяч.	28	44	69	49	76	60	56		

Согласно таблице 1, в сезонном ходе максимум осадков выпадает в августе месяце, а меньше всего в апреле. За шестилетний период наблюдений максимальная сезонная сумма достигла 434 мм в 2020 г., а минимальная сумма 330 мм в 2018 г.

Используя данные срочных наблюдений, были отобраны сроки, когда выпадали осадки в сочетании со скоростями ветра 6 м/сек и выше. Всего за 2017-2022 гг. с апреля по октябрь месяцы, получились 183 срока, которые распределились по 141 дням. Максимальное число дней с косыми дождями в сумме за шесть лет наблюдалось в мае – 27 дней, а минимальное число дней в июле месяце – 14 дней.

В дальнейшем для определения суммы косых дождей необходимо определить распределение вероятности скорости ветра выше 6 м/сек по трем градациям во время дождей (ф.1). В статье приведены вероятности скорости ветра при дождях за все годы и месяцы (рисунок 1).

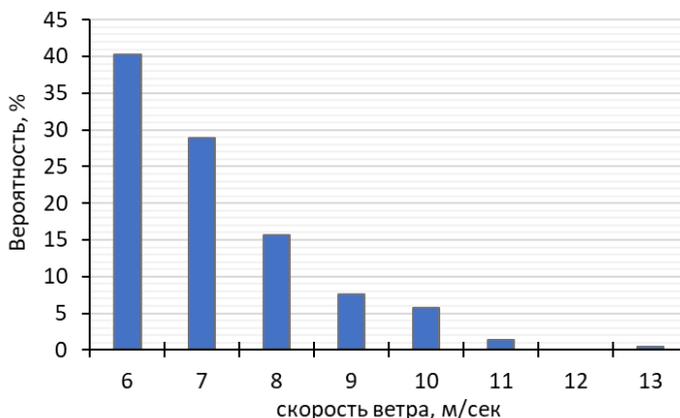


Рисунок 1 – Вероятность скорости ветра при дождях, мм

Согласно приведенного рисунка 40 % косых дождей выпадает при скоростях ветра 6 м/сек, реже всего при скоростях ветра 11-13 м/сек. В Мурманске во время косых дождей скорости ветра не достигали 15 м/сек, что исключает из расчетов третий коэффициент.

В результате анализа распределения вероятности скорости ветра во время осадков в градациях – 6-9, 10-14 м/сек, по месяцам теплого сезона за каждые 6 лет удалось рассчитать количество выпавших осадков на вертикальные стены. Ежемесячные суммы косых осадков за 6 лет менялись от 2,2 до 45,2 мм. Минимальные значения наблюдались в апреле, а максимальные в июне. Для анализа характера распределения косых дождей по месяцам теплого сезона за разные годы определены месячные суммы осадков (таблица 2). По этому показателю максимальная сумма косых дождей наблюдалась в 2021 г, а минимальная в 2017 г.

Таблица 2 – Сумма косых дождей за теплый сезон в Мурманске, мм

Годы	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Сумма косых дождей, мм	121	137	175	133	183	152

Распределение среднемесячных сумм осадков, выпавших при скоростях ветра выше 6 м/сек на вертикальные стены, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Среднемесячные суммы «косых дождей», мм

Месяцы	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
Средние месячные, мм	14	23	28	18	24	26	18

Имея данные по общей сумме месячных осадков и расчетные величины косых дождей можно определить соотношение косых дождей (табл.2) к общей сумме (табл.1). Косые дожди в Мурманске составляют 31- 47% от общей месячной суммы осадков.

Для принятия защитных мер от косых дождей необходимо определить направления ветра, при которых они выпадают. По результатам проведенной выборки определены вероятностные значения направлений ветра во время выпадения косых дождей. На рисунке 2 приведена вероятность направлений ветра по данным 6 лет наблюдений за теплый сезон.

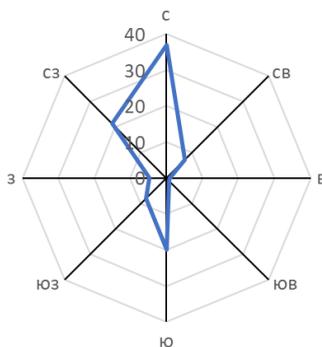


Рисунок 2 – Вероятность косых дождей по направлениям ветра, %

Больше всего в Мурманске косые дожди выпадают при северных и северо-западных направлениях ветра – 21 и 36%, соответственно, и несколько меньше при южных направлениях – 19%. При восточных направлениях ветра косые дожди практически не наблюдаются, а при западных ветрах вероятность составляет всего 5%.

Для определения необходимости принятия или не принятия защитных мер от косых дождей следует придерживаться рекомендаций, разработанных в ГГО им. А.И. Воейкова [2]:

- если R_v превышает 100 мм необходимо обеспечивать условия для высыхания стен. Современные строительные технологии в данном случае рекомендуют устройство вентилируемых стен;
- если выполняется условие $80 \leq R_v \leq 100$ мм, то необходимо монтаж водоотводящих конструкций (карнизы, выносы и т.д.);
- если $50 \leq R_v \leq 80$ мм, то прежде всего следует обеспечить защиту межпанельных стыков или стеновые конструкции без стыков;
- при R_v меньше 50 мм специальные защитные мероприятия не предусматриваются.

Исходя из предлагаемых рекомендаций [2], и по полученным месячным суммам косых дождей в Мурманске достаточно использование обычных средств защиты ($R_v \leq 50$ мм).

Выводы: в настоящее время, несмотря на обилие современных влагоустойчивых стеновых материалов проблема косых дождей не становится менее актуальной. При монтаже зданий и сооружений в стеновых конструкциях могут оставаться конструкционные щели или дефекты, которые в последующем могут привести к быстрому разрушению стен в случае попадания через них влаги. Как ни странно, в электронной научной библиотеке РИНЦ имеется только одна работа, посвященная косым дождям и то для Вьетнама [4]. Поэтому к данному направлению прикладной климатологии следует уделять пристальное внимание. Ввиду того, что на метеорологических станциях наблюдения за косыми дождями не ведутся, то необходимо разрабатывать расчетно-аналитические методы и программные средства, т.к. обработка многолетних данных срочных наблюдений сопряжено с большими трудностями.

Список литературы

1. Прикладная климатология / учебное пособие. В. А. Шталь, Н. Ф. Белов, Г. В. Циценко – Л.: ЛГМИ, 1981. – 165 с.
2. Руководство по специализированному обслуживанию экономики климатической информацией, продукцией и услугами / Под редакцией д-ра геогр. наук, профессора Н.В. Кобышевой. – СПб.: 2008. – 336 с.
3. Официальный сайт База данных «ВНИИГМИ-МЦД». Ссылка для доступа <http://meteo.ru/>
4. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. Ссылка для доступа <https://www.elibrary.ru/>

ИЗМЕНЧИВОСТЬ МЕТАНА В ПОЛЯРНЫХ ШИРОТАХ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Ёжикова М.А., Ромашенко Д.Д., Смышляев С.П.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт - Петербург
m.yozhikova@rshu.ru

Аннотация. Представлены результаты непрерывного мониторинга приземной концентрации метана методом внутривибрационной лазерной спектроскопии на НИС «Ледовая база Мыс Баранова» за 2015 – 2020 гг. Рассчитаны среднегодовые значения, межгодовой прирост, амплитуды сезонного хода и сутки наступления годовых максимумов и минимумов. Полученные результаты сопоставлены с данными других высокоширотных станций – Барроу и Алерт, и

показывают хорошую сходимость. Среднегодовые значения демонстрируют почти непрерывный рост метана на всех рассматриваемых станциях. Зафиксировано значительное увеличение среднегодового прироста метана в 2020 г. для станций Ледовая база Мыс Баранова и Алерт (20 и 18 млрд⁻¹/год соответственно). С применением траекторной модели HYSPLIT были выявлены области потенциальных региональных источников метана для рассматриваемой локации.
Ключевые слова. Метан, состав атмосферы, Арктика, HYSPLIT, openair

METHANE VARIABILITY IN POLAR LATITUDES ACCORDING TO GROUND-BASED INSTRUMENTAL MEASUREMENTS

M.A. Ezhikova, D.D. Romaschenko, S. P. Smyshlyev
Russian State Hydrometeorological University, Saint - Petersburg

Annotation. The results of continuous monitoring of surface methane concentration using the cavity ring-down spectroscopy (CRDS) method on the research station "Ice Base Cape Baranova" for 2015–2020 are presented. Average annual values, interannual growth, amplitudes of the seasonal variation of methane, as well as days of occurrence of annual maximum and minimum concentrations are calculated. The obtained results are compared with measurements of other high-latitude stations – Barrow and Alert, and show good convergence. Average annual values show an almost continuous increase in methane at all stations considered. A significant increase in the average annual increase in methane in 2020 was recorded for "Ice Base Cape Baranova" and Alert stations (20 and 18 ppb/year, respectively). At all stations, except Alert, a second period of maximum methane concentrations can be distinguished (the first period is the winter months), occurring at the beginning of autumn, most probably associated with the influence of tundra ecosystems and forest fires. Using the HYSPLIT trajectory model, areas of potential regional methane sources for the location were identified.

Keywords. Methane, air composition, Arctic, HYSPLIT, openair

В статье приведён анализ рядов непрерывных наблюдений концентраций метана в приземном слое на НИС «Ледовая база Мыс Баранова» (79°16' с.ш., 101°45' в.д.), далее в тексте – НИС ЛБ Мыс Баранова) за 2015 – 2020 гг. В рамках совместных исследований Финского метеорологического института (ФМИ) и НИИ Арктики и Антарктики на НИС был установлен лазерный газоанализатор Picarro G2401 производства фирмы «Picarro Inc.» (США), позволяющий проводить непрерывные измерения концентрации метана в приземном слое [1].

Для сопоставления значений, полученных на НИС, с измерениями CH₄ на других полярных станциях, были проанализированы непрерывные измерения, проводимые на станциях Барроу (71°18' с.ш., 156°44' з.д.) и Алерт (82°29' с.ш., 62°21' з.д.). Используются массивы среднесуточных наблюдений, представленных на сайте Мирового центра данных по парниковым газам ВМО, с флагом качества, равным 1. Информация о расположении станций, используемых приборах и климатических зонах, в которых они расположены, также предоставлена на сайте Мирового центра данных по парниковым газам ВМО [2]. На станции Алерт также используется газоанализатор Picarro, на станции Барроу – недисперсионный ИК-газоанализатор (NDIR) [2].

Для определения межгодовой изменчивости CH₄ был использован метод, предложенный в статье [3], согласно которому исходный ряд измеренных концентраций представляет собой наложение трёх составляющих – долгопериодного тренда, несинусоидального годового цикла и кратковременных вариаций (продолжительностью от нескольких часов до нескольких недель), связанных с влиянием локальных и региональных источников и стоков. Такой подход позволяет выделить фоновые значения для исследуемой локации, поскольку способен отфильтровать вклад локальных источников.

Расчеты были выполнены посредством применения к среднесуточным данным утилиты CCGCRV, разработанной в Global Monitoring Laboratory NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) и находящейся в свободном доступе [4]. Пропуски наблюдений в рядах среднесуточных значений были предварительно заполнены посредством линейной интерполяции между соседними значениями. Аппроксимация временного ряда наблюдений осуществляется в несколько этапов. Сперва методом наименьших квадратов исходный ряд наблюдений аппроксимируется временной функцией $f(t)$, представляющей собой сумму полинома и квази-синусоидальной гармоник, что позволяет учитывать, как долгопериодную изменчивость, так и сезонные колебания ряда. Затем к остаткам аппроксимации применяется низкочастотный Фурье-фильтр для выявления межгодовых и короткопериодных вариаций, не учтенных функцией $f(t)$. Для этого процедура фильтрации проводится на двух частотах среза, со значениями 667 и 80 суток (по умолчанию) соответственно. В данном исследовании для выделения короткопериодной изменчивости была выбрана частота фильтра 30 суток, а для межгодовых вариаций – 1500 суток. На последнем этапе объединяются в разных комбинациях результаты аппроксимации временного ряда и его отфильтрованных остатков. Так, кривая аппроксимации – это ряд с исключенными короткопериодными вариациями, представляющий собой сумму функции аппроксимации и остатков, отфильтрованных на частоте $f_c = 30$ суток; долгопериодный тренд – ряд с удаленной сезонной составляющей, сумма полиномиальной части аппроксимирующей функции и остатков, отфильтрованных на частоте $f_c = 1500$ суток; межгодовой прирост – численная производная от тренда.

На рисунке 1 представлены среднесуточные значения концентраций метана, сглаженный ряд наблюдений и линия тренда для всех рассматриваемых станций. Межгодовая изменчивость метана, его тренды и среднегодовой прирост близки на рассматриваемых станциях. Наблюдается типичный для метана годовой ход с понижением концентрации в летние месяцы, обусловленный преимущественно его разрушением за счет фотохимических реакций в течение полярного дня, и повышенным фоном в зимние месяцы в течение полярной ночи с частыми приземными инверсиями. На всех станциях, кроме Алерта, можно выделить вторичный максимум, приходящийся на конец августа – сентябрь, вероятно, связанный с влиянием тундровых экосистем и лесными пожарами.

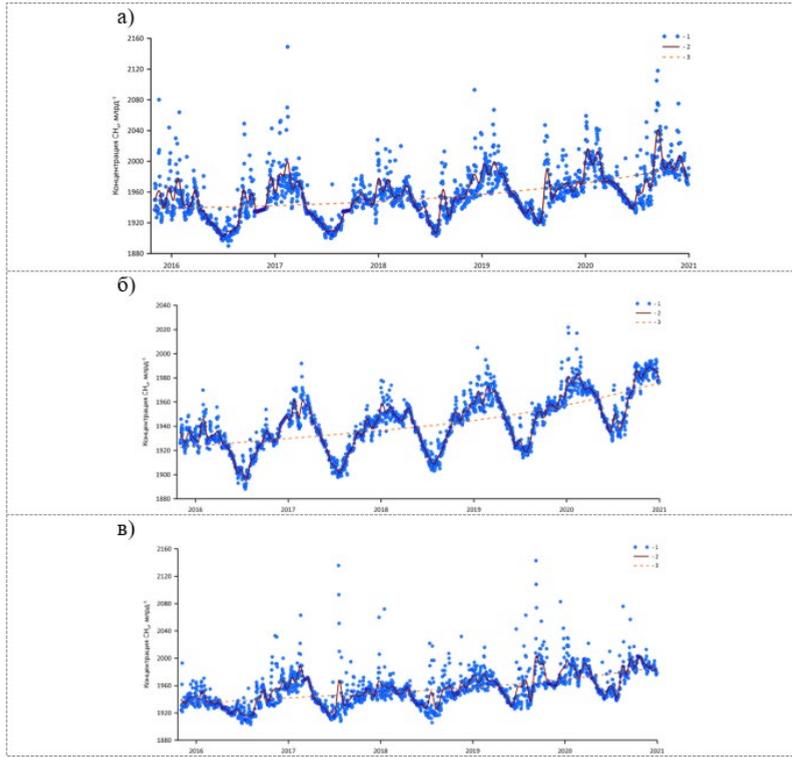


Рисунок 1 – Межгодовая изменчивость метана на станциях Мыс Баранова (а), Алерт (б), Барроу (в), где 1 – среднесуточные значения концентрации CH_4 , 2 – кривая аппроксимации, 3 – линия тренда

В таблице 1 сопоставлены значения межгодового роста концентрации CH_4 на ЛБ Мыс Баранова, полученные двумя различными способами – как разность среднегодовых показателей, и как среднее за год значение производной от линии тренда, рассчитанное с помощью программы CCGCRV. Они показывают хорошую сопоставимость. В целом, для всех станций характерно монотонное повышение среднегодовых концентраций метана из года в год. Для Алерта характерны наименьшие показатели средних значений за 2016 – 2020 гг. (1943.4 ± 20.5 млрд⁻¹). На станциях ЛБ Мыс Баранова и Барроу эти показатели очень близки (1956.4 ± 21.7 и 1955.6 ± 19.9 млрд⁻¹ соответственно). Показатели среднегодовых глобальных значений метана, приведенные в Бюллетенях ВМО по парниковым газам за 2016 – 2020 гг. [5], во все годы ниже рассчитанных значений на полярных станциях.

Значения среднегодового прироста по данным измерений за весь период 2016 – 2020 гг., являются наибольшими на ЛБ Мыс Баранова и в Алерте (11.3 ± 9.8 и 10.8 ± 8.2 млрд⁻¹/год). Если сравнивать темпы годового прироста CH_4 в процентном отношении по данным наблюдений, то можно отметить резкий скачок роста его значений в 2020 г. на наиболее высокоширотных станциях: 1.02 % (20 млрд⁻¹/год) на ЛБ Мыс Баранова и 0.92% (18 млрд⁻¹/год) в Алерте. Для обеих станций эти показатели почти вдвое больше прироста в 2019 г. По данным [6] среднегодовой прирост на станции Териберка в 2020 и 2021 гг. составлял 18.6 и 18.7 млрд⁻¹ соответственно, а в Тикси в 2021 г. – 9.9 млрд⁻¹ и 22.5 млрд⁻¹

¹. Этот скачок межгодового роста концентрации метана в 2020 г. отмечается и в других исследованиях, в том и числе и в глобальном масштабе.

Таблица 1 – Среднегодовые концентрации и межгодовой рост метана на НИС ЛБ Мыс Баранова

Год	Среднегодовые значения CH ₄ по данным измерений, млрд ⁻¹	Межгодовой рост концентраций CH ₄ , млрд ⁻¹ /год	
		По данным наблюдений	По расчетам CCGCRV
2016	1938±2	-	3±0.1
2017	1946±3	8 (0.41 %)	5.5±0.1
2018	1952±2	6 (0.31 %)	9.1±0.1
2019	1963±3	11 (0.56%)	15.0±0.2
2020	1983±3	20 (1.02 %)	21.6±0.2
2016 – 2020	1956.4±21.7	11.3±9.8	10.8±9.3

На территории ЛБ Мыс Баранова формирование поля CH₄ обусловлено предположительно вкладом от нескольких потенциальных источников – заболоченных пространств, лесных пожаров, промышленных зон на континенте, и газогидратов, дельт крупных рек и эрозии арктических островов в океанической зоне. Для того, чтобы выявить расположение потенциальных источников метана регионального значения относительно станции, был применён метод обратных траекторий, рассчитанных для эпизодов повышенных концентраций CH₄. Обратные траектории были построены на основе лагранжевой траекторной модели ARL NOAA HYSPLIT [7], включающей метеополя реанализа NCEP/NCAR на широтно-долготной сетке 1° с временным разрешением 3 часа. Траектории были построены с заблаговременностью 3 суток за период с ноября 2015 по декабрь 2020 г., стартовой высотой была задана высота 10 м.

Для определения потенциальных локаций источников метана в пакете OpenAir (R) была использована функция потенциального вклада источника (Potential Source Contribution Function, далее в тексте – PSCF), которая вычисляет вероятность того, что источник находится на конкретной широте и долготе [8]. Если источник расположен в точке с координатами (i, j) , то

$$PSCF = \frac{m_{i,j}}{n_{i,j}}, \quad (1)$$

где $m_{i,j}$ – это количество раз, когда траектории проходили через ячейку (i, j) , $n_{i,j}$ – количество раз, когда при прохождении траектории через ячейку с координатами (i, j) концентрации метана превышали некоторое значение. Это значение определяется квантилем, который в данном исследовании равен 70%, и рассчитан отдельно посезонно за рассматриваемые годы.

На рисунке 2 представлены рассчитанные с помощью функции PSCF вероятности локализации повышенных концентраций метана для зимнего и летнего периодов за 2015 – 2020 гг. Черной точкой обозначено расположение станции НИС «Ледовая база Мыс Баранова».

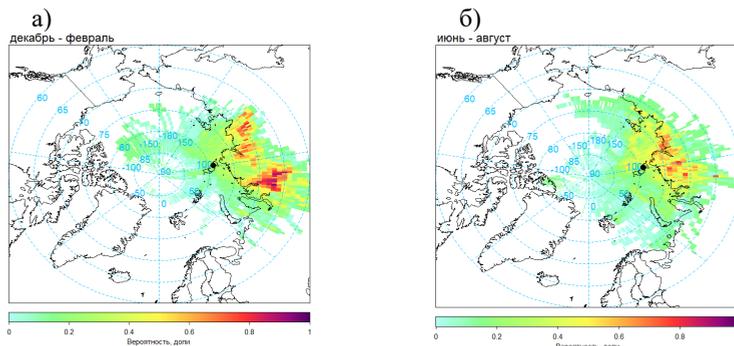


Рисунок 2 – Распределение вероятности прихода на НИС повышенных концентраций метана на региональном уровне (модель HYSPLIT): а) зима; б) лето

В зимние месяцы прослеживаются два континентальных очага метана, расположенных в зонах $65^{\circ} - 70^{\circ}$ с.ш., $80^{\circ} - 95^{\circ}$ в.д., и $70^{\circ} - 75^{\circ}$ с.ш., $100^{\circ} - 125^{\circ}$ в.д. Можно предположить, что первая зона более связана с промышленными источниками (в неё входит Норильск), вторая – с влиянием болотных экосистем. Последнее может быть обусловлено наличием эмиссий с заболоченных пространств поздней осенью и в начале зимы, так называемым эффектом «нулевого барьера», т.е. способностью почвенных микроорганизмов генерировать метан до промерзания деятельного слоя [9].

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ (проект FSZU-2023-0002).

Список литературы

1. Laurila, T. Data on atmospheric concentrations of CH₄, CO and meteorological parameters at Baranova site, Russia (Data set). Finnish Meteorological Institute. 2023.
2. <https://gaw.kishou.go.jp/>
3. Thoning K., Tans P., Komhyr W. Atmospheric carbon dioxide at Mauna Loa Observatory 2. Analysis of the NOAA GMCC data, 1974 – 1985 // J. Geophys. Res. Atmospheres. 1989. V.94. №. D6. P. 8549 – 8565.
4. <https://gml.noaa.gov/ccgg/mb/mb/crvfit/crvfit.html>
5. <https://community.wmo.int/en/wmo-greenhouse-gas-bulletins>
6. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2021 год / Под ред. Черногаева Г.М. М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), 2022. 221 с.
7. <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>
8. Fleming Z., Monks P., Manning A. Review: Untangling the influence of air-mass history in interpreting observed atmospheric composition // Atmospheric Research. 2012. V.104-105. P. 1 – 39.
9. Панов А.В., Прокушкин А.С., Кюблер К., Корец М.А., Урбан А.В., Зражевская Г.К., Бондарь М.Г., Хайманн М., Заале З. Прецезионный мониторинг концентрации диоксида углерода и метана в приземной атмосфере полярного пояса Приенисейской Сибири // Метеорология и гидрология. 2022. № 11. С. 19 – 31.

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ЛЕТНЕГО СЕЗОНА 2023 Г. В КАЗАХСТАНЕ

Исабекова Ж.К.¹, Васюкова О.В.¹, Иванова И.А.², Топтунова О.Н.^{2,3}

¹РГП «Казгидромет» ГМЦ, Астана, Казахстан

² Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

³ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

isabekova_zh@meteo.kz ira.nova@mail.ru olgakolp@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены результаты анализа температурного режима и синоптических процессов, наблюдавшихся на территории Казахстана в летний период 2023 года. По результатам исследования выделены основные атмосферные процессы, приводящие к формированию аномально-жаркой погоды. Рассмотрены особенности погодных условий в следующих сезонах (осень 2023 г, декабрь 2023 г, январь 2024 г.) Результаты исследования могут быть использованы для улучшения качества долгосрочного прогнозирования в регионе.

Ключевые слова. Аномалия, температура, синоптический процесс, долгосрочное прогнозирование.

ANALYSIS OF CONDITIONS OF FORMATION OF THE TEMPERATURE REGIME OF THE SUMMER SEASON OF 2023 IN KAZAKHSTAN.

Isabekova Zh.K.¹, Vasyukova O.V.¹, Ivanova I.A.²

¹ RSE "Kazhydromet" GMC, Astana, Kazakhstan

² Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Annotation. The article presents the results of an analysis of the temperature regime and synoptic processes observed in Kazakhstan in the summer of 2023. According to the results of the study, the main atmospheric processes leading to the formation of abnormally hot weather are identified. The features of weather conditions in the following seasons (autumn 2023, December 2023, January 2024) are considered. The results of the study can be used to improve the quality of long-term forecasting in the region. *Keywords.* Anomaly, temperature, synoptic process, long-term forecasting.

Keywords. Anomaly, temperature, synoptic process, long-term forecasting.

В целом, 2023 год в Казахстане был самым теплым за всю историю наблюдений.

Анализ тенденций в экстремумах температуры приземного воздуха и количества атмосферных осадков на территории Казахстана показал, что за период 1961 - 2022 гг.:

- прослеживается устойчивое увеличение количества летних дней с температурами выше +25°C и +30°C, а также тропических ночей с температурами выше +20°C, особенно заметное на юге, юго-западе и западе республики;

- повсеместно происходит увеличение количества волн жары в теплое время года, общей максимальной продолжительности волн жары, увеличивается также продолжительность волн тепла в целом за год.

Наблюдаемое повышение повторяемости и продолжительности периодов с высокими температурами воздуха в теплый период года ведет к негативным последствиям как для организма человека и животных, так и для различных секторов экономики.

Во многих странах внедрена система раннего предупреждения о наступлении волн жары, проводятся превентивные мероприятия, в результате которых спасают жизни людей, в целом принимаются меры по адаптации к экстремальным погодным условиям.

В РГП «Казгидромет» при достижении температуры воздуха критериев ОЯ и СГЯ составляются штормовые предупреждения о сильной и очень сильной жаре.

На большей части Казахстана критерий сильной жары по [1] составляет +35°C (ОЯ), очень сильной жары +40°C (СГЯ), а для юга страны +40°C (ОЯ) и +45 °С (СГЯ). Например, для г. Астана к сильной жаре относится температура +35°C, к очень сильной жаре +40°C.

По данным СЕАКЦ (Северо-Евразийский климатический центр) аномально жаркой погодой считается период, когда отклонение среднесуточной температуры воздуха от нормы составляет 7° и более в течение 5 дней и более [2].

Согласно критериям Росгидромета, аномально жаркой погодой считается период, когда отклонение среднесуточной температуры воздуха от нормы составляет 7° и более в течение не менее 3 дней подряд [3].

Для прогноза температуры воздуха на длительные сроки используются долгосрочные методы прогнозирования – прогноз будущих отклонений метеорологических элементов от климатических норм, которые формируются под влиянием общей циркуляции атмосферы. Для этого необходимо прогнозировать будущий тип атмосферной циркуляции. Практические методы долгосрочного прогнозирования построены на базе изучения крупномасштабных процессов общей циркуляции атмосферы в конкретном географическом регионе и развития этих процессов в течение длительного промежутка времени. В долгосрочном прогнозировании используются синоптические, физико-статистические, статистические и гидродинамические методы прогнозирования.

Июнь в 2023 г. начался с интенсивной волны жары, когда над территорией Казахстана сформировалась форма циркуляция С3 по Байдалу М.Х. [4], однако завершился он по-осеннему прохладной погодой. Над территорией Казахстана в приземном слое атмосферы отмечалось чередование барических образований разного знака, однако преобладало поле пониженного давления, а в средней тропосфере наблюдались западные и юго-западные потоки.

Первая декада июня выдалась аномально жаркой, дневные температуры воздуха побили рекорды абсолютных максимумов прошлых лет. Такой высокий фон температуры воздуха был связан с устойчивым выносом тропических воздушных масс с районов Ирана и Средней Азии. Температура воздуха повышалась днем до +33+40°C. Над западной половиной Казахстана наблюдался высотный гребень тепла, который оставался стационарным с начала третьей декады мая, затем в течение первой декады июня сместился в восточном направлении. На рис. 1 в качестве иллюстрации процесса, представлены карты геопотенциала поверхности 500гПа и сборно-кинематические карты за первую декаду июня с разбивкой на 5-ти дневки по ЕСП.

Во второй и третьей декадах июня постепенно осуществлялся заток холодных воздушных масс из районов Северных морей, в связи с чем наблюдался спад жары.

Июль был жарким практически на всей территории Казахстана, этому способствовал интенсивный вынос теплых воздушных масс с Ирана и Средней Азии, над территорией республики стационарировал блокирующий высотный гребень (рис.2). Пик жары пришелся на западные регионы - в конце первой декады (+40+46°C), на северо-западные, северные – в начале второй декады (+40+46°C), на восточные, юго-восточные, южные - в середине месяца (+40+44°C). На большей части Казахстана на фоне высоких температур воздуха наблюдалась пожарная опасность 5 класса.

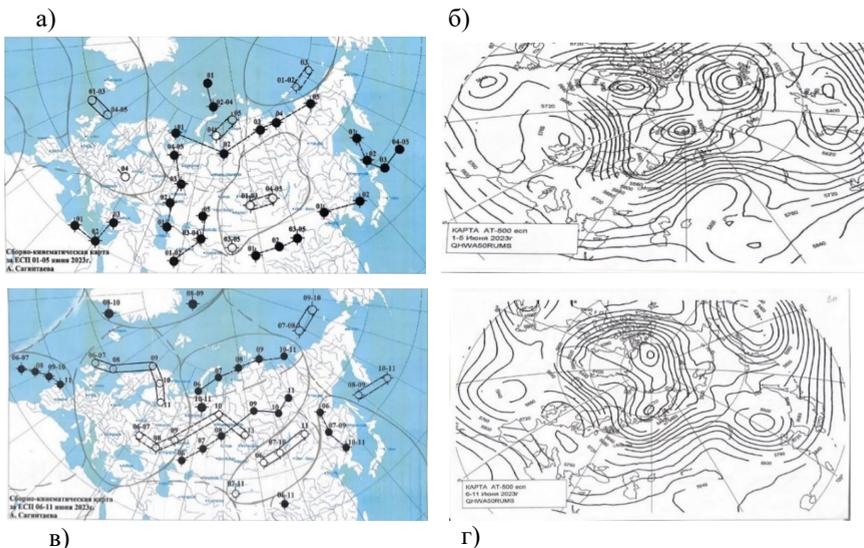


Рисунок 1 - Карты АТ-500: б). период 1-5 июня, г). период 6-11 июня. Сборно-кинематические карты: а) период 1-5 июня, в). период 6-11 июня

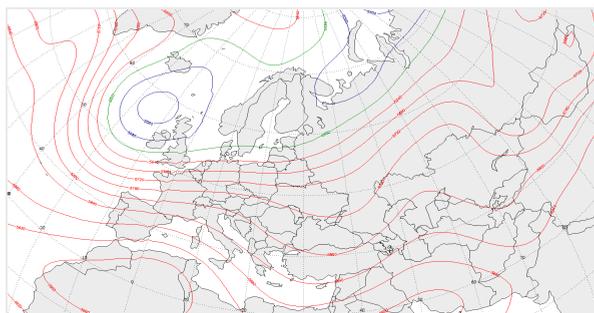


Рисунок 2 - Среднемесячное поле АТ-500 в июле 2023 г.

В средней тропосфере над территорией Казахстана в течение августа преобладала высотная ложбина циклона, в приземном слое - обширный антициклон, сместившийся из районов Прибалтики (рис. 3). Поступление арктического воздуха по восточной периферии антициклона обусловило отрицательные аномалии температуры воздуха в восточной половине республики. Так, прохладная погода с первыми отголосками осени пришлось на середину месяца, когда температура воздуха на севере, в центре, на востоке, юго-востоке понижалась ночью до $+3+10^{\circ}\text{C}$, днем до $+12+20^{\circ}\text{C}$. Исключение составили западные регионы, где большую часть месяца по западной периферии антициклона происходил вынос теплого воздуха с районов Ирана и восточной части Средиземного моря. Столбики термометров днем достигали отметки $+35+42^{\circ}\text{C}$. На фоне преобладающего повышенного атмосферного давления на большей части Казахстана наблюдался дефицит осадков.

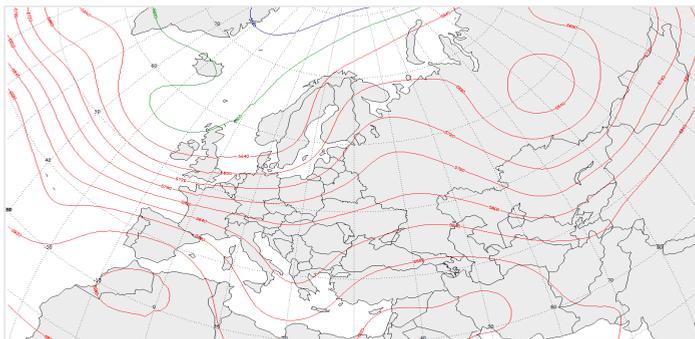


Рисунок 3 - Среднемесячное поле АТ-500 в августе 2023 г.

В августе периоды жаркой погоды наблюдались в г.Астана с 1 по 9 августа и с 18 по 23 августа с температурой $+29+35^{\circ}\text{C}$. Критерий ОЯ был достигнут 23 августа ($+35,4^{\circ}\text{C}$).

В г. Астана растёт частота, продолжительность и интенсивность волн тепла, когда, как минимум, 6 дней подряд наблюдается экстремально высокая для данного сезона суточная температура воздуха.

Аномально теплая погода летом 2023 года - следствие повышенной повторяемости блокирующих процессов (меридиональный тип циркуляции).

Полученные результаты могут быть дополнительными предикторами для долгосрочного прогнозирования высоких температур воздуха на территории Республики Казахстан.

Стоит отметить, что долгосрочный прогноз аномалий температуры воздуха на лето 2023 г., выпущенный Управлением долгосрочных прогнозов «Казгидромета» оказался успешным на 98%. На рисунке 4 приведены прогностические и фактические поля аномалий температуры воздуха за летний период 2023 г.

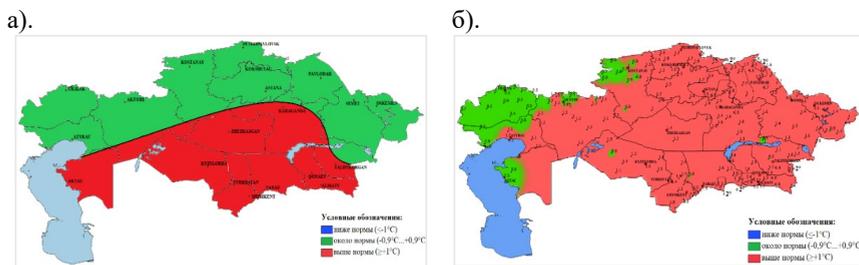


Рисунок 4 - Прогностическое а) и фактическое б) поле аномалий температуры воздуха в летний сезон 2023 г.

Интересно, что следующие сезоны (осень-зима) были тоже необычными.

Сентябрь 2023 года запомнился дождливой погодой. Были отмечены рекорды по атмосферным осадкам, за сутки на некоторых метеорологических станциях выпадало две и более месячных норм. Кроме рекордов по атмосферным осадкам в конце месяца при понижении температуры воздуха месаами наблюдались заморозки.

Теплыми выдались первая и вторая декады октября. На большей части республики температура воздуха была выше климатической нормы на $1-3^{\circ}$. В северной половине страны в дневные часы столбики термометров достигали отметки $+15+25^{\circ}\text{C}$, в

южной половине $+22+30^{\circ}\text{C}$. В этот период были отмечены температурные рекорды на некоторых станциях. Не обошлось и без холодных дней. В отдельные дни при прояснениях ночью в северных, центральных и восточных регионах температура воздуха опускалась до $-3-11^{\circ}\text{C}$. Такие температуры вполне свойственны октябрю.

Большую часть ноября при западном и юго-западном переносе теплых воздушных масс с районов Ирана и Средиземного моря температурный фон на территории Казахстана был выше нормы на $3-10^{\circ}\text{C}$. При таких высоких аномалиях были достигнуты и перекрыты рекорды максимальной температуры воздуха прошлых лет. За всю историю метеонаблюдений ноябрь 2023 года стал одним из экстремально теплых. Пик тепла наблюдался в период 17-18 ноября. В г. Астана норма среднемесячной температуры воздуха за ноябрь составляет $-5,2^{\circ}\text{C}$. Фактическая температура месяца по данным наблюдений была $+2,2^{\circ}\text{C}$, что выше нормы на $7,4^{\circ}\text{C}$. Это новый рекорд температуры.

Декабрь 2023 года был богат на погодные явления. Причиной такого разнообразия атмосферных явлений погоды и температурных «качелей» стала частая смена циклонов и антициклонов. Месяц условно разделился на две волны тепла и одну волну холода. При волнах тепла наблюдалась аномально теплая погода, со снегопадами и метелями, в отдельные дни наблюдался переход снега в дождь и гололед. При волне холода, напротив, погода отличалась «трескучими» $30-40$ -градусными морозами как на севере, так и на юге страны. Поэтому в декабре были обновлены рекорды по максимальным и минимальным суточным температурам воздуха.

В течение января 2024 года часто преобладала быстрая смена синоптических процессов, что и обусловило большие контрасты температурного фона. Теплые снежные дни часто сменялись ясными и морозными. Первая декада месяца выдалась экстремально теплой. Средняя аномалия температуры воздуха превысила норму на $1-13^{\circ}\text{C}$. На фоне высоких аномалий были зафиксированы новые температурные рекорды. Не обошлось и без морозных дней. Во второй декаде месяца с поступлением холодных воздушных масс с районов Западной Сибири и Арктических морей, температура воздуха в северной половине страны ночью понижалась до $-25-40^{\circ}\text{C}$.

В первой декаде февраля практически на всей территории Казахстана отмечалось значительное потепление, были установлены рекорды как в температурном режиме, так и по количеству выпавших атмосферных осадков [5,6,7].

Таким образом, по итогам работы можно сказать, что на территории Республики Казахстан происходят заметные климатические изменения.

Список литературы

1. Наставление по службе прогнозов. Терминология и оценка оправдываемости прогнозов погоды общего назначения, Алматы 2006г. - 24с.
2. Архив предупреждений. СЕАКЦ, Росгидромет. https://seakc.meteoinfo.ru/images/media/images-seakc/seakc/monitoring/climate-watch/clim_watch_trsf20240426.pdf
3. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения, Москва, ФГБУ «Гидрометцентр России», 2019 г.
4. М.Х. Байдал Долгосрочные прогнозы погоды и колебаний климата Казахстана. - Ленинград: Гидрометеиздат, 1965г. - 362с.
5. Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана: 2022 год // НИЦ РГП "Казгидромет", Астана, 2023, 75 с.
6. Обзор об особенностях климата на территории Казахстана 2023 год // НИЦ РГП "Казгидромет", Астана, 2024, 65 с.
7. Обзор фактической погоды в августе 2023г. УДПП РГП "Казгидромет", Астана, 2023г.

ИНВЕРСИИ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Симакина Т.Е., Крюкова С.В.

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

Аннотация. В статье рассмотрены особенности стратификации температуры воздуха в пограничном слое атмосферы г. Санкт-Петербурга. Вычислены повторяемости, длительности, интенсивности и мощности приземных и приподнятых инверсий, дневных и ночных. Инверсии наблюдались ежемесячно, период годового хода повторяемости инверсий составил три месяца: увеличение частоты в зимний и летний сезон, уменьшение — весной и осенью. Наиболее редкое явление – дневные приземные инверсии. Максимальные значения всех исследованных характеристик были сосредоточены в холодный период года в ночное время.

Ключевые слова. Температурные приземные и приподнятые инверсии, повторяемость, интенсивность, мощность.

BOUNDARY LAYER INVERSIONS IN ST. PETERSBURG

Simakina T. E., Kryukova S.V.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Annotation. The article considers the features of air temperature stratification in the boundary layer of the atmosphere of St. Petersburg. The frequency, duration, intensity, and power of surface and elevated inversions, day and night, are calculated. Inversions were observed on a monthly basis, and the annual frequency of inversions was three months: an increase in frequency in winter and summer, and a decrease in spring and autumn. The rarest phenomenon is daytime surface inversions. The maximum values of all the studied characteristics were concentrated during the cold season at night.

Keywords. Surface temperature and elevated inversions, repeatability, intensity, power.

Накопление выбросов загрязняющих веществ в нижних слоях атмосферы происходит в период возникновения неблагоприятных метеорологических условий, к которым относятся температурные инверсии [1]. Статистический анализ инверсий позволяет прогнозировать ухудшение экологической ситуации территории, над которой они возникают, и принимать решения по защите здоровья населения [2].

Наличие инверсии является косвенным признаком появления мезоструи - «струйного течения нижних уровней», сдвиг ветра под которой может быть значительным и опасным при посадке самолетов. Для формирования предупреждений о сдвиге ветра в некоторых странах на телевизионных мачтах и башнях, находящихся вблизи аэродромов, устанавливают температурные датчики для обнаружения и измерения интенсивности инверсий на малых высотах.

Целью работы является оценка характеристик - повторяемости, длительности, интенсивности и мощности, - температурных инверсий в пограничном слое атмосферы г. Санкт-Петербурга. Инверсии определялись по данным аэрологического зондирования за 2023 г. на станции Воейково.

В целом за 2023 г. инверсии наблюдались 48% дней и ночей. Из них треть – дневные, две трети - ночные инерсии. Приземные и приподнятые инверсии формировались с одинаковой частотой. Повторяемость приподнятых и приземных инверсий в разные сезоны представлена на рисунках 1 и 2 соответственно.

Повторяемость приподнятых инверсий изменялась от 7 до 73 % дней в месяце. В распределении повторяемости приподнятых инверсий в дневное и ночное время больших отличий не наблюдается: за год 97 ночных приподнятых инверсий (26.5% ночей) и 84-дневные приподнятые инверсии (23% дней).

Наименьшая повторяемость приподнятых инверсий в теплый сезон года, наибольшая - в холодный сезон.

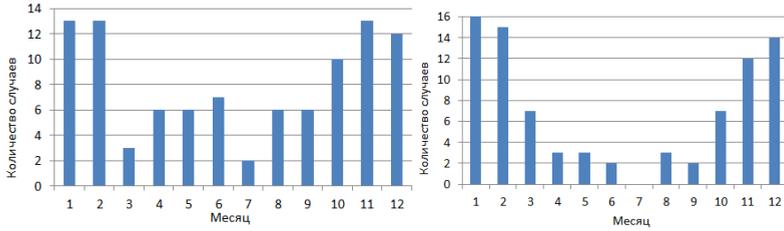


Рисунок 1 – Повторяемость приподнятых инверсий в разные сезоны: ночные (слева) и дневные (справа)

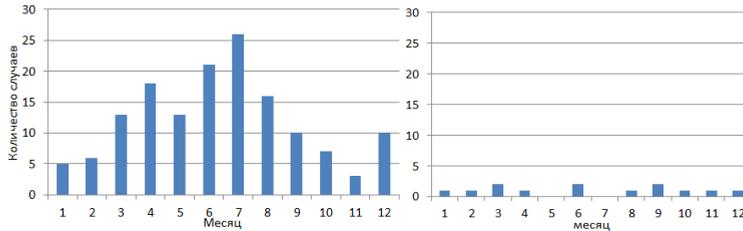


Рисунок 2 – Повторяемость приземных инверсий в разные сезоны: ночные (слева) и дневные (справа)

Наибольшая повторяемость приземных инверсий – в ночное время. За год 148 ночных приземных инверсий (40.5% ночей), 13-дневных приземных инверсий (3,5% дней). Повторяемость ночных инверсий изменялась от 10 до 87 % дней в месяце. Наименьшая повторяемость приземных инверсий в холодный сезон года, наибольшая – в теплый. Таким образом, инверсии наблюдались ежемесячно, период годового хода повторяемости инверсий составил три месяца: увеличение частоты в зимний и летний сезон, уменьшение — весной и осенью.

Длительность приземных инверсий короткая, каждую ночь такие инверсии формируются снова. Приподнятые инверсии иногда сохранялись до трех суток.

Большинство как приземных, так и приподнятых инверсий занимали слой 200-300 м. Единичные инверсии были настолько мощные, что могли занимать весь пограничный слой атмосферы.

Приземные инверсии более интенсивные, чем приподнятые: величина средней интенсивности приземных инверсий варьировала от 1,0 до 8 °С, а приподнятых инверсий изменялась в пределах 1,4-6 °С. 22% всех случаев инверсий - $\Delta T < 1^\circ\text{C}$ (изотермии).

Полученные характеристики инверсий могут быть использованы как основной предиктор в прогнозе неблагоприятных условий для рассеивания вредных веществ в Санкт-Петербурге, а также для расчёта потенциала загрязнения городской территории.

Список литературы

1. Крюкова С.В., Симакина Т.Е. Анализ температурных инверсий в Санкт-Петербурге //Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2015. – № 40. – С. 150-159.
2. Симакина Т.Е., Крюкова С.В. Пространственный анализ концентраций загрязняющих веществ в атмосфере Санкт-Петербурга //Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2016. – № 43. – С. 184-194.

ЦИКЛОНИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В РАЙОНЕ АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ БЕЛЛИНСГАУЗЕН В 2023 - 2024 Г.

Александров В.Я., Капустин А.В., Харсов А.А.

Военно-морской институт ВУНЦ ВМФ ВМА, Санкт-Петербург
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
kaps4000@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются актуальные вопросы влияния внетропических циклонов на погодные условия в районе станции Беллинсгаузен, Антарктида.

Ключевые слова. Антарктида, циклон, сложные метеорологический условия, траектории циклонов, атмосферная циркуляция.

CYCLONIC ACTIVITY IN THE AREA OF THE BELLINGSHAUSEN ANTARCTIC STATION IN 2023-2024

Alexandrov V.Ya., Kapustin A.V., Kharsov A.A.

Naval Institute of the Russian Academy of Sciences of the Russian Navy, St. Petersburg
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Annotation. The current issues of the influence of extratropical cyclones on weather conditions in the Bellingshausen station area, Antarctica, are considered.

Keywords. Antarctica, cyclone, difficult meteorological conditions, cyclone trajectories, atmospheric circulation.

Атмосферная циркуляция Антарктики имеет и широтную и меридиональную составляющие. Широтная составляющая атмосферной циркуляции Антарктики определяет основные зональные черты ее климата. Над Антарктидой располагается антициклон, окруженный цепью циклонов, движущихся с запада на восток. Однако в эту традиционную схему необходимо внести дополнения. Во-первых, у побережья Антарктиды обнаружены стационарные циклоны. Во-вторых, отроги антарктического антициклона нередко прорывают циклоническое кольцо пониженного давления и протягиваются через Южный океан к субтропическому кольцу повышенного давления. В-третьих, циклоны нередко проникают с океана на материк, особенно в Западную Антарктиду.

Что касается Восточной Антарктиды, то для нее антициклон является устойчивым образованием, хотя его размеры и положение меняются под влиянием циклонов. Здесь господствуют ветры с восточной составляющей. Над антарктическим антициклоном находится высотный циклон, в который до высоты 14 км притекает теплый воздух с океана. Высотный циклон и низовые циклоны способствуют приносу влаги внутрь Антарктиды и питанию ледникового щита. В соответствии с барической обстановкой ветры внутри Антарктиды относительно слабы, напротив, в широком (700 км) периферическом кольце обычны штормы и ураганы, сопровождаемые поземкой и низовой метелью. Природа ветров двоякая. Во-первых, это циклонические ветры. Так как центры периферических циклонов проходят обычно севернее берега Антарктиды, то ветер на берегу дует с востока-юго-востока. Приближение к берегу циклонической депрессии усиливает и другой процесс поступление из Антарктиды к морю холодного воздуха материка (стоковый ветер). Стоковые ветры тем сильнее, чем круче склон антарктического купола.

Сезон внетропических циклонов в Антарктиде в 2023–2024 годах продлится с сентября 2023 года по август 2024 года. В этой статье рассматриваются внетропические циклоны в море Беллинсгаузена и море Амундсена. Штормы здесь не наносят

значительного экономического ущерба, так как эта территория необитаема, однако оказывают существенное влияние на режим жизнедеятельности близлежащим исследовательским станциям и безопасности мореплавания.

Не на все антарктические станции возможны полеты авиации, что значительно бы упростило доставку грузов и людей на Антарктиду. Но такие условия есть рядом с Антарктическим полуостровом, где на острове Кинг-Джордж (в составе Южных Шетландских островов), находятся две антарктических станции.

Одна из них Беллинсгаузен - антарктическая станция. Названа в честь Фаддея Беллинсгаузена. Основана Советской Антарктической экспедицией 22 февраля 1968 года и является самой северной (то есть ближайшей к экватору) российской станцией.

В непосредственной близости от станции Беллинсгаузен расположена антарктическая станция Фрей, самая важная антарктическая база Чили. Она расположена на полуострове Фильдс, в незамерзающей зоне, напротив залива Фильдс, на западной оконечности острова Кинг-Джордж, всего в 200 метрах от российской станции Беллинсгаузен. Здесь есть взлётно-посадочная полоса длиной 1300 метров, по которой в сезон выполняется 50 межконтинентальных и 150 внутриконтинентальных рейсов, служащих средством передвижения на многие близлежащие базы.

На эту полосу совершал посадку и российский грузовой самолет ИЛ-76, с грузом для станции Беллинсгаузен. Поэтому вопрос метеорологического обеспечения полетов в районе станций Фрей и Беллинсгаузен является важным и актуальным.

Ранее говорилось, что ухудшение погодных условий на Антарктиде связано с циклонической деятельностью.

Всего за рассматриваемый период в районе антарктической станции Беллинсгаузен было зафиксировано образование 42 циклонов.

Первым внетропическим циклоном был циклон Анита с продолжительностью пять суток с 22 по 27 октября 2023 года. Минимальное атмосферное давление в центре составило 954 гПа, максимальная скорость ветра 125 км/ч. Циклон сформировался над водной поверхностью моря Амундсена, далее перемещался в широтном направлении на восток и заполнился в южной части Антарктического полуострова.



Рисунок 1 - Антарктическая станция Беллинсгаузен

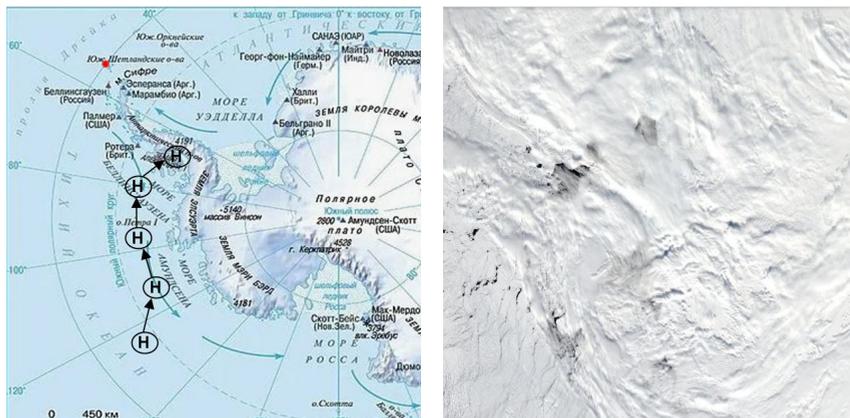


Рисунок 2 - Траектория перемещения циклона Анита, спутниковый снимок облачной системы циклона, октябрь 2024 г.

Образование циклонических депрессий отмечалось с постоянной периодичностью от одной до трёх за месяц. Заполнение этой категории циклонов происходило на третьи - четвёртые сутки, после их перемещения на континент. Минимальное атмосферное давление в центре составило 943 гПа, максимальная скорость ветра 60 км/ч. Этим барическим собственные имена не присваиваются

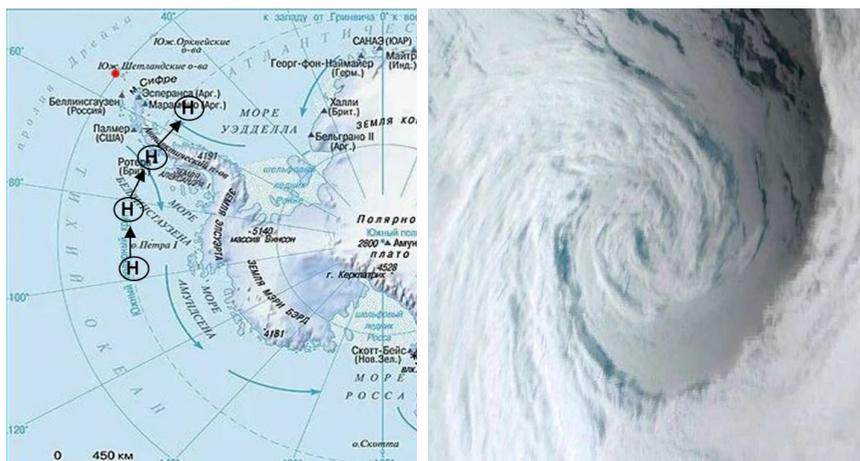


Рисунок 3 - Траектория перемещения циклонической депрессии, спутниковый снимок облачной системы циклона, февраль 2024 г.

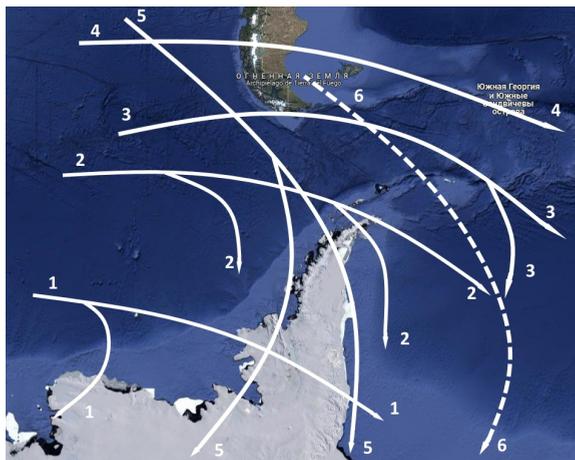
За рассматриваемый период отмечено образование трёх глубоких внутритропических циклонов с максимальными значениями зафиксированных скоростей ветра. Циклоны формируются над водной поверхностью, жизненный цикл составляет от семи до девяти суток, минимальное атмосферное давление в центре 930 гПа, максимальная скорость ветра 202 км/ч.



Рисунок 4 - Траектория перемещения глубокого циклона Джанг, спутниковый снимок облачной системы циклона, июнь 2024 г.

Приведённые на рисунках 2-4 траектории подтверждают, что циклоны в рассматриваемый район станции Беллинсгаузен, (рис. 5) поступают как по зональным, так и по меридиональным траекториям. Для зональных процессов характерен устойчивый западный перенос и быстрое перемещение циклонов с запада на восток. Скорость их смещения из Тихого в Атлантический океан в зоне пролива Дрейка достигает 100 и более км/ч. Часть циклонов меняет свою траекторию и переваливает через гористый полуостров, оказываясь в море Уэддэлла. Перед препятствием циклоны замедляются, смещаясь вдоль него, и потом преодолевают препятствие. Нередко часть облачной массы циклона остается с наветренной стороны горного хребта и длительные время определяет пасмурную погоду. Число подвижных циклонов севернее 63° ю.ш. бывает больше, чем в более южных районах. В январе в море Беллинсгаузена преобладают медленно смещающиеся циклоны, которые в прибрежной зоне приобретают восточные составляющие. В этой зоне часто наблюдается стационарирование циклонов [1].

Процессы образования и распределения облачности и осадков связаны с возникновением и перемещением фронтов. Для рассматриваемого региона наиболее значимой является восточно-тихоокеанская ветвь Антарктического фронта, выходящая к материку в юго-восточной части моря Беллинсгаузена. При адвекции теплого и влажного воздуха к югу в передней части циклона происходит его постепенное охлаждение, приводящее к конденсации водяного пара. При этом появляется сплошная слоистая облачность, морозящие осадки, туманы. Холодный и сухой континентальный воздух при перемещении к северу над более теплой поверхностью океана увлажняется и нагревается. Это приводит к неустойчивости в нижних слоях атмосферы, в результате чего появляется облачность кучевых форм, осадки в виде крупы и снега, порывистый ветер, иногда усиливающийся до шторма. Этот тип погоды характерен для тыловых частей циклонов или передних частей развивающихся гребней высокого давления. Средняя за год облачность составляет 9 баллов и по сезонам меняется мало. Повторяемость ясного неба (0 – 2 балла) от 2 до 5 % от общего количества сроков наблюдений, но зимой увеличивается до 7 – 9 %.



*Рисунок 5 - Типовые траектории циклонов в регионе Антарктического полуострова
1–высокоширотная зональная; 2–зональная по югу пролива Дрейка; 3–зональная по северу пролива Дрейка; 4–низкоширотная, зональная; 5–меридиональная (с юго-востока Тихого океана); 6–меридиональная южноамериканская*

Частое выпадение осадков связано с активной циклонической деятельностью в течение всего года. За год отмечается около 240 дней со снегом и около 200 дней с дождем и моросью. Хотя твердые осадки преобладают в течение всего года, но жидкие и смешанные осадки отмечаются не только летом, но и зимой [2].

Таким образом, в период циклонической активности внетропические циклоны различной интенсивности - характерное атмосферное образование для антарктического лета. Все типы внетропических циклонов, вне зависимости от глубины и времени их жизненного цикла, формировались над водной поверхностью моря Амундсена, далее смещались в основном направлении циркуляции атмосферы на восток и заполнялись при их выходе на континент. При усилении ветра, незакрепленные снежные массы и осадки формировали продолжительные периоды времени с ограниченной видимостью и сильной ветровой нагрузкой на объекты антарктических станций, что в свою очередь оказало существенное влияние на их режим повседневной деятельности и требует своевременного прогнозирования и учёта в целях решения задач обеспечения их бесперебойной деятельности [3].

Циклоническая деятельность значительно усложняет летно-метеорологические условия в районе станции Беллинсгаузен в течение всего года. Поэтому необходимо внимательно следить за выходом циклонов в рассматриваемый район и заблаговременно прогнозировать ухудшение погодных условий.

Список литературы

1. Александров В.Я. Колебания среднегодовых аномалий температуры воздуха в регионе Антарктического полуострова в связи с особенностью атмосферных процессов в южной полярной области. Ученые записки РГГМУ, 2010.–№ 15.
2. Александров В.Я., Капустин А.В., Харсов А.А. Некоторые особенности метеорологического обеспечения авиации в Антарктиде. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, РГГМУ, 2023-311с.
3. Александров В.Я. Капустин А.В. Эль-Ниньо и Антарктида. Сборник тезисов Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Российского государственного гидрометеорологического университета, 2020.-105 с.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПОЖАРООПАСНОСТИ ПО ПОГОДНЫМ УСЛОВИЯМ ДЛЯ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Цыцорин Н.Д.¹, Анискина О.Г.², Нестерова А.О.³

¹ ГУ МЧС России по Пермскому краю, Пермь

²Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

³ Пермский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды-филиал
ФГБУ «Уральское УГМС», Пермь
nekits159@mail.ru

Аннотация. Лесные пожары представляют собой неконтролируемое стихийное бедствие, которые наносят материальный ущерб, угрожают жизни и здоровью людей, а также застигают интересы общества и государства. В работе представлен анализ методов оценок класса пожарности, проанализирован пожароопасный период 2023 г. и влияние погодных условий на возникновение лесных пожаров на территории Пермского края.

Ключевые слова. Пермский край, погодные условия, лесные пожары, пожарная опасность, методы оценки.

ANALYSIS OF FIRE HAZARD ASSESSMENT METHODS BASED ON WEATHER CONDITIONS FOR THE PERM REGION

Tsytsorin N.¹, Aniskina O.², Nesterova A.³

¹ The Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the Perm Region, Perm,

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

³Perm Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Perm

Abstract. Forest fires are uncontrolled natural disasters that cause material damage, threaten human life and health, and compromise the interests of society and the state. The paper presents an analysis of fire class assessment methods, analyzes the fire hazard period of 2023 and the impact of weather conditions on the occurrence of forest fires in the Perm region.

Keywords. Perm region, weather conditions, forest fires, fire danger, assessment methods.

В странах, где леса занимают значительную часть территории, лесные пожары являются национальной проблемой, а ущерб, наносимый реальному сектору экономики, достигает десятков и сотен миллионов долларов ежегодно. Россия по праву считается одной из крупнейших лесных держав, на её территории располагаются 1/5 часть всех мировых лесов.



Рисунок 1 – Лесной пожар с воздуха под Краснокамском в конце июля 2023 г.

Классификация и причины возникновения лесных пожаров

Лесные пожары классифицируются по 3 основным типам: низовые, верховые, подземные (торфяные).

Причины возникновения делятся на две группы: антропогенный или человеческий (курение, непотушенные костры, сжигание мусора, преднамеренный поджог и др.) и естественный или природный (сухие грозы, извержения вулканов, самовозгорание торфяника, высокая температура и отсутствие осадков в эти дни) факторы.

Прогнозирование лесных пожаров

Прогнозирование лесных пожаров – определение вероятности возникновения и разрастания пожара по времени и пространству на основании анализа данных мониторинга. Исходными данными для прогнозирования служат:

- класс пожарной опасности по условиям погоды;
- местоположение и площади участков лесного фонда I-III классов пожарной опасности и (или) участков разных классов пожарной опасности;
- данные о рельефе местности;
- наличие потенциальных источников огня в перечисленных участках лесного фонда;
- данные о грозовой деятельности;
- результаты ретроспективного анализа распределения пожаров во времени (число пожаров по годам, месяцам и т.д.) и по территории (лесной квартал, лесничество и др.) рассматриваемого района, региона или сопоставимого с ними по природным и экономическим условиям за последние 10 лет.

Коэффициент (индекс) пожарной опасности по погодным условиям

Для потенциальной оценки пожарной опасности в лесах используют индекс горимости леса. В РФ это индекс В.Г. Нестерова, зарубежные страны придерживаются использования индекса KBDI (Keetch Byram Drought Index).

Для вычисления комплексного показателя пожарной опасности по Нестерову необходимо иметь данные о следующих метеорологических величинах:

- температура воздуха за 12 часов местного времени (в 0°С),
- температура точки росы за 12 часов по местному времени (в 0°С),
- количество выпавших осадков (мм) за период с 12 часов прошлого дня (или с момента расчета прошлого показателя); осадки интенсивностью до 3 мм в расчете не используются.

Комплексный показатель горимости Нестерова рассчитывают по следующей формуле:

$$КПО = \sum_n T (T - d) \quad (1)$$

где T – температура воздуха в 0°С в 12 часов дня по местному времени,

d – температура точки росы в 0°С,

n – число дней, прошедших с последнего дождя.

Класс пожарной опасности определяется по диапазону полученных значений (табл. 1).

Таблица 1 – Ранжирование классов пожарной опасности по погодным условиям [6,7,8]

Класс пожарной опасности	Диапазон значений индекса горимости, °С	Характеристика пожарной опасности
I	0-300	Отсутствует
II	301-1000	малая

III	1001-4000	средняя
IV	4001-10000	высокая
V	Свыше 10000	чрезвычайная

Данный показатель пытаются усовершенствовать, поскольку его недостатком является то, что он становится равным нулю при осадках 3 мм и более. При этом не учитывается сухость лесной подстилки перед выпадением осадков.

В работе Жданко (1965) [1, 2, 3] предлагалось не проводить обнуление индекса после каждого дня, в котором выпало 3 мм и более осадков, а ввести коэффициенты, представленные в табл. 2, чтобы обеспечить гибкость в оценке осадков.

Таблица 2 – Коэффициент К для расчёта модифицированного показателя пожарной опасности

Осадки, мм	0	0,1-0,9	1-2	3-5	6-14	15-19	20 и более
К	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0

В качестве субъекта исследования методов оценки пожароопасности был выбран Пермский край. Этот регион представляет особый интерес, так как на его территории находится 30% всех лесов Приволжского федерального округа.

Был проведён анализ по разбору пожара в Гайнском (северном) районе за 25.06.2024 г. и рассчитан комплексный показатель пожароопасности В.Г. Нестерова по формуле (1). На рис. 2 приведены метеорологические характеристики, определяющие пожароопасность и входящие в данный показатель, на рисунке 3 – КПО Нестерова и дефицит точки росы.

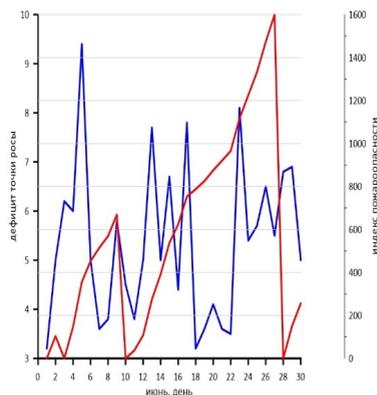
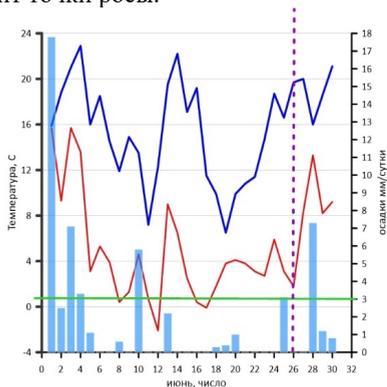


Рисунок 2 (слева) – Временной ход температуры воздуха (синяя линия), температуры точки росы (красная) и количества осадков (голубые столбцы)

Рисунок 3 (справа) – КПО Нестерова (красная линия) и дефицит точки росы

На рис. 2 зелёная линия показывает количество осадков, после которого происходит обнуление показателя пожароопасности КПО. Фиолетовый пунктир соответствует дате сильного пожара в Гайнском районе. Рассматривая данный график, можно сказать, что с 10 июля не наблюдалось значимых осадков, температура воздуха была достаточно высокой и наблюдался дефицит точки росы.

Однако если проанализировать рассчитанный КПО (рис. 3), то можно увидеть, что показатель не превышает 1600°C – третий класс пожароопасности, – и это не соответствует действительности.

На рисунке 4 приведены результаты расчёта с использованием поправки Жданко.

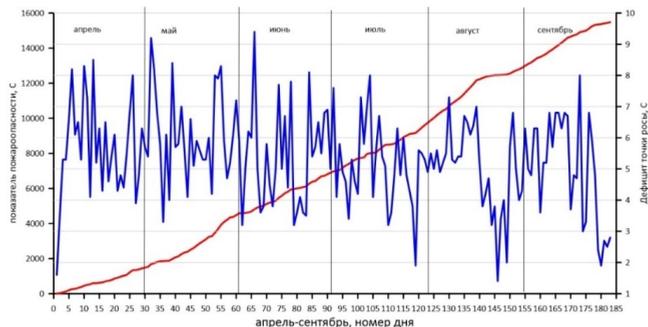


Рисунок 4 – КПО Нестерова с поправкой Жданко

Анализ пожароопасной обстановки на территории Пермского края за 2023 год

В 2023 г. в Пермском крае пожароопасный сезон продолжался 173 календарных дня (на 20 дней дольше, чем в 2022 г.): первый природный пожар отмечен 4 апреля 2023 года в Очёрском районе, крайний – 28 сентября в Гайнском районе. Главная сложность пожароопасного периода 2023 г. заключалась в метеорологических условиях: критически низкий уровень атмосферных осадков, продолжительность аномально засушливого периода составила более 50 дней.

В таблице 3 представлено распределение количества пожаров в 2023 г. по месяцам.

Таблица 3 – Распределение количества пожаров в 2023 г. по месяцам

Месяц	Количество пожаров
Апрель	21
Май	32
Июнь	24
Июль	27
Август	57
Сентябрь	35
Итого	193

Наибольшее количество пожаров произошло в августе, наименьшее – в апреле. В сумме было зафиксировано 193 пожара, общая площадь, пройденная огнём, составила 446 гектар.

Для анализа влияния метеорологических условий в данный период была использована информация, предоставленная Пермским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

В апреле первая и третья декады характеризовались повышенными температурами, с небольшими аномалиями около 1-3°С. На протяжении практически всего месяца сохранялся снежный покров, а также наблюдался дефицит осадков. Пожары в этот период, вероятнее всего, обусловлены антропогенными факторами, а не метеорологическими условиями.

В августе первая и вторая декада также отличались повышенной температурой по всему региону и дефицитом осадков, особенно заметным во второй декаде.

В таблице 3 приведена часть информации о выявленных пожарах на территории Пермского края различными способами мониторинга (авиамониторинг, наземный мониторинг) в качестве примера.

Анализ данных позволяет говорить о том, что в 2023 г. наибольшее количество пожаров наблюдалось в северных районах (Чердынь, Гайны, Красновишерск, Соликамск

и т.д.) – площадь пожаров в северных регионах составила более 50% от общей площади. Поскольку эти районы малонаселены и труднодоступны, то можно считать, что причинами пожаров являлся естественный фактор (молнии и высокая температуры воздуха при дефиците осадков). Сила пожаров связана с трудности их выявления и тушения.

Заключение. В результате проведенного анализа можно отметить, что большее количество лесных пожаров происходило на севере края (Гайнском, Красновишерском и Чердынском районах), где низкая плотность населения и причиной могли стать экстремальные условия погоды. Эффективность использования КПО Нестерова В.Г. занижает реальную степень пожароопасности, однако введение поправок Жданко по осадкам позволяет более точно оценивать ситуацию. Таким образом, использование эффективных методов прогнозирования и мониторинга лесопожарной обстановки способствует снижению материального ущерба, а также ущерба природному фонду и интересам России.

Таблица 3 – Информация о возникших лесных пожарах на территории Пермского края по состоянию на 06.10.2023

Авиаотделение	Муниципальный округ	Лесничество	Кол-во пожаров, шт.	Пройденная огнем площадь, га
Гайнское п. Гайны	Гайнский	Веслянское	11	38,44
		Гайнское	26	39,04
	Косинский	Косинское	7	9,95
	Кочевский	Кочевское	2	1,50
	Юрлинский	Юрлинское	3	0,66
Итого			49	89,59
Ныробское п. Ныроб	Чердынский	Колвинское	20	17,49
		Чердынское	10	85,87
	Красновишерский	Вайское	0	0
Итого			30	103,36
...				
Наземный мониторинг	Краснокамский	Закамское	16	108,86
		Пермское	14	9,01
	Очерский, Оханский	Очерское	9	38,69
		Чайковское	12	10,27
...				
Итого			87	207,08
Всего			193	446,09

Список литературы

1. *Шерстюков Б.Г.* Лесные пожары, как метеобусловленное явление//Труды ВНИИГМИ-МЦД, 2012 – Вып 173. – с. 326-357
2. *Шерстюков Б.Г., Шерстюков А.Б.* Климатические условия потенциальной горимости леса в России в XX и XXI веках//Труды ВНИИГМИ-МЦД, 2007. – Вып. 173. – с 137-151.
3. *Шерстюков Б.Г.* Оценки потенциальной горимости леса по месячным метеорологическим данным//Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, 2013 – Т. 25. – М.: ИГКЭ.

АНАЛИЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ОРНИТОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В АВИАЦИИ

Нестерова А.О.¹, Волобуева О.В.², Цыцорин Н.Д.³

¹Пермский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиал
ФГБУ «Уральское УГМС», Пермь

²Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

³ГУ МЧС России по Пермскому краю, Пермь
ovvolobueva@rshu.ru, lina01nesterova@mail.ru

Аннотация. События, происходящие с птицами, неразрывно связаны с погодными условиями, поскольку атмосфера служит для них естественной средой обитания. В работе рассмотрены синоптические ситуации и метеорологические параметры, которые влияли на перемещение птиц в районе аэродрома Пулково за период с 2014 по 2023 гг.

Ключевые слова. Аэропорт Пулково, авиация, миграция птиц, погодные условия, метеорологические условия.

ANALYSIS OF METEOROLOGICAL CONDITIONS FOR EFFECTIVE ORNITHOLOGICAL MONITORING IN AVIATION

Nesterova A.¹, Volobueva O.², Tsytsorin N.¹

¹Perm Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Perm

²Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

³The Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the Perm Region

Abstract. Events that occur with birds are inextricably linked to weather conditions, as the atmosphere serves as the atmosphere serves as their natural habitat. The work considers meteorological conditions and meteorological parameters, which influenced the movement of birds in the area of the airfield Pulkovo for the period from 2014 to 2023.

Keywords. Pulkovo Airport, aviation, bird migration, weather conditions, meteorological conditions.

Одна из причин, по которой происходят авиационные происшествия – это столкновение самолётов с птицами, частота которых возросла с развитием реактивных двигателей [1]. Птицы стали попадать в них, что приводит к их полному отказу, возникновению «язычка» пламени или к разрушению, а также врезаться в окна в кабине пилотов, оставляя трещины или разбивая их, в крыло, носовые части и фюзеляж.



Рисунок 1 (слева) – авария А321-200 а/к Уральские авиалинии в районе а/п Раменское;

Рисунок 2 (справа) – аварийная посадка А320 на Гудзон

Для анализа влияния метеорологических условий на миграции птиц был выбран аэродром Пулково, поскольку поблизости к нему проходит южная ветвь Беломоро-Балтийского пролётного пути. В районе аэродрома встречается разнообразное количество птиц, которые создают опасность для воздушных судов (далее – ВС).

Орнитологическое обеспечение полётов – это комплекс мероприятий, направленный на предотвращение столкновений ВС с птицами [2].

В данный комплекс мероприятий в российской и международной практике для предотвращения скопления птиц входит:

1. сокращение или ликвидация деревьев, кустарников и других растений, скашивание травяного покрова на лётном поле;
2. применение методов для отпугивания и обнаружения птиц с периодическим чередованием этих методов;
3. ликвидация увлажненных и заболоченных участков на территории аэродрома;
4. устранение городских свалок промышленных и продуктовых отходов;
5. оперативное оповещение экипажей ВС о скоплении и массовых перелётах птиц, обнаруженных на пути движения ВС и т.д.

Существует несколько способов отпугивания птиц [3]:

1. Биоакустическое отпугивание: крики хищников, тревоги. При применении данного способа нужно учитывать погодные условия, поскольку встречный и боковой ветер, осадки (дождь) уменьшают дальность звучания сигнала.

2. С помощью пиротехнических акустических средств. Осуществляется выстрелами в сторону птиц на таком расстоянии, чтобы ракета пролетела поблизости от них. Также применяют ружья, специальные пугачи, в которых автоматически взрывается газ;

3. Визуальные отпугивания (пугала, флажки, ленты, огни, воздушные змеи в виде ястребов);

4. Отпугивание с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Проводится по согласованию с органом ОВД;

5. Радиоэлектронное и электромагнитное отпугивание и объединенные автоматизированные системы управления птицами.

Для анализа орнитологической обстановки были использованы данные по зафиксированным случаям происшествий, составленных орнитологами из Пулково с 2014 по 2023 гг.

На рисунке 3 представлена повторяемость перемещения птиц по сезонам в районе аэродрома за период с 2014 по 2023 гг.

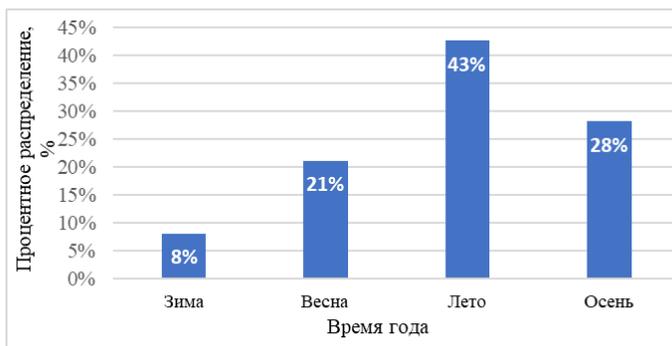


Рисунок 3 – Повторяемость перемещения птиц по сезонам в районе аэродрома Пулково за период 2014-2023 гг.

По выше представленному рисунку видно: лето является пиковым сезоном, на который приходится 43% всех зафиксированных случаев, что значительно превышает зимний минимум (8%). Летом такие благоприятные синоптические ситуации, как периферийные зоны циклонов и антициклонов, центры антициклонов, и области малоградиентных полей повышенного давления, создают условия для активных кочёвок. Также другой фактор – биологический: массовое появление молодняка, становление на крыло, что будет увеличивать вероятность столкновения. В противоположность летнему максимуму, зимний период характеризуется наибольшей стабильностью: снижение общей активности птиц, неблагоприятные погодные условия, снижение численности птиц из-за миграции [4].

Влияние метеорологических характеристик на перелёты птиц

Анализ проводился по следующим метеорологическим характеристикам [5]:

- *Температура.* Градации температуры были выбраны через 10°С. Чаще столкновения происходили в диапазоне температур от +10 °С до +20°С (47%), реже всего при превышении температуры более 30°С или же, когда она опускалась ниже -20°С (по 1%).

- *Относительная влажность.* Были выделены следующие диапазоны: низкая (менее 40%), оптимальная (40-60%) и высокая (60-100%). Миграция птиц происходила чаще при высокой влажности (77%), реже – при низкой (7%).

- *Видимость.* Чаще столкновения самолётов с птицами происходили при видимости 10 км и более (89%), реже – при плохой видимости, т.е. менее 3 км (2%).

- *Атмосферное давление.* Большая часть перемещений птиц происходило при пониженном давлении (ниже 760 мм рт. ст.) – 55%, при повышенном (выше 760 мм рт.ст.) составляло 45%.

- *Скорость ветра.* Скорость ветра была разделена на следующие градации: штиль, лёгкий ветер (1-2 м/с), слабый (3-5 м/с), умеренный (6-7 м/с) и сильный (8-15 м/с). Большая часть столкновений регистрировались при слабом ветре (51%), меньше всего – при штиле (4%). Также следует учитывать влияние встречного и попутного ветра на перемещение птиц.

- *Направление ветра.* По направлению ветра были созданы следующие градации: ССЗ-ССВ (337°-22°), ССВ-ВВС (22°-67°), ВВС-ВЮВ (67°-112°), ВЮВ-ЮЮВ (112°-157°), ЮЮВ-ЮЮЗ (157°-202°), ЮЮЗ-ЗЮЗ (202°-247°), ЗЮЗ-ЗСЗ (247°-292°), ЗСЗ-ССЗ (292°-337°) и отдельно выделена группа «Штиль». Столкновения в 19% происходили от западно-юго-западное до западно-северо-западного (247-292°), меньше всего при штиле – 4%.

- *Осадки.* Очевидно, что их отсутствие будет являться благоприятным фактором для полётов пернатых.

Влияние синоптической ситуация на перелёты птиц

На рисунке 4 представлены синоптические ситуации, при которых были зафиксированы столкновения воздушных судов с птицами с 2014 по 2023 гг.

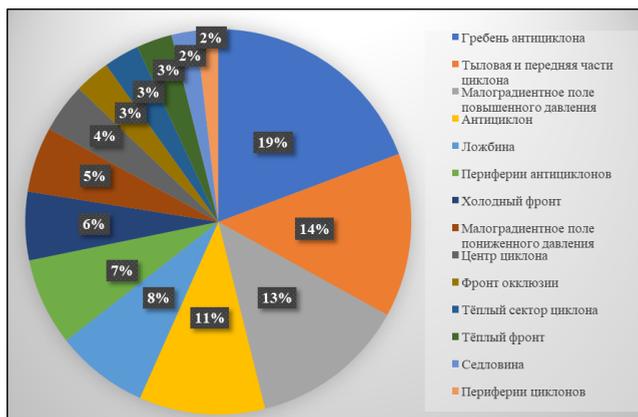


Рисунок 4 – Типовые синоптические ситуации с 2014 по 2023 гг.

По диаграмме, представленной на рисунке 4, можно сказать, что активная миграция наблюдалась в те дни, когда аэропорт находился под влиянием гребней антициклонов (19%), малоградиентных полей повышенного давления (13%) и центров антициклонов (11%). Эти синоптические ситуации способствуют формированию стабильной погоды, что создаёт благоприятные условия для миграции.

Также стоит отметить, что 14% случаев были зафиксированы, когда аэропорт находился под влиянием тыловой и передней частей циклонов. В тыловой части погода определяется характеристиками холодного фронта, который, как правило, сопровождается падением температуры, ростом давления, увеличением скорости ветра. В летний период возможно образование кучево-дождевой облачности с градом и со шквалистым ветром, что будет «блокировать» перемещение птиц. В передней части погода характеризуется тёплым фронтом: распространение зоны слоисто-дождевых облаков, после прохождения фронта осадки прекращаются, уменьшается скорость ветра с поворотом на южное направление.

Ниже представлены примеры таблиц, которые были созданы для обобщения информации по метеорологическим характеристикам и синоптическим ситуациям и их влиянием на орнитологическую обстановку в зависимости от сезона.

Таблица 1 – Оценка орнитологической обстановки при антициклонической и циклонической деятельности в зависимости от сезона с 2014 по 2023 гг. в районе аэродрома Пулково

№	Период года	Зима	Весна	Лето	Осень
	Синоптическая ситуация				
1	Гребень антициклона	Слабое перемещение	Активная миграция	Активное перемещение	Активная миграция
2	Малоградиентное поле повышенного давления		Усиление миграции	Активное перемещение	Ослабление или прекращение миграции
...					
16	Периферии циклонов		Ослабление или прекращение миграции		Ослабление или прекращение миграции

Таблица 2 – Оценка орнитологической обстановки при различных метеорологических характеристиках в зависимости от сезона с 2014 по 2023 гг. в районе аэродрома Пулково

№	Период года	Зима	Весна	Лето	Осень
	Состояние погоды				
1	Ясная, малооблачная погода	Интенсивность и высоты полетов увеличиваются			
...					
13	Скорость ветра				
	1-2 м/с (лёгкий ветер)	Тенденция к усилению миграции/к перемещению			
	3-5 м/с (слабый ветер)	Тенденция к усилению миграции/к перемещению			
	6-7 м/с (умеренный ветер)	Снижение тенденции к перемещению/миграции			
	8-15 м/с (сильный ветер)	Снижение тенденции к перемещению/миграции			
	Штиль	Снижение тенденции к перемещению/миграции			

Заключение

В результате проведенного анализа следует отметить важность метеорологических данных, характеризующихся изменениями. Эти изменения способны либо затруднять перелеты птиц, вызывая их скопление вблизи аэродромов, либо благоприятствовать их перемещению. Применение этой информации может позволить прогнозировать орнитологическую обстановку, что, в свою очередь, будет способствовать повышению уровня безопасности полетов воздушных судов.

Список литературы

1. Зырянова У.П., Гусарова В.С., Миронова Т.В., Е. Vlatnoy. Этапы становления авиационной орнитологии как науки. – Ульяновский государственный технический университет, 2021. – с. 39-43.
2. Федеральные авиационные правила «Правила эксплуатации аэродромов гражданской авиации». Часть 1 «Борьба с опасностью, создаваемой живой природой»
3. Ушкалова Е.А., Левшина Д.В., Лукашевич О.А. Оптимизация работы авиационной орнитологии АО «Аэропорт «Пулково».
4. Нестерова А.О., Волобуева О.В. Влияние погодных условий на миграцию птиц на примере аэродрома Пулково, 2023. – 142-146 с.
5. Нестерова А.О., Волобуева О.В., Соколова А.П. Анализ метеорологических условий для орнитологического обеспечения авиации, 2024. – 329-334 с.

СРЕДНЕГОДОВОЙ ХОД ВЫСОТЫ НУЛЕВОЙ ИЗОТЕРМЫ В РАЙОНЕ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Иванова И.А.¹, Топтунова О.Н.^{1,2}, Лаврова И.В.^{1,3}, Иванов Д.С.⁴

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

³ АО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт», Санкт-Петербург

⁴ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
ira.nova@mail.ru olgakolp@yandex.ru livspb@yandex.ru d.ivanov.games@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены результаты анализа высоты нулевой изотермы в период с 1978 г. по 2023 г., выполненные по данным аэрологического зондирования на станции Воейково. В ходе исследования определены случаи с нулевой изотермой в слое от земли до 1000 м, рассчитана средняя высота и среднеквадратическое отклонение для каждого месяца. Результаты исследования могут быть использованы для научной и практической работы по оценке условий обледенения в регионе.

Ключевые слова. Температура, уровень замерзания, высота, обледенение.

THE AVERAGE ANNUAL HEIGHT VARIATION OF THE ZERO ISOTHERM IN ST. PETERSBURG.

Ivanova I.A.¹, Toptunova O.N.^{1,2}, Lavrova I.V.^{1,3}, Ivanov D.S.⁴

¹ Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

² St. Petersburg State University, St. Petersburg

³АО "State Scientific Research Navigation and Hydrographic Institute", Saint Petersburg

⁴ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Annotation. The article presents the results of an analysis of the height of the zero isotherm in the period from 1978 to 2023, performed according to aerological sounding data at the Voyekovo station. The study identified cases with zero isotherm in the layer from the ground to 1000 m, calculated the average height and standard deviation for each month. The results of the study can be used for scientific and practical work on the assessment of icing conditions in the region.

Keywords. Temperature, freezing level, altitude, icing.

Высота нулевой изотермы согласно [1] является высотой изотермической поверхности с температурой 0°C над поверхностью, над пунктом или (в разрезе) по трассе, или (на карте) по району. Высота нулевой изотермы является важным гидрометеорологическим индикатором, описывающим состояние атмосферы. Данный параметр может быть использован как первое приближение при прогнозировании микрофизической фазы атмосферных осадков в холодный период года.

Прогноз высоты нулевой изотермы является составляющей частью метеорологического обеспечения авиации [2]. Совместно с прогнозом высоты нижней и верхней границы облачности, она даёт представление о наличии слоёв обледенения в облаках.

В климатическом обеспечении различных отраслей экономики высота нулевой изотермы может характеризовать условия возможных гололёдно-изморозевых отложений на высотных конструкциях, немногочисленные результаты наблюдений за которыми приводятся в научной литературе [3].

Поэтому, изучение среднегодового хода высоты нулевой изотермы является актуальной задачей.

Для работы по данным радиозондирования атмосферы [4] на ст. Воейково были рассчитаны высоты нулевой изотермы за каждый срок зондирования в слое от земли до 1000 м за период с 11.10.1978 г. 00UTC до 31.12.2023 г. 12 UTC.

Высота нулевой изотермы определялась линейной интерполяцией; учитывался нормальный ход изменения температуры воздуха с высотой и инверсионный. Таким образом, в некоторых случаях, по данным одного зондирования высота нулевой изотермы могла быть определена несколько раз (например, переход от положительных температур к отрицательным на нижнем уровне, выше - от отрицательных к положительным, выше - от положительных к отрицательным). За один случай принимался один переход через 0 °C.

Определялось количество случаев с нулевой изотермой и их повторяемость.

Рассчитывалась средняя высота нулевой изотермы и среднеквадратическое отклонение (СКО).

Анализ проводился для каждого месяца рассматриваемого периода.

В ходе исследования были получены результаты, представленные ниже в табличном и графическом видах.

Всего было определено 10051 случаев нахождения высоты нулевой изотермы в слое от земли до 1000 м. В таблице 1 представлены данные по количеству случаев на разных высотах в течение года.

Из анализа данных таблицы 1 следует, что чаще всего высота нулевой изотермы находилась на высоте 100-200 м, несколько реже на высотах 200-500 м, меньше всего на высоте до 100 м. Нулевая изотерма в слое от земли до 1000 м, за исключением 1-2 случаев, не наблюдается в июле и в августе, исключая условия по возможному обледенению в эти месяцы.

В таблице 2 собраны данные по общему количеству случаев в каждом месяце и средней высоте нулевой изотермы.

Таблица 1 - Количество случаев с нулевой изотермой в каждом месяце исследуемого периода в заданном диапазоне высот

Высота, м Месяц	≤100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000
январь	66	193	133	108	91	71	53	63	56	49
февраль	48	157	130	85	65	72	65	38	38	39
март	86	331	277	247	189	149	129	105	101	87
апрель	80	222	168	179	190	178	162	176	177	156
май	12	32	42	52	56	67	77	66	98	92
июнь	0	0	0	3	5	3	3	6	15	13
июль	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
август	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
сентябрь	3	4	4	7	11	20	36	49	54	64
октябрь	67	142	110	143	171	163	181	167	172	181
ноябрь	83	215	169	155	181	147	156	163	131	127
декабрь	77	188	156	137	117	90	111	92	76	77

Из анализа данных таблицы 2 можно сделать вывод о том, что переход температуры через 0°C на высоте до 1000 м чаще отмечался в весенние месяцы (март и апрель) и в осенние (октябрь и ноябрь), немного реже в декабре. Это объясняет неустойчивую фазу осадков в переходные сезоны года и отражает синоптические условия с частой сменой воздушных масс. Средняя высота нулевой изотермы повышается от холодного полугодия к тёплому (от 403 м до 770 м), при этом СКО достаточно большие и превышают 50% от средних значений в холодное полугодие (рис.1).

Таблица 2 - Общее количество случаев высоты нулевой изотермы, средняя высота и СКО для каждого месяца исследуемого периода

Месяц	Всего	Средняя высота, м	СКО
январь	883	407	265
февраль	737	403	257
март	1701	416	252
апрель	1688	512	273

май	594	620	258
июнь	48	770	195
июль	2	-	
август	1	-	
сентябрь	252	747	198
октябрь	1497	557	269
ноябрь	1527	493	270
декабрь	1121	448	269

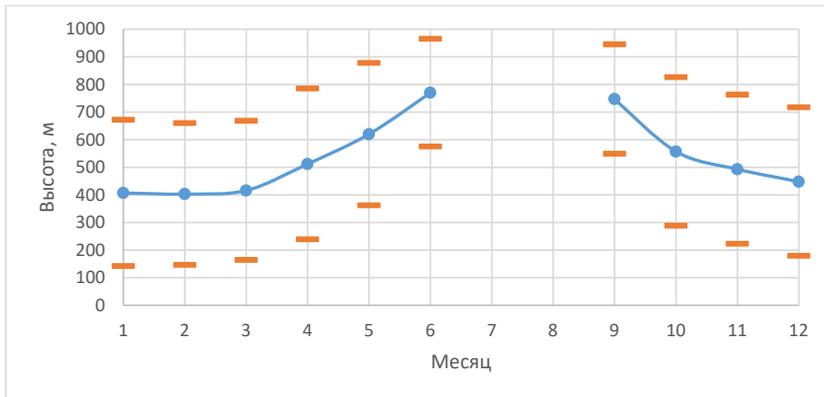


Рисунок 1- Годовой ход средней высоты и СКО нулевой изотермы

Расчетана повторяемость высоты нулевой изотермы в заданных условиях отбора, результаты представлены на рисунке 2.

Данные, представленные на рисунке 2 наглядно иллюстрируют выводы о наибольшей повторяемости случаев нулевой изотермы в слое от земли до 1000 м в переходные периоды года.

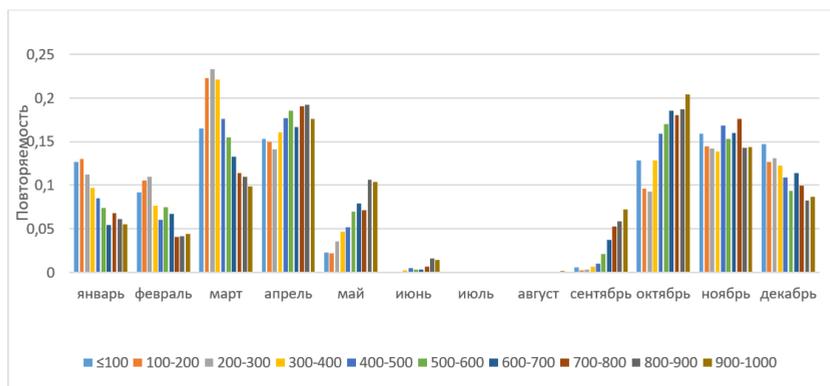


Рисунок 2 - Повторяемость высоты нулевой изотермы в каждом месяце в заданном диапазоне высот

Таким образом, в районе г.Санкт-Петербурга в течение всего года (за исключением июля и августа) имеются температурные условия для возникновения обледенения (при наличии облачности) в слое от земли до 1000 м. Средняя высота

нулевой изотермы в зимние месяцы составляет 400-500 м при СКО 250-270 м, плавный рост средней высоты наблюдается с апреля до июня. В начале осени средняя высота нулевой изотермы несколько выше, чем в конце весны и плавно понижается к декабрю.

Полученные в ходе работы выводы могут быть использованы в практической и научной работе по определению условий, благоприятных для образования гололёдно-изморозевых отложений на указанных высотах.

Список литературы

1. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь – Ленинград, Гидрометиздат, 1974.
2. ФАП-60 "Предоставление метеорологической информации для обеспечения полётов воздушных судов", Москва, 2014
3. Интенсивность гололёдообразования на высотных сооружениях // «Труды ГГО». – 1972, вып. 311, – С. 37-51.
4. Сайт результатов зондирования - <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Алексеева Е.Г.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
e.alekseeva-rshu@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена динамика изменения температуры воздуха на Европейской территории России. Проанализированы значительные волны тепла в зимний период и рассмотрено изменение этих процессов в период старого и изменяющегося климата.

Ключевые слова. Волны тепла, температура воздуха, экстремальность.

AIR TEMPERATURE CHANGES IN THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA

Alekseeva E.G.

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg e.a

Annotation. The dynamics of air temperature changes in the European territory of Russia is considered. Significant heat waves in winter are analyzed and the changes in these processes during the period of the old and changing climate are considered.

Keywords. Heat waves, air temperature, extremes.

Проблема глобальных и региональных изменений окружающей среды и климата становится в настоящее время как никогда актуальной в связи с усиливающимся влиянием антропогенных факторов, в частности, с продолжающимся ростом концентрации CO₂ и других парниковых газов в атмосфере. Отметим, что наиболее яркой особенностью изменения климата последних десятилетий является его глобальное потепление. По имеющимся оценкам средняя годовая глобальная температура приземного слоя воздуха за последние 100 лет увеличилась на $0,6 \pm 0,2$ C°. Анализ ее временных рядов позволил выявить неоднородный характер потепления: в период 1910-1946 гг. происходило потепление, в 1947-1975 гг. - слабое похолодание, начиная с 1976 г. отмечается фаза наиболее интенсивного потепления, которое продолжается и по настоящее время.

Однако следует отметить, что для окружающей среды и человека ситуации важнее не плавные изменения температуры на земле, а появление климатических и погодных контрастов на региональном уровне, что приводит к появлению экстремальных ситуаций-сильных морозов и засух, бурь, снегов, ливней и т.д. Именно этой проблеме посвящено данное исследование.

Для изучения волн тепла на территории России использовались данные о максимальной суточной температуре воздуха из архивов проекта European Climate Assessment & Datasetproject (ECA&D), представляющие собой данные наблюдений, полученные от национальных метеорологических служб. Все временные ряды данного архива проверены на однородность и репрезентативность.

Для работы использовались данные на 45 метеорологических станциях северо-западной, центральной частей Европейской территории, а также несколько станций на востоке Российской Федерации, расположение которых приводится на рисунке 1. В исследовании анализировались зимние потепления для холодного сезона с декабря по март за период наблюдений 1951-2018 гг.



Рисунок 1 – Расположение метеорологических станций, данные которых участвуют в исследовании

По данным о максимальной суточной температуре воздуха для каждого исследуемого месяца были рассчитаны ежедневные нормированные аномалии температуры для 45 метеорологических станций.

Нормировка на среднеквадратическое отклонение производилась для возможности сравнения полученных результатов на разных метеорологических станциях, расположенных в различных климатических зонах.

Значительным аномальным повышением приземной температуры воздуха считались периоды, когда минимум пять дней подряд ежедневная нормированная положительная аномалия максимальной температуры воздуха была выше 90-го перцентиля. И соответственно, для всего исследуемого периода для каждой станции рассчитана величина верхнего и нижнего 90-перцентиля.

В результате анализа получено, что в последнее тридцатилетие положительные аномалии стали наблюдаться намного чаще и распространяться на больших территориях (станциях). Отдельно стоит выделить периоды, когда в зимние месяцы аномалии распространялись на несколько месяцев: декабрь – январь: 2006/2007 г.; январь – март: 2002 г., 2014 г.; февраль – март: 1989 г., 1990 г., 1995 г., 2014 г., 2015 г., 2016 г.

Выявлено, что разброс величины максимальной аномалии на станциях для всего рассматриваемого периода в декабре от 1.4 до 2.7., в январе от 1.4 до 2.4., в феврале от 1.6 до 3.1., в марте от 1.6 до 4.0. В зимние месяцы максимальные значения аномалий достигали в феврале.

Проведенный анализ показал, что за весь исследуемый период с декабря по март 1951-2018 гг., станциями, на которых потепление наблюдалось суммарно самое продолжительное время, являются

Санкт-Петербург – 402 дня,

Каменная степь – 362 дня,

Фенино – 355 дней.

Станция, на которой наблюдалось самые непродолжительные потепления, суммарно 128 дней – Краснощелье.

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ЯКУТИИ

Винокурова Е.В., Жоховский А.Е.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
katekaulitz483@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются экстремально низкие значения температуры воздуха в Якутии и анализируется их связь с процессами в стратосфере.

Ключевые слова. Якутия, экстремальные холода, стратосферно-тропосферные взаимодействия, волновая активность.

ANALYSIS OF THE TEMPERATURE REGIME IN YAKUTIA

Vinokurova E.V., Zhokhovsky A.E.

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

Annotation. Extremely low air temperature values in Yakutia are considered and their relationship with processes in the stratosphere is analyzed.

Keywords. Yakutia, extreme cold, stratospheric-tropospheric interactions, wave activity.

В современном мире изменения климата приобрели характер глобального вызова, требующего глубокого комплексного изучения. Трансформации атмосферных процессов оказывают многоплановое воздействие на различные сферы человеческой деятельности: от здравоохранения до продовольственной безопасности, а также на состояние природных экосистем.

Особую научную ценность представляет изучение этих атмосферных феноменов для территории Республики Саха (Якутия) – региона с уникальными климатическими характеристиками и выраженной континентальностью. Экстремальные температурные режимы Якутии, её географическое положение и чувствительность к арктическим процессам делают этот регион идеальной природной лабораторией для исследования стратосферно-тропосферного взаимодействия. Полученные в ходе таких исследований данные не только позволят усовершенствовать региональные климатические модели, но и могут внести существенный вклад в понимание фундаментальных механизмов

глобальной атмосферной циркуляции. Это особенно актуально в условиях наблюдаемых климатических изменений, когда традиционные представления о динамике атмосферных процессов требуют существенного пересмотра и уточнения. Целью данной работы является определить влияние волновых процессов в стратосфере на экстремальные морозы Якутии.

Данные о температуре воздуха на 17 станциях Республики Саха (Якутия) получены из архива ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (Мировой Центр данных). Расположение станций показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Карта Республики Саха (Якутия) с расположением метеорологических станций, данные с которых использованы в исследовании

На рисунке 2 представлен годовой ход температуры воздуха на территории Саха (Якутии).

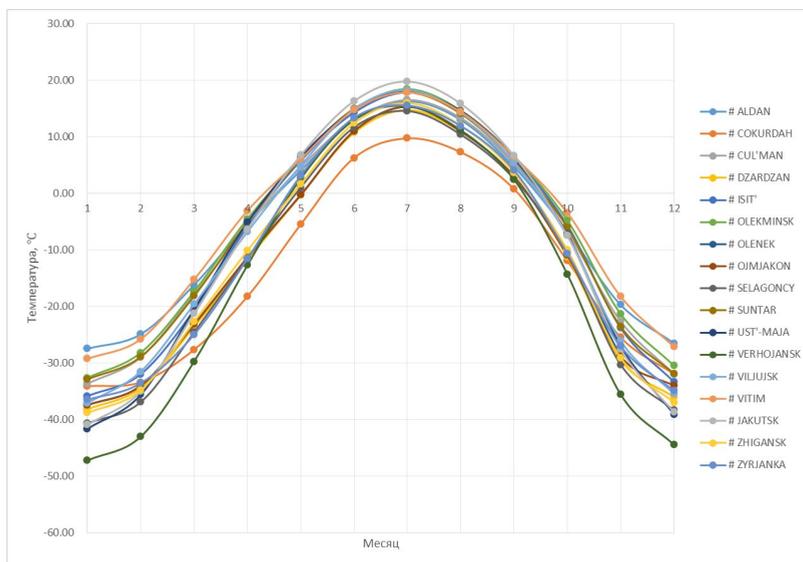


Рисунок 2 – Среднемесячные значения температуры воздуха

Выявлены экстремумы для зимнего периода с декабря по февраль: экстремально низкая температура воздуха наблюдалась в Верхоянске (- 47.2 °С), обусловлено это тем, что Верхоянск находится в глубокой долине и подвержен влиянию Азиатского антициклона, который приносит холодный и сухой воздух. Самыми теплыми пунктами являются Витим (- 29.2 °С) и Алдан (-27.4 °С). Самое холодное лето наблюдается в на станции Чокурдах (9.8 °С) – это один из самых северных населенных пунктов из рассматриваемых.

Проведён анализ средних значений температуры воздуха за период исследования и составлена карта распределения температуры, по которой можно выделить «холодные» и «теплые» территории региона (рисунок 3).

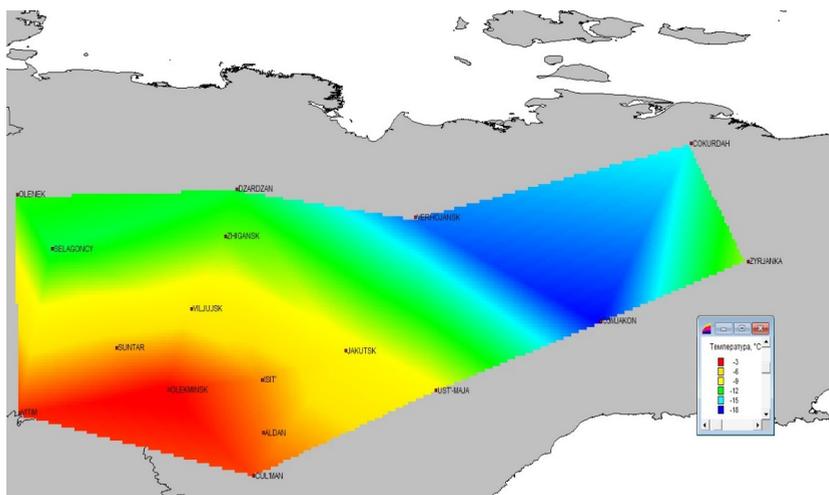


Рисунок 3 – Пространственное распределение температуры воздуха

Анализ пространственного распределения температуры воздуха позволяет выделить три станции, на которых наблюдается самые низкие значения температуры воздуха – Верхоянск, Оймякон и Чокурдах – и три станции – Витим, Олёкминск и Чульман – с самыми высокими значениями температуры воздуха. В дальнейшем исследовании рассматривались метеорологические условия на этих станциях и в Якутске.

Проанализированы экстремальные значения температуры воздуха для каждой станции отдельно за два периода: 1964 по 1993 (старый климат) и 1994 по 2023 (современный климат). Экстремальными считались значения температуры, ниже 10-процентиля. Рассматривались периоды устойчивых морозов, то есть периоды продолжительностью от пяти дней и более, в которые температура воздуха была экстремально низкой.

Проведённый анализ показал, что температура воздуха повысилась, например, для Якутска на 3.3°С, что подтверждает региональное потепление климата Якутии.

Параллельно с анализом приземной температуры проводилось исследование стратосферных условий в соответствующие периоды, с акцентом на такие ключевые явления, как внезапные стратосферные потепления, ослабление и смещение полярного вихря, а также изменения в характере стратосферной волновой активности. Выделенные экстремальные продолжительные морозы по каждой станции были сравнены с теми датами, когда наблюдались сильная волновая активность (волновые числа 1 и 2) и

внезапные стратосферные потепления. Пример информации о процессах в стратосфере представлен на рисунке 4.

Совместный анализ случаев значительных морозов и процессов в стратосфере позволяет сделать вывод, что в даты, когда наблюдались продолжительные низкие значения температуры в рассматриваемых пунктах, было усиление волновой активности, а также внезапные стратосферные потепления.

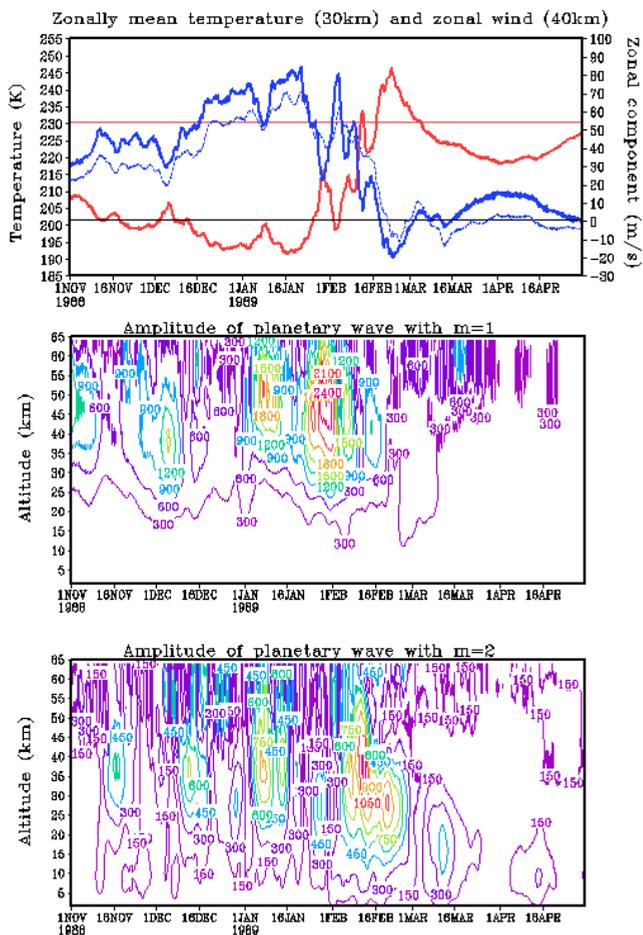


Рисунок 4 – Распределение среднезональной температуры на высоте 30 км, зональный ветер на высоте 40 км, амплитуда планетарной волны с волновым числом 1, амплитуда планетарной волны с волновым числом 2 (зима 1988-1999)

При этом наиболее выраженное влияние стратосферных процессов наблюдалось в середине зимы.

Для более полного понимания механизмов этого влияния специально изучались также периоды, когда значительные похолодания происходили без видимых стратосферных предпосылок. Такой сравнительный подход позволил не только подтвердить существенную роль стратосферы в формировании экстремальных погодных

условий Якутии, но и оценить относительный вклад стратосферных и тропосферных процессов в температурные аномалии региона. Полученные результаты имеют важное значение для совершенствования методов долгосрочного прогнозирования погоды в условиях быстро меняющегося арктического климата.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АР-ИНДЕКСА ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ

Дробжева Я.В., Федотов Т.М.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
ydrobzheva@mail.com, dedalenicarus@gmail.com

Аннотация. В статье представлены результаты оценки эффективности прогноза Ар-индекса геомагнитной активности для низкого и высокого уровней солнечной активности на основе методики прогноза ГОСТ 25645.102—83.

Ключевые слова. Ар-индекс геомагнитной активности, прогноз, солнечная активность.

STATISTICAL ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF PREDICTING THE AP-INDEX OF GEOMAGNETIC ACTIVITY

Drobzheva Ya.V., Fedotov.T.M.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Annotation. The article presents the results of assessing the effectiveness of the Ap-index forecast of geomagnetic activity for low and high levels of solar activity based on the GOST 25645.102-83 forecast methodology.

Keywords. Ap-index of geomagnetic activity, forecast, solar activity.

Актуальность оценки эффективности прогнозирования Ар-индекса геомагнитной активности обусловлена тем, что геомагнитная активность играет большую роль в космической погоде, заметно влияет на многие сферы человеческой деятельности. Геомагнитные бури, обычно сопровождающиеся ионосферными бурями, влияют на работу спутниковых систем связи, точность навигационного оборудования, энергетические сети и авиацию. Эффективное прогнозирование Ар-индекса геомагнитной активности позволяет заранее узнавать о геомагнитных бурях для предотвращения возможных негативных последствий.

Прогнозирование индекса геомагнитной активности осуществлялось на основе Методики расчёта индексов солнечной и геомагнитной активности для определения плотности по ГОСТ 25645.120—85 [1]. Согласно данной методике прогноз Ар – индекса, который является среднесуточным показателем геомагнитной активности, выраженным в линейной шкале, осуществляется путём прогнозирования индекса Кр (глобальный показатель, отражающий степень возмущения магнитного поля Земли за трехчасовой период) и переводом этого индекса в индекс Ар. Прогнозирование Кр-индекса основано на статистическом анализе фактических данных с учётом уровня солнечной активности (низкий, средний и высокий). Используемая методика расчёта индексов геомагнитной активности была создана на основе систематических наблюдений, проводившихся в период с 1973 по 1984 год. Индексы моделируются как гауссовы случайные процессы с корреляционной функцией, включающей циклическую составляющую (промежуток в 27 суток, соответствующий периоду вращения Солнца вокруг своей оси на широтах около 30°, что соответствует наиболее интенсивной области солнечной активности) и

экспоненциальную составляющую, которая учитывает затухание корреляции со временем.

Для расчёта прогностических значений Кр-индекса геомагнитной активности используются фактические значения этого показателя, полученные в период, предшествующий прогностическому интервалу.

Прогнозирование начинается с момента последних доступных измерений индексов. Длительность прогностического интервала d в сутках рассчитывается по формуле

$$d = D - D_n \quad (1)$$

где D — дата, на которую прогнозируется индекс; D_n — дата, в которую известно последнее измеренное значение индекса Кр.

Значения прогностического интервала d лежит в пределах от 1 до 90 суток. Даты учитываются как количество суток от фиксированной начальной точки.

Для исследования был сформирован архива фактических значений индекса геомагнитной активности A_p и индекса солнечной активности F10.7 (использовались данные Мирового Центра Данных по Солнечно-Земной Физике [2]).

В качестве года с низкой солнечной активностью был выбран 2019 год, так как каждый день в течение года значения индекса F10.7 были менее 100, а в качестве года с высокой солнечной активностью – 1958 год, в течение которого значения индекса F10.7 превышали 200.

Прогнозирование A_p -индекса геомагнитной активности и оценка эффективности прогноза

Сначала на основе периодов в 10 и 30 дней, предшествующих дню прогнозирования, рассчитывалось прогностическое значение Кр-индекса, а затем его значение переводилось в A_p - индекс.

На рисунках 1 и 2 представлен годовой ход фактического и прогностического значений A_p -индекса на основе 10 и 30 дней, соответственно, для 2019 года -года низкой солнечной активности.

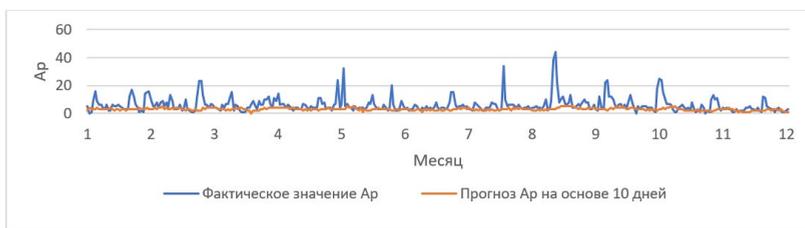


Рисунок 1 – Годовой ход фактического и прогностического (10 дней) A_p -индекса для года низкого уровня солнечной активности

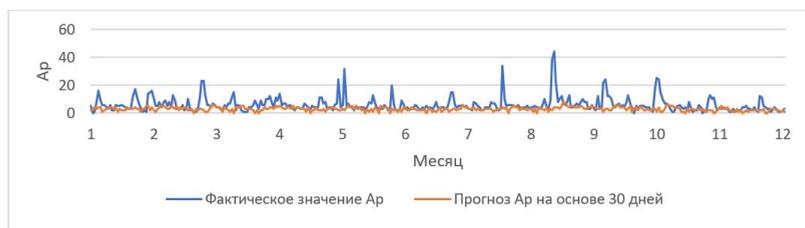


Рисунок 2 – Годовой ход фактического и прогностического (30 дней) значений A_p -индекса для года низкого уровня солнечной активности

Из рисунков видно, что пики фактического Ар-индекса практически не предсказываются верно — прогностическая линия остаётся стабильной и не реагирует на экстремумы.

Аналогичные расчеты были проведены для 1958г – года высокой солнечной активности и построены годовые изменения фактического и прогностического значений Ар-индекса (рисунки 3, 4).

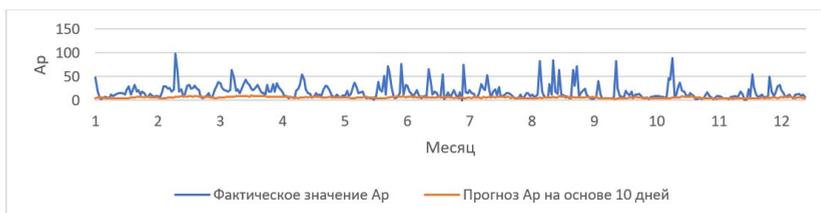


Рисунок 3 – Годовой ход фактического и прогностического (10 дней) Ар-индекса для года высокого уровня солнечной активности

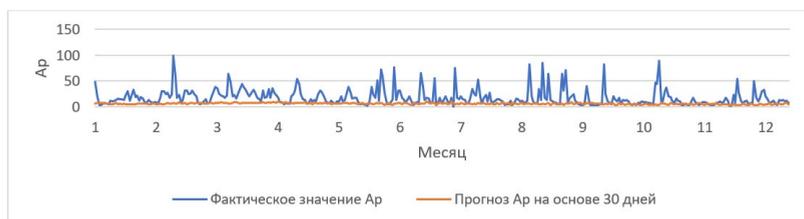


Рисунок 4 – Годовой ход фактического и прогностического (30 дней) Ар-индекса для года высокого уровня солнечной активности

Видно, что вид кривой прогностических значений Ар-индексов имеет значительно более сглаженный вид по сравнению с кривой фактических значений.

Статистические характеристики 10-дневного и 30-дневного прогнозов для годов высокой и низкой солнечной активности представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Статистические характеристики 10-дневного и 30-дневного прогнозов для годов высокой и низкой солнечной активности

Статистическая характеристика	10-дневный прогноз		30-дневный прогноз	
	Высокая солнечная активность	Низкая солнечная активность	Высокая солнечная активность	Низкая солнечная активность
Средняя абсолютная ошибка	12,25	3,56	12,36	3,74
Относительная ошибка	53,84	50,40	54,82	55,65
Среднеквадратическое отклонение	388,47	39,13	391,72	41,05
Корень из среднеквадратического отклонения	19,71	6,26	19,79	6,41
Коэффициент корреляции Пирсона	0,13	0,06	0,08	0,00
Коэффициент детерминации	-0,53	-0,34	-0,54	-0,40

Анализ статистических характеристик показал, что при высокой солнечной активности средняя абсолютная ошибка составляет 12,25 для 10-дневного прогноза и 12,36 для 30-дневного. Однако в условиях низкой солнечной активности точность возрастает: средняя абсолютная ошибка снижается до 3,56 (10-дневный прогноз) и 3,74 (30-дневный прогноз), что говорит о более высокой точности прогнозирования при низкой солнечной активности.

Анализ эффективности прогнозирования Ар-индекса для различных сезонов не выявил каких-либо существенных закономерностей.

Список литературы

1. ГОСТ 25645.102—83. Государственный стандарт союза ССР. Атмосфера Земли верхняя. Методика расчёта характеристик вариаций плотности (утв. и введён в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 8 сентября 1983 г. № 4156).
2. Мировой Центр Данных по Солнечно-Земной Физике [Электронный ресурс]. - <http://www.wdcb.ru/stp/index.ru.html>

ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВИАЦИОННЫХ ЛАБОРАТОРИЙ

Булгакова В.В.

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации
имени Главного маршала авиации А.А. Новикова, Санкт-Петербург
bu_veron@mail.ru

Аннотация. В работе рассматриваются подходы к исследованию атмосферных явлений с помощью сбора данных самолета-лабораторий. Представлено описание методов мониторинга и анализа атмосферных процессов, а также характеристики подстилающей поверхности, которые могут быть получены с помощью данной системы. Рассмотрена бортовая система сбора данных, разработанная для нового поколения самолета-лаборатории Як-42Д «Росгидромет».

Ключевые слова. Атмосферные условия, анализ данных, самолет-лаборатория.

STUDY OF ATMOSPHERIC PHENOMENA USING AVIATION LABORATORIES

Bulgakova V.V.

St. Petersburg State University of Civil Aviation
named after Air Chief Marshal A.A. Novikova, St. Petersburg

Annotation. The paper examines approaches to atmospheric phenomena research using data collection from laboratory aircraft. It describes methods for monitoring and analyzing atmospheric processes, as well as characteristics of the underlying surface that can be obtained using this system. It examines the onboard data collection system developed for the new generation of the Yak-42D laboratory aircraft.

Key words. Atmospheric conditions, data analysis, laboratory aircraft.

Одной из ключевых составляющих современных исследований в области метеорологии являются авиационные лаборатории – специализированные воздушные суда оборудованы современными измерительными и аналитическими системами, которые позволяют проводить научные эксперименты и собирать данные о различных атмосферных явлениях [1]. Самолеты-лаборатории играют важную роль в мониторинге состояния атмосферы, обеспечивая возможность получения данных на различных высотах и в различных климатических условиях. Они используются для изучения таких

процессов, как образование облаков, динамика ветров, распространение загрязняющих веществ и взаимодействие атмосферы с подстилающей поверхностью.

Авиационные лаборатории позволяют проводить полевые исследования, которые являются незаменимыми для проверки теоретических моделей и гипотез. С их помощью ученые могут получать высокоточные данные о температуре, влажности, давлении и других параметрах атмосферы, что способствует более глубокому пониманию климатических изменений и их последствий. Цель работы заключается в исследовании современных подходов к мониторингу атмосферных явлений с использованием авиационных лабораторий.

Первым специально спроектированным и построенным для исследования атмосферы самолетом в СССР является модель АН-2 для зондирования атмосферы. Его основным преимуществом являлось наличие кабины наблюдателя у основания вертикального оперения. В результате испытаний было установлено, что базовый вариант силовой установки не обеспечивает самолету-лаборатории требуемую высотность. В дальнейшем было принято решение о доработке первого ряда машин, путем установки двигателя с турбокомпрессором ТК-19, что позволило увеличить мощность устройств [2].

В послевоенное время на базе самолета ЛИ-2 была создана метео-лаборатория, на борту была размещена специальная аппаратура, организованы рабочие места аэрологам. Данная метео-лаборатория позволяла проводить исследования атмосферы облаков в широком диапазоне высот, с использованием контактных и дистанционных методов измерений, определять характеристики опасных для полетов зон в атмосфере при грозовой деятельности, фиксировать закономерности распространения радиоволн различных метеоусловий, осуществлять контроль за работой других летательных аппаратов, проводить мониторинг окружающей среды для определения зон загрязнения. Одним из первых в лабораторию был переоборудован самолет с бортовым номером Л4890, в дальнейшем подобным образом были переоборудованы самолеты с бортовыми номерами Л54909, Л83962 и Л84713 [2].

В целом модификации метео-лабораторий объединялись группу переоборудованных самолетов, предназначенных для выполнения исследовательских работ, но каждый из переоборудованных самолетов в силу специфических задач не был похож на другой. В состав комплекса аппаратуры ИЛ-14 входило следующее оборудование: радиолокатор Гроза-40, ИК радиометр ИТ-3, измерители электрических свойств облаков, ЛИДАР измерения оптических и микро физических характеристик облаков [3].

В настоящее время среди множества уникальных образцов авиационной техники, предназначенной для исследования атмосферных явлений был создан многофункциональный самолет-лаборатория Як-42Д «Росгидромет». Самолет-лаборатория был разработан Экспериментальным машиностроительным заводом имени В.М. Мясищева по заказу и с участием организаций Росгидромета. С начала мая 2014 года этот самолет начал использоваться для регулярного мониторинга атмосферы и подстилающей поверхности. В ходе его эксплуатации были проведены исследования атмосферных условий в Московском регионе, а также осуществлен цикл измерений в Арктической зоне, включая валидацию сети наземных доплеровских радиолокаторов [4]. Самолет-лаборатория активно участвовал в научно-производственных проектах, связанных с активными воздействиями. К июлю 2018 года было выполнено более 110 исследовательских полетов, суммарная продолжительность которых составила свыше 360 летных часов. В результате накоплены данные наблюдений и создан архив, который стал основой для ряда научных исследований. На рисунке 1 представлена схема измерительно-вычислительного комплекса данного самолета-лаборатории [4].

Как видно из рис. 1, с помощью вышеуказанной модели самолета можно решить ряд задач, включая измерение термодинамических параметров атмосферы и навигационных характеристик полета самолета-лаборатории (АПК1), а также анализ газового состава атмосферы (АПК2). Кроме того, возможно проведение измерений радиационных процессов в атмосфере (АПК3) и оценка радиоактивных загрязнений как в атмосфере, так и на подстилающей поверхности (АПК4). Также модель позволяет исследовать микрофизическую структуру облаков и аэрозольный состав атмосферы (АПК5), а также проводить измерения радиолокационной отражаемости облаков (АПК6) и электрических параметров атмосферы [4].



Рисунок 1 – Принципиальная схема измерительно-вычислительного комплекса самолета-лаборатории Як-42Д «Росгидромет» [4]

В трудах исследователей [4, 5] подчеркивается, что расчет скорости и направления ветра является наиболее критичным с точки зрения точности. Возможные ошибки, возникающие из-за несинхронной регистрации данных, особенно заметны при вычислении горизонтальной компоненты скорости ветра. Если разница во времени внутренних часов двух компьютеров превышает 10 мс, это может привести к дополнительной систематической погрешности в расчете компоненты скорости ветра, что связано со смещением по фазе между компонентой воздушной скорости самолета и его путевой скоростью.

Авиационные лаборатории представляют собой важный инструмент для современных метеорологических исследований, позволяя получать высококачественные данные о состоянии атмосферы и различных атмосферных явлениях. Использование специализированных самолетов, таких как Як-42Д «Росгидромет», значительно расширяет возможности мониторинга и анализа климатических изменений, а также способствует более глубокому пониманию процессов, происходящих в атмосфере. Модификации и усовершенствования авиационных лабораторий, начиная с первых моделей, таких как АН-2 и ЛИ-2, и заканчивая современными образцами, демонстрируют прогресс в области метеорологических исследований и важность полевых экспериментов для проверки теоретических моделей. Накопленные данные и результаты исследований, проведенных с помощью этих самолетов, служат основой для дальнейших научных изысканий и разработки эффективных методов мониторинга окружающей среды.

Список литературы

1. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – С. 568.
2. Азаров А.С., Борисов Ю.А., Вакуловский С.М., Дanelян Б.Г., Петров В.В., Синькевич А.А., Струнин М.А., Фолмин Б.А., Хаттатов В.У. // Сб. научных трудов Международной научной конференции с элементами научной школы «Инновационные методы и средства исследований в области физики атмосферы, гидрометеорологии, экологии и изменения климата». Ставрополь: СКФУ–ВГИ–РГГМУ, 2013. – С. 102.
3. Самолеты для исследования атмосферы, природных ресурсов и метеозащиты [Электронный ресурс] – URL: <https://razgonoblavkov.ru/2017-04-06-16-38-52.html>. Дата обращения: 14.02.2025.
4. Волков В.В., Колокутин Г.Э., Струнин М.А., Базанин Н.В. Бортовая система сбора данных самолета-лаборатории для исследования атмосферных процессов // Приборы и техника эксперимента, 2019. – № 3. – С. 104-110.
5. Волков В.В., Киринов Д.В., Петров В.В., Струнин А.М. Исследование микрофизических характеристик зимних облаков теплого фронта с борта самолета-лаборатории ЯК-42Д «Росгидромет» // Доклады Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, 2021. – С. 68-73.

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ТУМАНОВ В РОССИЙСКОМ СЕКТОРЕ АРКТИКИ ПО ДАННЫМ БЕРЕГОВЫХ СТАНЦИЙ

Малькова Е. В.¹, Лаврова И.В.^{1,2}

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

² Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт, Санкт-Петербург
malkovaek@yandex.ru

Аннотация. В работе проанализированы гидрометеорологические условия формирования туманов над акваторией Российской Арктики в теплый период.

Ключевые слова. Туманы, Арктический регион, опасные явления погоды.

FOG FORMATION CONDITIONS IN THE RUSSIAN ARCTIC BASED ON COASTAL STATIONS

Malkova E. V.¹, Lavrova I.V.^{1,2}

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

² State Research Navigational and Hydrographic Institute

Annotation. The paper analyzes the hydrometeorological conditions for the formation of fogs over the waters of the Russian Arctic during the warm period.

Keywords. Fogs, Arctic region, dangerous weather phenomena.

В последние годы площадь ледяных полей в окраинных морях Арктики значительно сократилась, что дает возможность активно развивать перевозки по северному морскому пути (СМП). Ежегодные объемы перевозок по СМП в 2024г. по сравнению с 2020г. выросли почти в два раза. В условия быстроменяющегося климата отступление морского льда в Арктике увеличивает доступность для судоходства Северного Ледовитого океана. Однако при планировании развития трансарктических маршрутов необходимо учитывать, что по мере таяния льда могут учащаться опасные

явления погоды, в том числе туманы, что, безусловно, скажется на перспективах судоходства. Ухудшение видимости при туманах создают риски для навигации, затрудняет прокладку безопасного маршрута [1].

Для анализа условий образования туманов использованы данные наблюдений береговых станций Российской Арктики с сайта ВНИИГИ-МЦД [2]. Всего 29 станций с периодом наблюдений с 1965 по 2022 гг. Эти станции осуществляют регулярные метеорологические наблюдения в стандартные синоптические сроки и характеризуют условия образования туманов только в районе станции, поскольку явление носит местный локальный характер.

Распределение повторяемости туманов имеет хорошо выраженный годовой ход, который отличается в зависимости от района. Так, для большинства станций максимум повторяемости приходится на июль со значениями от 1,6 до 15,4%, а минимум от 0 до 2% на январь. Для станций Юбилейная, Чокурдах, Мурманск, Гридино, Кемь-Порт, Архангельск и Онега характерен ход распределения повторяемости туманов с максимумом повторяемости весной (в мае) и осенью (в сентябре) до 5,2%, при этом минимум приходит на февраль и июнь-июль.

Суточный ход туманов хорошо прослеживается только в летний период. По полученным данным максимум случаев с туманами приходится на ночные часы и раннее утро, а минимум на середину дня. Данный ход характерен для всех станций. В зимние месяцы случаи с туманами равномерно распределены в течение суток.

При анализе интенсивности туманов с помощью рассчитанной повторяемости по градациям видимости можно сделать вывод о том, что наиболее интенсивные туманы наблюдаются в период летних месяцев. На станциях Восточно-Сибирского моря повторяемость туманов с видимостью менее 200 м составляет меньше 1%, с видимостью 200-500 м составляет 15%, с видимостью 500-1000 м составляет 84%. Для моря Лаптевых повторяемость туманов с видимостью 0-200 м - не более 3%, с видимостью 200-500 м - 24%, с видимостью 500-1000 м - 73%. Для Карского моря повторяемость туманов с видимостью 0-50 метров составляет меньше 1%, с видимостью 50-100 м - 1,9%, с видимостью 100-200 м - 1,5%, с видимостью 200-500 м - 31% и с видимостью 500-1000 м наблюдается 65% туманов. В Баренцевом море повторяемость туманов с видимостью 0-50 м составляет меньше 1%, с видимостью 50-100 м - 2,4%, с видимостью 100-200 м - 4,9%, с видимостью 200-500 м - 44%, и 500-1000 м - 47% случаев.

Чаще всего туманы образуются при скорости ветра 3-4м/с и 5-6м/с с повторяемостью 30-37% и 21-28% соответственно. Такая закономерность прослеживается на всех береговых станциях российского арктического побережья. При штиле образовывается 6,2% туманов от общего количества.

Направление ветра, при которых туманы наблюдались, во многом зависит от месяца и района формирования. В теплый период года в Восточно-Сибирском море туманы чаще образуются при ветрах северного (17%), северо-восточного (25%) и восточного (31%) направления. В море Лаптевых преобладающими направлениями ветра при тумане для станции им. Е. К. Федорова западное (23%) и восточное (40%), для станции Котельный - западное (22%) и северное (25%), для станции Тикси - северное (39%) и северо-восточное (36%), для станции Юбилейная - северное (28%) и восточное (19%). Для станций в Карском море розы ветров при туманах сильно расходятся для каждой станции. Преобладающие направления ветра при тумане: на станции остров Русский – западное (26%), на станции Стерлегова – северное (26%) и северо-восточное (22%), на станции им. М. В. Попова – южное (14%), юго-западное (19%), западное (13%) и северное (15%), на станции им. Е. К. Федорова – восточное (22%), северо-восточное (16%), северное (18%) и западное (19%), на станции Амдерма

– восточное (21%), северо-восточное (18%), северное (23%), на станции Марресаля – западное (24%), северо-западное (23%) и северное (21%), на станции Новый Порт – северное (28%) и южное (19%). Для Баренцева моря при анализе направлений ветра отмечено, что в холодный период благоприятными условиями при тумане становятся ветры, дующие с материк, а в теплый период, наоборот, благоприятными условиями при тумане становятся ветры, дующие с материка на море [3].

Отмечено также, что чаще всего туманы наблюдаются при высокой относительной влажности от 95% и выше, при температурах воздуха от 0 до +3 °С. На эти условия приходится 92% случаев.

Исследования гидрометеорологических условий образований туманов в арктических морях осложняется редкой сетью наблюдений. Из-за отсутствия данных зондирования над открытой водой нет возможности оценить вертикальную мощность туманов, а из-за нерегулярности наблюдений их продолжительность. Поэтому для получения более подробной информации необходимо расширять сеть наблюдений [4,5].

Список литературы

1. Воробьев В.И. Основные понятия синоптической метеорологии. Учебное пособие. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2003 – 48 с.
2. *ВНИИГИ-МЦД* [Электронный ресурс]/ URL: <http://meteo.ru/data-access/>
3. Комплексный гидрометеорологический справочник Баренцева и Белого морей/ Глав. упр. Гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Науч.-исслед. ин-т аэроклиматологии; Под ред. А. И. Сачковой. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. — 251 с.
4. Руководство по Глобальной системе наблюдений. – Женева.: Изд. ВМО-№ 488, 2010 – 268 с.
5. Система гидрометеорологического обеспечения в условиях изменения климата в Арктике: причины изменений. Мастрюков С.И., Лаврова И.В. Навигация и гидрография. 2018. № 54. С. 83-92.

СЕКЦИЯ 3

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ И СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АМРК “МЕТЕОР- МЕТЕОЯЧЕЙКА”

Шейнов Р.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург;
ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» Северо-Западный филиал, АМЦ “Пулково”
sheynov.07@mail.ru

Аннотация. Предоставляется пример технического обслуживания АМРК “МЕТЕОР-МЕТЕОЯЧЕЙКА”, основанный на реальном опыте эксплуатации в рамках рабочего процесса.
Ключевые слова. Локатор, зондирование атмосферы, обслуживание, коммуникация.

MAINTENANCE CONCERNS OF THE AMRK “METEOR-METEOCELL”

Sheynov R.A.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St. Petersburg; FSBE
“Aviamettelecom of Roshydromet” Northern-West Branch, AMC “Pulkovo”

Annotation. An example of maintenance of the AMRK “METEOR-METEOCELL” is provided and based on the real operational experience as part of the workflow.
Keywords. Locator, atmospheric sensing, maintenance, communication.

Принцип работы автоматического метеорологического радиолокационного комплекса (далее АМРК) “МЕТЕОР-МЕТЕОЯЧЕЙКА” основан на испускании микроволнового импульса через антенный аппарат и приеме его отраженного сигнала, вызванного различными метеорологическими объектами, на особо чувствительном приемном устройстве.

АМРК “МЕТЕОР-МЕТЕОЯЧЕЙКА” предназначен для:

- Обнаружения различных видов облачностей, включая явления, которые могут от них исходить, а в доплеровском формате и их радиальные скорости;
- Передачи информации о опасных явлениях в различные подразделения Росгидромета и потребителям (в случае аэропорта в АС УВД) [1].

Поддержка работоспособности системы АМРК позволяет упростить работу метеорологического органа и расширить спектр информации, предоставляемой потребителям и заказчикам. Так как “МЕТЕОР-МЕТЕОЯЧЕЙКА” работает круглосуточно, то нагрузка на узловые части увеличена и вероятность возникновения ошибки повышается. Во избежание проблем и поломок необходимо проводить профилактические меры.

Частые технические манипуляции с локатором связаны с поддержанием его работоспособности и получением репрезентативных данных, например:

- Восстановление работоспособности вентиляторов;
- Контроль уровня масла;
- Состояние токосъемника;
- Равномерное распределение нагрузки на сервоприводы.

Восстановление правильной работы вентиляторов (рисунок 1) необходимо для поддержания правильного влажностнотемпературного режима внутри блоков управления. Частыми манипуляциями в таком случае будут являться обновления состояния контактных элементов или проверка работоспособности самого элемента путем его замены на исправный. В некоторых случаях при старте движения появляется характерный металлический скрежет, соответственно требуется выправление лопастей.



Рисунок 1 – Пример вентилятора в стойке управления

Контроль уровня масла (рисунок 2) посредством снятия 6 болтов и отодвигания крышки позволяет нам определить, сколько требуется добавить, в некоторых случаях может даже и убавить, масла. [2] По очевидным причинам уровень масла влияет на систему различно при двух диаметрально противоположных ситуациях:

- При нехватке масла механические элементы (шестерни, гайки и т.д.) будут испытывать излишнее воздействие друг на друга, в некоторых случаях доводя до легкой металлической стружки;
- При обилии масла, возможно, его выплескивание через уплотнительное кольцо на внешнюю часть антенного аппарата, а в ряде случаев и на внутренние составляющие.



*Рисунок 2 – Верхняя часть антенного аппарата
(красным кругом обозначено место для добавления масла)*

Состояние токосъемника (рисунок 3) влияет на правильное позиционирование локатора в пространстве, при грязных ламелях адекватная репрезентативность невозможна, соответственно требуется очистка спиртом.

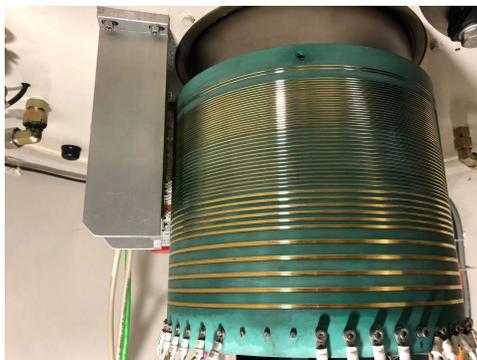


Рисунок 3 – Токосъемник

В случае отсутствия резервных комплектующих (дополнительных сервоприводов) у локатора можно использовать небольшую хитрость по замене азимутального сервопривода на горизонтальный и наоборот (рисунок 4). Их нагрузка различна, но свойства идентичны, что позволяет увеличить срок работы локатора без серьезного ремонта.

Вышеперечисленные профилактические технические работы могут казаться незначительными, но позволяют поддерживать локатор в рабочем состоянии.



Рисунок 4 – Слева сервопривод и справа паз, куда вставляется сервопривод (планетарный редуктор)

Список литературы

1. Автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс “Метеор-Метеоячейка”. Руководство по эксплуатации 73-1887РЭ. – Selex SistemiIntegrati, GmbH, 2006.
2. Автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс “Метеор-Метеоячейка”. Инструкция по монтажу, настройке, регулированию и прогону 73-1887ИМ. – SelexSistemiIntegrati, GmbH, 2006.

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛУАВТОНОМНЫХ СУДОВ С ВНЕШНИМ ЭКИПАЖЕМ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Простакевич К.С.¹, Абрамова А.Л.¹, Голенев А.А.¹, Сикарев И.А.¹, Юрин И.В.¹,
Богданова П.В.², Абрамов В.М.²

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

² Государственный университет морского и речного флота
имени адмирала С.О. Макарова, Санкт-Петербург
val.abramov@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются вопросы геоинформационного обеспечения безопасного применения полуавтономных судов с внешним экипажем в условиях изменения климата. Для инфокоммуникации задействован онлайн инструмент https://www.researchgate.net/profile/Valery_Abramov2/. Проектом FSZU-2023-0002 (РГГМУ) предоставлены средства для проведения исследований.
Ключевые слова. Изменение климата, геоинформационное обеспечение, полуавтономные суда, информационная безопасность.

GEOINFORMATION SUPPORT TO SECURITY FOR USAGE OF SEMI- AUTONOMOUS VESSELS WITH AN EXTERNAL CREW UNDER CLIMATE CHANGE

Abramova A.L.¹, Prostakevich K.S.¹, Golenev A.A.¹, Bogdanova P.V.², Abramov V.M.²

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

² Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping (SUMIS), Saint
Petersburg

Annotation. Considered geoinformation support for safe use of semi-autonomous ships with an external crew under climate change. Online tool https://www.researchgate.net/profile/Valery_Abramov2/ was used for infocommunication. Project FSZU-2023-0002 (RSHU) provided funds for research.
Keywords. Climate change, geoinformation support, semi-autonomous ships, information security.

В современных условиях изменения климата [1-5] важным направлением развития глобальной экономики является безопасное применение полуавтономных судов с внешним экипажем (ПАСВЭ) [6-9] при условии управления сопутствующими информационными рисками для адекватного противодействия потенциальным кибератакам.

Целью исследований является определение основных уязвимостей информационных систем (ИС) ПАСВЭ, а также развитие методов обеспечения их информационной безопасности (ИБ).

В результате выполненных исследований установлено, что наиболее уязвимыми являются навигационные системы с удаленными центрами управления и береговыми офисами управления. В подсистемах ПАСВЭ уязвимыми являются глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), устройства связи и коммуникации (УСЛ), а также автоматическая идентификационная система (АИС).

Следует указать на следующие виды потенциальных уязвимостей ПАСВЭ:

- уязвимости в сетевых протоколах (УСП);
- уязвимости в интегрированных системах ходового мостика (УИСХМ);
- уязвимости в системах навигации и позиционирования (УСНиП);
- уязвимости в системах связи (УСС).

Примером УСП может служить случай 2017 года, когда произошло массовое распространение модифицирующей программы “Petya”, зашифровывающей информацию, находящейся на жестком диске, без возможности восстановления данных. Было заражено 17 из 76 грузовых терминалов компании Maersk, которая понесла значительный экономический ущерб в результате данной атаки

Особую опасность несут УИСХМ. Они обусловлены уязвимостями различных подсистем, на которые может быть направлена атака. Подобные уязвимости могут возникать как при конфигурации, а также при слабой аутентификации и авторизации. Заметим, что УИСХМ могут привести к серьезным коммерческим потерям, а также катастрофическим последствиям,

Важную роль в обеспечении безопасного применения ПАСВЭ играют УСНиП и УСС, которые обуславливают кибератаки за счет подделки (spoofing) и глушение (jamming) геоинформационных сигналов.

Отметим, что обеспечение ИБ ПАСВЭ должно быть комплексным и включать в себя не только техническую, но также организационную и физическую защиты. (рисунок 1).



Рисунок 1 - Состав элементов ИБ для ПАСВЭ

Отметим, что значительную роль для обеспечения ИБ является применение шифрования. Для ПАСВЭ оптимальным решением является применение асимметричного шифрования с использованием алгоритма RSA, названного по начальным буквам фамилий трех его изобретателей. Принцип действия данного алгоритма приведен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Принцип действия алгоритма RSA

Также можно применить смешанный алгоритм шифрования. В данном случае сначала шифруется сеансовый ключ, а на его основе участники шифруют сообщение симметричными системами (рисунок 3).



Рисунок 3 - Алгоритм шифрования сеансового ключа

В заключение отметим значительную новизну результатов исследований, которые могут быть задействованы в цифровых образовательных технологиях [10].

Финансовая поддержка предоставлена в рамках проекта FSZU-2023-0002 (РГМУ). Онлайн инструмент https://www.researchgate.net/profile/Valery_Abramov2/ задействован для инфокоммуникации.

Список литературы

1. Digital transformation of risk management for natural-industrial systems while climate change / A. G. Sokolov, V. M. Abramov, [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, St. Petersburg, 21–22 ноября 2019 года. – St. Petersburg, 2020. – P. 012003. – DOI 10.1088/1757-899X/940/1/012003. – EDN DTHAKI.
2. Innovative technologies for geo-ecological support while artificial coastal territories development / M. Shilin, V. Abramov, [et al.] // 19th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2019: Conference proceedings. ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION, Albena, 30 июня – 06 июля 2019 года. Vol. 19. – Sophia: Общество с ограниченной ответственностью СТЕФ92 Технолджи, 2019. – P. 399-406. – DOI 10.5593/sgem2019/5.1/S20.050. – EDN WRFQDI.
3. К вопросу о стратегии создания национальной системы контроля черного углерода в российской Арктике / Л. Н. Карлин, [и др.] // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2014. – № 36. – С. 67-73. – EDN TQUBAN.
4. Innovative Digital Technologies Development for Projects Management within Northern Sea Route Area / V. M. Abramov, E. P. Istomin, N. N. Popov [et al.] // Vision 2025: Education Excellence and Management of Innovations through Sustainable Economic Competitive Advantage: Proceedings of the 34rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019, Madrid, 13–14 ноября 2019 года. – Madrid: International Business Information Management Association, 2019. – P. 10132-10141. – EDN ARNAIR.
5. Geoinformation technologies for assessing arctic and subarctic riverbeds throughput while climate change / T. V. Vekshina, [et al.] // 19th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2019: Conference proceedings, Albena, 30 июня – 06 июля 2019 года.

- Vol. 19. – Albena: Общество с ограниченной ответственностью СТЕФ92 Технолоджи, 2019. – P. 903-910. – DOI 10.5593/sgem2019/2.1/S08.117. – EDN SATCDX.
6. Northern Sea Route Development Under Climate Change and Covid-19 / V. L. Mikheev, V. M. Abramov, V. G. Burlov [et al.] // Proceedings of the 37th International Business Information Management Association Conference Innovation Management and information Technology impact on Global Economy in the Era of Pandemic, Cordoba, 30–31 мая 2021 года. – Cordoba: IBIMA Publishing, 2021. – P. 5147-5153. – EDN MWVXNB.
7. Botnet Attack Detection Approach in IoT Networks / Т. М. Tatarnikova, I. А. Sikarev, P. Yu. Bogdanov, T. V. Timochkina // Automatic Control and Computer Sciences. – 2022. – Vol. 56, No. 8. – P. 838-846. – DOI 10.3103/s0146411622080259. – EDN VILOAN.
8. Автоматизированная обработка архивов метеорологических данных с помощью программы на языке "Python" / В. М. Абрамов, И. А. Сикарев, А. И. Честнов, А. А. Буцанец // Речной транспорт (XXI век). – 2022. – № 4(104). – С. 53-55. – EDN JHWPCQ.
9. Нырков, А. П. О проблемах безопасности телекоммуникационных систем на внутренних водных путях / А. П. Нырков, И. А. Сикарев // Региональная информатика-2008 (РИ-2008): XI Санкт-Петербургская международная конференция, Санкт-Петербург, 22–24 октября 2008 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургское Общество информатики, вычислительной техники, систем связи и управления, 2009. – С. 230-233. – EDN WHFAYB.
10. Digital learning technologies development for university education in environmental economics / V. M. Abramov, [et al.] // Vision 2025: Education Excellence and Management of Innovations through Sustainable Economic Competitive Advantage: Proceedings of the 34rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019, Madrid, 13–14 ноября 2019 года. – Madrid: International Business Information Management Association, 2019. – P. 9409-9417. – EDN YGOFIF.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНЫХ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ СЕНСОРОВ И ДАТЧИКОВ

Кузьмин П.И., Пункевич Д.М., Служева М.И., Берников А.Д., Паймеров К.В.,
Потапова И.А.

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

Аннотация. В данной статье представлены современные подходы к мониторингу атмосферных и гидрологических процессов, с акцентом на использовании сенсоров и датчиков как основных инструментов сбора и анализа данных. Были рассмотрены различные типы сенсоров, применяемых для измерения температуры, давления, влажности, скорости ветра, а также для анализа состояния водных объектов. Особое внимание уделялось методам обработки полученных данных, включая фильтрацию и применение машинного обучения для прогнозирования природных явлений.

В работе затрагиваются перспективы развития мониторинговых систем, включая использование беспилотных летательных аппаратов, геоинформационных систем и спутниковых технологий. Также рассматриваются возможности применения робототехники и Интернета вещей для создания комплексных сетей мониторинга в режиме реального времени. Наша цель – показать, как современные технологии позволяют улучшить понимание и прогнозирование экологических процессов, способствуя принятию обоснованных решений в области охраны окружающей среды и снижения рисков, связанных с природными катастрофами.

Ключевые слова. Сенсоры, датчики, климат, атмосферные процессы, гидрологические процессы.

MODERN METHODS OF MONITORING ATMOSPHERIC AND HYDROLOGICAL PROCESSES USING SENSORS AND DETECTORS

Kuzmin P.I., Punkevich D.M., Sluzheva M.I., Bernikov A.D., Paymerov K.V., Potapova I.A.
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Annotation. This article presents modern approaches to monitoring atmospheric and hydrological processes, with an emphasis on the use of sensors and devices as the main tools for data collection and analysis. Various types of sensors used for measuring temperature, pressure, humidity, wind speed, as well as for analyzing the state of water bodies, were considered. Special attention was given to methods of processing the obtained data, including filtering and the application of machine learning for predicting natural phenomena. The paper addresses the prospects for the development of monitoring systems, including the use of unmanned aerial vehicles, geographic information systems, and satellite technologies. It also examines the possibilities of applying robotics and the Internet of Things to create comprehensive real-time monitoring networks. Our goal is to demonstrate how modern technologies can enhance the understanding and forecasting of environmental processes, thereby facilitating informed decision-making in the field of environmental protection and reducing risks associated with natural disasters.

Keywords. Sensors, detectors, climate, atmospheric processes, hydrological processes.

Глобальные изменения климата, растущие экологические вызовы, все это делает использование современных методов мониторинга атмосферных и гидрологических процессов всё более и более актуальным. Благодаря современным технологиям в сфере метеорологии и гидрометеорологии ученые осуществляют непрерывный сбор и анализ данных о состоянии окружающей среды, что помогает управлять водными ресурсами и оперативно реагировать на природные явления. В данной статье будут рассматриваться современные сенсоры и датчики, методы обработки данных, их применение и будущие тенденции, и инновации.

В Российской Федерации мониторинг метеорологических и гидрологических процессов осуществляется как в рамках национальных программ, таких как Росгидромет, так и с использованием частных инициатив и научных разработок. Важнейшим направлением развития данных технологий является внедрение автоматизированных систем сбора и обработки информации, обеспечивающих высокую степень детализации климатических процессов и улучшение прогнозных моделей.

Атмосферные сенсоры играют ключевую роль в метеорологическом мониторинге. Они позволяют измерять параметры воздуха, такие как температура, влажность, давление, скорость и направление ветра, а также уровень осадков.

Для измерения температуры воздуха применяются следующие типы датчиков:

1. Жидкостные термометры – наиболее простые и используемые для базовых метеорологических измерений (например, спиртовые или ртутные термометры).
2. Электронные термометры – используют термисторы или платиновые терморезисторы (Pt100) с точностью до $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.
3. Инфракрасные термометры – измеряют температуру на расстоянии, что полезно для зондирования верхних слоев атмосферы и анализа городской «тепловой подушки».

В российских метеорологических станциях широко применяются термометры ТСП-100 (диапазон измерений от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$), а также высокоточные инфракрасные датчики типа IR-800, способные фиксировать температурные аномалии в городских и промышленных зонах.

Для измерения атмосферного давления используют барометры; они позволяют прогнозировать изменения погодных условий, такие как циклоны и антициклоны.

Различают следующие виды барометров:

1. Анероидные барометры – механические устройства, работающие на основе изменения объема чувствительной камеры при изменении давления.

2. Электронные барометры – используют пьезоэлектрические и емкостные датчики для преобразования давления в электрический сигнал.

Наиболее точные цифровые барометры, такие как BAROMETR MB3, обеспечивают разрешение измерения 0,01 ГПа, что особенно важно в авиации и морских системах прогнозирования.

Для измерения влажности воздуха, критически важного параметра для прогнозирования дождей, туманов и гроз, используют гигрометры. Наиболее распространены:

1. Волосные гигрометры – используют растяжение и сжатие органических волокон под воздействием влажности.

2. Емкостные и резистивные датчики – наиболее точные электронные системы, обеспечивающие точность до $\pm 2\%$ влажности.

В России активно применяются гигрометры ИВА-6, а также цифровые датчики на основе Sensirion SHT31, которые интегрируются в автоматизированные метеостанции.

Для измерения скорости и направления ветра, что необходимо для прогнозирования ураганов, ветровых нагрузок на сооружения и мониторинга климата, используют анемометры:

1. Чашечные анемометры – традиционные механические устройства.

2. Ультразвуковые анемометры – обеспечивают высокую точность измерений (до 0,1 м/с) и используются в автоматизированных системах мониторинга.

Российские метеостанции активно применяют анемометры 1Д-35, которые работают в диапазоне 0,5–50 м/с и позволяют фиксировать даже слабые воздушные потоки.

Датчики осадков позволяют измерять интенсивность и количество дождей, снега и града:

1. Механические осадкомеры – традиционные дождемеры.

2. Оптические и лазерные датчики – измеряют интенсивность осадков путем анализа преломления света в каплях дождя.

В России применяются осадкомеры типа М-69, а также передовые OTT Pluvio, которые используются для точного измерения осадков в экстремальных условиях, например, в Арктике.

Гидрологические датчики используются для мониторинга состояния водоемов, рек и подземных вод. Они позволяют контролировать уровень воды, ее температуру и качество. Гидростатические датчики измеряют давление столба воды (например, К-120), ультразвуковые датчики фиксируют уровень воды без контакта (например, VEGAPULS 64), также температурные датчики воды: терморезисторные датчики НОВО U22 используются для морских исследований, ТСП-50 – для рек и озер, датчики качества воды: рН-метры – определяют кислотность воды (HI-98160), датчики мутности – измеряют уровень загрязнения (YSI EXO), кислородные датчики – контролируют содержание кислорода в воде (Hach LDO). А еще это интегрированные системы мониторинга и сенсорные сети и беспроводные системы. Автоматизированные гидрометеорологические комплексы позволяют получать данные в реальном времени. Например, в Сибири внедрены сети Davis Vantage Pro2 с передачей данных по спутниковым каналам. Также в России работает более 1400 гидрометеорологических станций, использующих системы «Метео-М2». В 2021 году благодаря этим системам на Камчатке было своевременно обнаружено цунами.

После снятия данных с сенсоров и датчиков, их необходимо обработать. Так как датчики не идеальны, сначала, необходимо провести фильтрацию данных. Фильтрация данных используется для повышения точности и надежности измерений, с помощью сглаживания, мы можем отслеживать аномальные значения, которые могут возникнуть из-за неисправности датчиков, а также, фильтрация и сглаживания могут помочь восстановить пропущенные данные, в случае перебоев.

Существуют различные методы фильтрации данных. Рассмотрим два из них [4].

Фильтрация скользящего среднего значение - сглаживает данные, заменяя каждую точку данных на среднее значение соседних точек данных, заданных в промежутке [14]. Вычисляется по формуле 1

$$f_k = \frac{1}{h} \sum_{i=l}^k f_i, \quad (1)$$

где f_i – исходные значения рассматриваемой функции, $h = k - l + 1$ – сглаживающий интервал – количество значений исходной функции для расчета скользящего среднего [1]. Преимущества этого метода в простоте реализации и эффективном сглаживании, но он плохо чувствителен к резким изменениям и теряет данные на краях ряда.

Второй метод фильтрации - Метод Савицкого-Голея. Суть заключается в построении по $2k + 1$ последовательным равноотстоящим точкам аппроксимирующего полинома n -й степени и использовании в качестве сглаженного значения величины полинома в $k + 1$ -й точке. Преимущества этого метода в минимальных искажениях амплитуды и ширины пиков и гибкости настройки. Недостаток метода в его сложности вычислений.

Для более упрощенного анализа данных, можно использовать преобразование Фурье. Оно позволяет исследовать временные ряды данных. Это преобразование помогает выявить скрытые периодичности и тренды. Преобразование Фурье часто используется в машинном обучении для прогнозирования временных рядов [9].

Часто атмосферные и гидрологические датчики используются в авиации, где безопасность и эффективность являются наивысшими приоритетами. Там датчики обеспечивают поток важной информации. Автоматизированных системы сбора охватывают широкий спектр параметров, позволяя пилотам и авиадиспетчерам принимать взвешенные решения. Датчики температуры и давления воздуха, установленные на коммерческих самолётах для расчёта воздушной скорости, получают информацию о температуре за бортом, предотвращая ошибки в навигации и управлении [13]. Например, датчики влажности воздуха на самолётах Boeing 787 [8] оценивают вероятность обледенения и турбулентности, предупреждая пилотов и автоматически активируя системы противобледенения. Современные аэропорты используют анемометры на диспетчерских вышках [12]. Эти датчики постоянно передают данные о скорости направлении ветра, помогая рассчитать характеристики при взлёте и посадке. Кроме того, во время сильных дождей взлётные полосы могут быть затоплены. Для предотвращения этого используются гидрологические датчики [3], которые отслеживают количество осадков и передают данные об уровне воды. Гиперспектральные сенсоры используют для оценки состояния взлётной полосы: они обеспечивают лётчиков информацией об инородных жидкостях на ней. Также эти сенсоры распределяют световые лучи сигнальных огней взлетно-посадочной полосы для более плавной и безопасной посадки самолёта.

Все данные, полученные от различных датчиков, современные авиакомпании интегрируют в системы искусственного интеллекта [7]. Они помогают выявить скрытые закономерности и предсказывать потенциальные проблемы, позволяя вовремя

принимать решения.

В связи с быстрым ростом информационных технологий, будущими тенденциями и, как следствие, инновациями, которые увеличат оборот мониторинга атмосферных и гидрологических процессов и их обработки, можно выделить соответствующие направления развития в данной области, которые представлены ниже.

Во-первых, это использование беспилотных летательных аппаратов (далее БПЛА) самолетного и коптерного типов для мониторинга атмосферных процессов, а также водоемов. На примере статьи [10] есть реальные возможности будущего использования данных аппаратов. В ней рассматривают применение БПЛА для помощи исследований мониторинга атмосферного пограничного слоя. На БПЛА и аппаратах коптерного типа установлены датчики и сенсоры, которые собирают такие показатели, как влажность, воздушное давление, температура, скорость ветра. Также на международной конференции [2] в Ижевске в 2021 году было рассказано про опыт использования БПЛА в геоморфологических и гидрологических исследованиях. В работе подробно описаны примеры эффективного использования таких аппаратов. Например, мониторинг динамики активно отступающих речных и морских берегов и другие.

Во-вторых, это использование новейших, даже разработок, различных комплексов картоирования, а именно геоинформационных систем (далее ГИС) и комплексов экологического картоирования, позволяющие создавать детальные модели состояния атмосферы и гидрологических объектов. ГИС давно известны своей методикой использования. Например, компания КБ “Панорама” [5] имеет специализированные ГИС-системы, а также, в целом, оказывает широкие услуги по моделированию зон затоплений, осушений и других задач.

В-третьих, активное развитие науки и техники в космосе, открывает горизонты для использования спутниковых технологий для глобального мониторинга атмосферы и гидрологических процессов. На сегодняшний день спутники оснащены оптическими сенсорами, такими как Landsat-7, Landsat-8 или Sentinel-2 [6], предоставляющими данные в различных спектральных диапазонах, включая видимый и коротковолновый инфракрасный (SWIR). Также, используются спутники с радаром, например, Sentinel-1 или TerrasAR-X/TanDEM-X/PAZ, которые позволяют проводить мониторинг даже при облачности. Данные со спутников позволяют оценивать объемы затопленных территорий и состояние береговой линии с высоким разрешением, а также предоставлять информацию о глобальном климате, уровнях воды и загрязнении на больших масштабах.

В-четвертых, робототехника сейчас представляет собой активно развивающееся и активно продающееся направление, отчего все больше внимания политических деятелей, научных руководителей и простых обывателей направлено на него. Многочисленные разработки мобильных роботов экологического мониторинга, таких как T5 Экобот [11], способны заменить несколько стационарных станций контроля качества воздуха. Эти роботы, оснащенные газоанализаторами, метеостанциями и даже датчиками радиационного контроля, обеспечивают круглосуточный мониторинг концентраций различных веществ (кислород, озон, оксиды углерода и азота, аммиак, сероводород и др.), а также параметров ветра, температуры, влажности и атмосферного давления. Уникальность роботизированных решений заключается в возможности автоматического перемещения, удаленного перепрограммирования и автономной работы, что позволяет проводить обследование значительных территорий и оперативно реагировать на изменения экологической обстановки.

В дополнение, можно использовать целую сеть взаимосвязанных датчиков,

которые будут обмениваться данными в реальном времени. Все это возможно с помощью Интернета вещей (IoT), который можно использовать для интеграции данных датчиков и создания систем раннего предупреждения [6]. Оно позволит обеспечивать более комплексное наблюдение за экологическими процессами.

Современные методы мониторинга атмосферных и гидрологических процессов с помощью сенсоров и датчиков помогают в принятии взвешенных решений не только ученым, но и пилотам. Ученые используют точные данные для развития и защиты окружающей среды, пилотам легче следить за состоянием судна и погодными условиями. В будущем точность и надежность получаемых с датчиков и сенсоров данных непременно возрастет, что поможет принимать более взвешенные решения.

Список литературы

1. Арифметическое скользящее среднее. URL: <https://prog-cpp.ru/moving-average/> (дата обращения: 22.02.2025)
2. *Беляев В.Р., Иванов М.М., Иванова Н.Н., Михайлова Н.М., Турыкин Л.А., Луговой Н.Н., Сёмочкина А.Е., Харченко С.В., Школьный Д.И.* Опыт использования беспилотных летательных аппаратов в геоморфологических и гидрологических исследованиях, доклад на конференции, 13.10.2021 г.
3. *Виноградов А.Н., Егоров В.В., Родионова И.П., Родионов А.И., Родионов И.Д., Калинин А.П.* Возможности использования бортовых УФ-С сенсоров в задачах навигационного обеспечения экипажа летательного аппарата, доклад на конференции, 16.11.2017 г.
4. *Каламбет Ю.А., Козьмин Ю.П., Самохин А.С.* Фильтрация шумов. Сравнительный анализ методов, 2017 г.- 88-101 с.
5. Комплекс гидрологических задач, КБ “Панорама”. URL: <https://gisinfo.ru/products/hydrologyx64.htm> (дата обращения: 15.02.2025)
6. Мониторинг паводков и наводнений. URL: <https://innoter.com/articles/monitoring-ravodkov-i-navodneniy/> (дата обращения: 17.02.2025)
7. *Олейников, Е. А.* Применение искусственного интеллекта в гражданской авиации / Е. А. Олейников, Т. С. Ваганов. // Молодой ученый. - 2025. - № 3 (554). - 41-43 с.
8. Предсказывать погоду будут датчики на самолетах. URL: https://elementy.ru/novosti_nauki/25719/Predskazyvat_pogodu_budut_datchiki_na_samoleta_kh (дата обращения: 22.02.2025)
9. Прогнозирование временных рядов методом рядов Фурье. URL: <https://habr.com/ru/companies/glowbyte/articles/542940/> (дата обращения: 22.02.2025)
10. *Репина, И.А., Варенцов М.И., Чечин Д.Г., Артамонов А.Ю., Бодунков Н.Е., Калягин М.Ю., Живолютов Д.Н., Шевченко А.М., Варенцов А.И., Кукова Н.Е.* Степаненко В.М., Шестакова А.А. Использование беспилотных летательных аппаратов для исследования атмосферного пограничного слоя, 2020 г.- 20 с.
11. Робот экологического мониторинга загрязнения воздуха. URL: <https://www.smprobotics.ru/produktsiya/robot-ekologicheskogo-monitoringa-zagryazneniya/> (дата обращения: 17.02.2025)
12. Руководство по приборам и методам наблюдений (ВМО-№8), Том III – Системы наблюдений, Глава 2.
13. *Сычев В.* Лазерные датчики на самолетах заменят пневматические, дата обращения: 22.02.2025. URL: <https://nplus1.ru/news/2016/08/23/trueairspeed>
14. Фильтрация и сглаживание данных. URL: <https://docs.exponenta.ru/curvefit/smoothing-data.html> (дата обращения: 22.02.2025)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАКОВ С ПОМОЩЬЮ РАДИОЛОКАЦИИ И ПОЛУТОРАМЕРНОЙ МОДЕЛИ КОНВЕКЦИИ

Кузьменко П.Ю.

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург
grafin-sobaka@mail.ru

Аннотация. Для исследования облаков использовались результаты радиолокационного зондирования района Воейково в июне-августе 2022-2023 годов. Они накладывались на карты барической топографии AT500 и AT700. В отборе дней для изучения водозапаса облаков и его эволюции использовали вкладку «Осадки». Провели морфологический анализ отобранных случаев и предварительный расчет характеристик облачности с помощью полуторамерной модели конвекции.

Ключевые слова. Доплеровский радиолокатор, облачность, полуторамерная модель, интерполяция, моделирование.

STUDY OF CLOUDS USING RADAR AND A ONE-AND-A-HALF-DIMENSIONAL CONVECTION MODEL

Kuzmenko P.Yu.

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

Annotation. The results of radar sounding of the Voeikovo region in June-August 2022-2023 were used to study the clouds. They were superimposed on the AT500 and AT700 baric topography maps. The "Precipitation" tab was used to select days to study the water content of clouds and its evolution. A morphological analysis of the selected cases and a preliminary calculation of cloud characteristics were carried out using a one-and-a-half-dimensional convection model.

Keywords. Doppler radar, cloudiness, one-and-a-half-dimensional model, interpolation, modeling.

Задача активных воздействий на погоду в целях обеспечения благоприятных условий жизнедеятельности человека или предотвращения – либо уменьшения ущерба – от опасных явлений погоды является в наше время весьма важной и актуальной. Особенно это важно в связи с резким потеплением климата, приводящим к росту частоты и интенсивности указанных опасных для авиации явлений погоды, а также вызываемых из-за них ухудшений качества погодных условий. В свою очередь это приводит к уменьшению повторяемости безопасных условий полетов и росту случаев срыва расписания авиационных перевозок.

Одними из наиболее опасных явлений погоды являются конвективные явления, сопровождающие, в частности, такие бедствия, как лесные пожары, наносящие ущерб сельскохозяйственной деятельности человека.

Количество энергии, связанное с большинством атмосферных процессов, в том числе с эволюцией конвективных облаков, необычайно велико. Оно значительно превосходит запасы энергии, которые сегодня в состоянии использовать человек или, по крайней мере, доступные для осуществления активных воздействий на вышеуказанные процессы. В связи с этим основным условием успешной реализации активных воздействий оказывается поиск и обнаружение таких моментов или этапов развития процессов, при которых довольно небольшие энергетические затраты приводят к резкому, практически триггерному, изменению характера их протекания. Как правило, такая возможность неразрывно связана с теми или иными видами физической неустойчивости атмосферных процессов и нарушением и стабильности.

В предлагаемом докладе делается попытка решения проблемы детектирования облаков в части выполнения задачи тушения или ослабления лесных пожаров, а также

недопущения засух, вредящих функционированию сельского и лесного хозяйства. Поиску подвержены такие конвективные облака, при активном воздействии на которые существует способность добиться выпадения осадков, не выпадающих в естественных условиях, или значительного их усиления по сравнению со случаем естественного развития облаков.

Выполненные работы в данном направлении условно подразделяются на экспериментальные либо базирующиеся на данных натуральных наблюдений и измерений [1-3] и теоретические (в основном, численное моделирование [4]). Известны также и попытки организации комплексных исследований [5].

По итогам работы метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С были построены карты облачности с использованием аэрологической информации станции Воейково (индекс ВМО – 26075) для летнего периода 2022 – 2023 годов. Затем в соответствии с критериями (наличие облачности в слое 3-5 км, температура высоты верхней границы облаков – 5 – 15 градусов Цельсия, отсутствие осадков по вкладке «Метеоявления») были выбраны дни с потенциально богатой влагой облачностью.

После этого были проведены расчеты с использованием численной нестационарной полуторамерной модели конвективного облака и выполнен предварительный анализ полученных результатов. В заключение была построена численная модель для расчета характеристик облаков путем оперативной корректировки высоты их верхней границы. Приводится пример такой корректировки для одного из выбранных дней.

Для примера рассмотрим карту радиолокационной отражаемости, построенную по данным ДМРЛ-С Воейково за срок 15.00 ВСВ. На рисунке 1 на карте АТ-500 за 24.08.2022 года отчетливо видны две полосы конвективных облаков, которые предположительно соответствуют вторичным холодным фронтам. Первая из них, с высотой верхней границы 6–8 км, тянется от Санкт-Петербурга в направлении юга Псковского озера. Вторая, более мощная полоса облаков проходит к северо-западу от границы России с Финляндией. Высота верхней границы облаков в этой полосе достигает 4–8 км. Температура на поверхности 500 гПа составляет около минус 14°C. Барическое поле соответствует юго-восточной периферии циклона. Поток воздуха направлен с юго-запада на северо-восток.

На рисунке 2 приведена синоптическая карта за 12.00 ВСВ (источник – <https://metoffice.gov.uk>). Из рисунка 2 в сопоставлении с рисунком 1 видно, что в рассматриваемом регионе 24.08.2022 года погоду определял теплый сектор циклона.

Радиолокационные измерения позволяют оценивать переохлажденные объемы облака с жидкокапельной или смешанной фракцией. Воздействия кристаллизирующим реагентом могут приводить к цепи микрофизических превращений влаги, которые обеспечат увеличение осадков. Была выполнена оценка объемов облаков, пригодных для проведения воздействий кристаллизирующим реагентом, для выбранного дня: 24.08 2022 года.

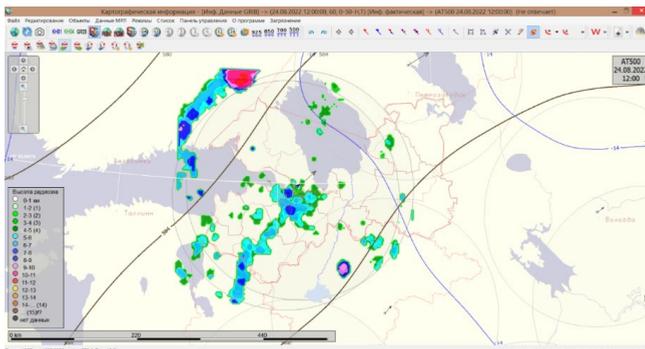


Рисунок 1 – Карта AT-500 за 12.00 ВСВ и наложенные на нее данные радиолокации по высоте радиоэха за 15.00 ВСВ – 24.08.2022

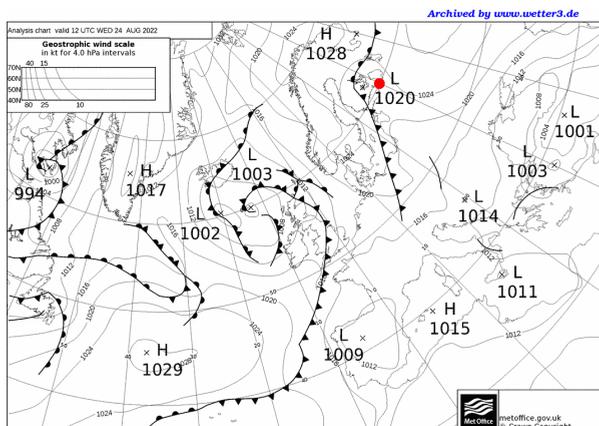


Рисунок 2 – Синоптическая карта за 12.00 ВСВ 24.08.2022. Красным цветом отмечен г. Санкт-Петербург

Для анализа были использованы данные, полученные с помощью метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С, работающего на длине волны 5,3 см. Он установлен в п. Воейково в 10 км восточнее г. Санкт-Петербурга. Данный радиолокатор имеет следующие основные технические характеристики: мощность в сжатом импульсе как на вертикальной, так и на горизонтальной поляризации – не менее 450 кВт, ширина диаграммы направленности – 1°. За промежуток времени, равный 10 мин, осуществляется два радиолокационных обзора. Один из них обеспечивает измерение поляризационных характеристик облаков. Во время второго обзора, помимо поляризационных измерений, выполняются измерения в доплеровском режиме.

Для обработки и визуализации данных ДМРЛ-С применялось программное обеспечение вторичной обработки радиолокационной информации «ГИМЕТ-2010» [6].

В таблице 1 приведены результаты определения синоптической ситуации для отобранных с помощью радиолокационных снимков, наложенных на аэрологические карты. При этом учитывали основные критерии отбора по температуре у верхней границы облака и отсутствию выпадающих осадков.

Синоптическая ситуация определялась по синоптическим картам за 12.00 ВСВ (источник – <https://metoffice.gov.uk>). Несмотря на некоторые расхождения результатов с

наблюдаемыми данными, расчеты показали, что в целом модель хорошо воспроизводит основные характеристики конвективных облаков. Для проанализированной выборки в 28,5% случаев модель показала формирование облачности, полностью соответствующей установленным критериям. Еще в 25,0% случаев было получено развитие облаков, незначительно отклоняющихся от требуемых. В 10,7% случаев облака формально не подпадают под основное определение, однако не дают осадков у земли, но при этом их верхняя граница находится в области отрицательных температур; таким образом, их также можно рассматривать как искомые. Таким образом, метод численного моделирования оказывается достаточно пригоден для идентификации облаков, требуемых для искусственного вызывания осадков.

Таблица 1 - Синоптическая ситуация в районе Воейково в выбранные дни

2.06.2022	Восточная периферия высотного циклона
10.06.2022	Южная периферия высотного циклона
23.06.2022	Малогradientное барическое поле
4.08.2022	Малогradientное барическое поле
14.08.2022	Малогradientное барическое поле
24.08.2022	Теплый сектор циклона
28.08.2022	Циклон
1.06.2023	Южная периферия высотного циклона
2.06.2023	Южная периферия высотного циклона
3.06.2023	Ложбина
22.06.2023	Холодный фронт в тылу циклона
23.06.2023	Теплый фронт
1.07.2023	Циклон
2.07.2023	Тыл циклона с вторичными холодными фронтами
4.07.2023	Юго-западная периферия циклона
5.07.2023	Южная периферия циклона
7.07.2023	Теплый фронт
12.07.2023	Тыл циклона
14.07.2023	Малогradientное барическое поле
17.07.2023	Теплый фронт
26.07.2023	Теплый фронт
27.07.2023	Ложбина
31.07.2023	Ложбина
9.08.2023	Теплый фронт и фронт окклюзии
11.08.2023	Теплый фронт
21.08.2023	Вторичный холодный фронт
24.08.2023	Седловина
30.08.2023	Ложбина

Рассмотрим микрофизическое строение облака и осадков, полученное по результатам численного моделирования, для 24.08.2022 года.

На рисунке 3 приведен временной ход пространственных (высотных) максимумов водности облачных капель, водности дождевых капель и ледности градин для случая 24.08.2022 года.

По результатам расчетов, образуется грозо-градовое облако с достаточно большими значениями водности и ледности. Однако ни дождь, ни град не могут выпасть в подоблачный слой вследствие зависания частиц в восходящем потоке, скорость которого оказывается не меньше скорости седиментации частиц. Такое облако также подходит для активного воздействия с точки зрения задачи искусственного вызывания

осадков, так как образующиеся при активном воздействии дополнительные ледяные частицы будут укрупняться за счет большого запаса облачных капель. Перемещение капель дождя или частиц града вниз в ненасыщенный влагой подоблачный слой приведет к испарению осадков, охлаждению воздуха и возникновению нисходящего потока, который, в свою очередь, будет способствовать дальнейшему выпадению осадков.

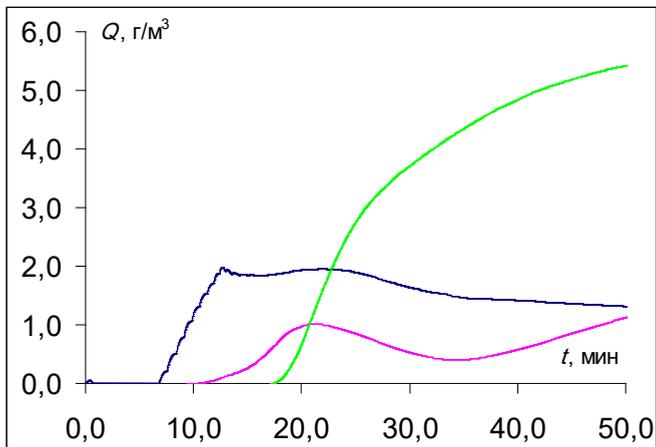


Рисунок 3 – Временной ход пространственных максимумов водности облачных капель (синяя кривая), дождевых капель (красная кривая) и ледности градин (зеленая кривая) 24.08.2022

Таким образом, результаты расчетов показали, что в целом модель хорошо воспроизводит характеристики конвективных облаков. Метод численного моделирования успешен при идентификации облаков, пригодных для искусственного вызывания осадков.

Список литературы

1. *Веремей Н. Е., Довгалюк Ю. А., Затевахин М. А., Игнатъев А. А., Морозов В. Н., Пастушков Р. С.* Описание базовой численной нестационарной трехмерной модели конвективного облака // Труды ГГО. Вып. 582., 2016. – С. 45–91.
2. *Волкова Е. В.* О классификации типов облачности пороговым методом по спутниковым ИК-данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2023. – Т. 20. – № 1. – С. 271–286.
3. *Довгалюк Ю. А., Веремей Н. Е., Синькевич А. А.* Применение полуторамерной модели для решения фундаментальных задач физики облаков // СПб.: «Типография Моби Дик». 2013. – 220 с.
4. *Довгалюк Ю. А., Веремей Н. Е., Иванова К. М.* Исследование облачных ресурсов для тушения лесных пожаров в Северо-Западном регионе Российской Федерации // Тр. ГГО. – 2015. – Вып. 577. – С. 179–196.
5. *Русин И. Н., Довгалюк Ю. А., Веремей Н. Е., Казанин А. Л.* Оценка ресурсов влаги, доступных при активных воздействиях на конвективные облака с использованием гигроскопического реагента // Тр. ГГО. – 2016. – № 580. – С. 165–174.
6. *Попов В. Б.* Временной ход радиолокационной отражаемости и интенсивности осадков // Свидетельство о регистрации № 2015660235 от 25.09.2015 г.

КОНЦЕПЦИЯ УЧЕТА ЭВОЛЮЦИИ КОНВЕКТИВНЫХ ОБЛАКОВ В РАДИОЛОКАЦИОННОМ НАУКАСТИНГЕ

Тюриков И.А., Анискина О.Г.

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

Аннотация. К рассмотрению предлагается концептуальная модель радиолокационного наукастинга, учитывающая эволюционный ход конвективных ячеек. Описан подход к наукастингу, при котором сочетаются преимущества от двух различных подходов – адвективного и объектного.

Ключевые слова. Наукастинг, сверхкраткосрочный прогноз, радиолокация, опасные явления погоды, конвективные ячейки.

THE CONCEPT OF CONVECTIVE CELL EVOLUTION IN RADAR NOWCASTING

Tyurikov I.A., Aniskina O.G.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Annotation. The conception of cumulus clouds evolution in weather radar nowcasting is addressed. The article suggests the nowcasting method that combines advantages from both advective and object-oriented nowcasting techniques.

Key words. Nowcasting, weather radar, cumulus clouds, convective cell.

Наиболее широко применяемые и общепринятые методы, лежащие в основе современных систем наукастинга осадков, подразделяются на две основные группы – адвективные и объектные.

В основе адвективного метода лежит идея переноса каждой радиолокационной ячейки индивидуально, согласно соответствующему ей вектору скорости ветра. На данный момент существует множество способов получения векторного поля скорости ветра, которое может быть использовано в целях наукастинга. Поля скорости могут быть получены из результатов гидродинамических моделей, по данным восстановленных скоростей [1], измеренных самим радиолокатором (доплеровская скорость) или статистическими методами.

Последовательно перемещая данные наблюдений по данным о ветре, получается прогностическое радиолокационное поле.

Основное преимущество использования при наукастинге модельных данных заключается в том, что поле ветра определено для всех точек пространства, в то время как доплеровская скорость может быть определена только для областей, где находятся сами гидрометеоры. Недостатком же можно считать ошибку моделирования по пространству. Численный прогноз погоды способен улавливать и успешно отображать локальные особенности циркуляции, связанные с облачными системами или фронтами (в зависимости от разрешения модели). Однако модельное векторное поле не всегда будет точно сопоставляться с наблюдаемыми радиолокатором облаками.

В качестве примера статистических методов можно привести алгоритм корреляции площадей и метод оптического потока [2]. Данные алгоритмы получают поле относительного смещения радиоэха или осадков, определяя для каждой ячейки свой вектор переноса.

Адвективному методу противопоставляется метод объектного наукастинга. Он основывается на выделении в радиолокационном поле объектов, удовлетворяющих пороговому значению некоторой характеристики, например, отражаемости [3]. Выделив в двух соседних временных отсчетах два набора объектов, и сопоставив их друг другу,

можно получить вектор смещения каждого объекта, а значит и спрогнозировать его будущее местоположение. Преимущество такого подхода к наукастингу заключается в том, что каждый объект представляет из себя конкретную структуру, для которой может быть рассчитан ряд информативных характеристик (ВГО, максимальная отражаемость, спроецированная площадь и др.). Совершив несколько последовательных сопоставлений объектов друг другу во времени, для каждого из них образуется «история». В рамках данной истории можно рассматривать временной ход полученных характеристик объекта.

До сих пор проблема учета эволюции конвективной облачности в системах наукастинга осадков остается достаточно серьезным ограничением для сверхкраткосрочных прогнозов. Трудность заключается в прогнозировании момента инициализации конвективной ячейки с её последующим развитием и момента её угасания после достижения стадии зрелости.

В данной работе представлена концептуальная модель радиолокационного наукастинга, учитывающего эволюционную составляющую конвективной системы.

Основная идея предлагаемой модели базируется на совмещении достоинств методов адвективного и объектного наукастинга. Преимущество адвективного метода в данном ключе - это способность к более точному прогнозу местоположения облачной системы, а преимущество объектного – способность к выделению обособленной структуры конвективных ячеек, что позволит избирательно рассматривать их эволюцию и взаимодействие.

Для адвективного перемещения воспользуемся результатами численного моделирования атмосферы. Конкретное значение вектора переноса примем за среднее значение потока между поверхностями 500 гПа и 700 гПа [4].

$$c = k|V|_7^5 \tag{1}$$

$$|V|_7^5 = \frac{\sqrt{V_7^2 + V_5^2 - 2V_7V_5 \cos(180 - \alpha)}}{2} \tag{2}$$

k – определяется по эмпирической формуле:

$$k = \frac{9.2 + 0.29|V|_7^5}{|V|_7^5 + 3.5} \tag{3}$$

A направление ветра в слое:

$$\bar{d}_7^5 = d_7 \pm \arccos \frac{V_7 - V_5 \cos(180 - \alpha)}{2|V|_7^5} \tag{4}$$

где:

- c - результирующая скорость переноса,
- k - эмпирический коэффициент,
- $|V|_7^5$ - скорость ветра в слое 700-500 гПа,
- V_7 - скорость ветра на поверхности 700 гПа,
- V_5 - скорость ветра на поверхности 500 гПа,
- \bar{d}_7^5 - направление ветра в слое 700-500 гПа,
- d_7 - направление ветра на поверхности 700 гПа.

При левом повороте ветра с высотой знак «-», при правом «+».

Принято выделять три основных типа конвективных облаков: одноячейковые, мультіячейковые и суперячейковые облака.

Методами объектного наукастинга в радиолокационном обзоре выделяются структуры по пороговым значениям отражаемости, начиная от 30 дБZ с шагом 5 дБZ. Таким образом, рассматривая характеристики дочерних объектов относительно материнских, можно получить представление о структуре облака.

Важным параметром может стать соотношение площадей материнской и дочерней ячейки. В одноячейковых облаках, значения радиолокационной отражаемости в «очаге» легко могут превышать 50 дБZ, однако площади, заключенные в каждый из изоконтуров, будут иметь сопоставимый размер и соотношения, близкие к линейным. В то же время для мультіячейковых облаков соотношение площадей материнского и дочерних изоконтуров будет нелинейным, а в самом облаке может находиться сразу несколько подобъектов (рисунок 1).

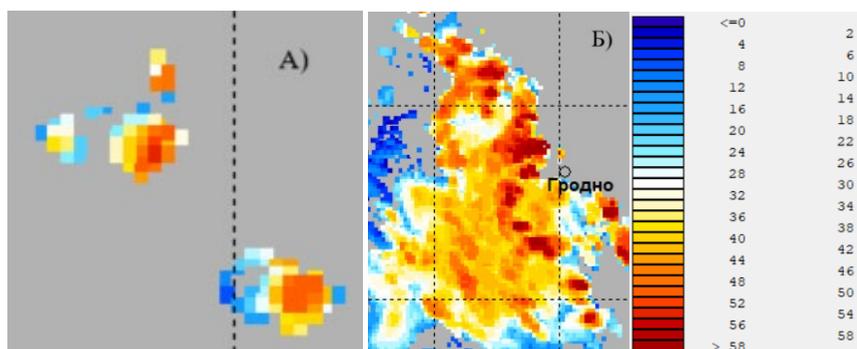


Рисунок 1 – Пример значений радиолокационной отражаемости в слое 2-3 км одноячейковых конвективных облаков (1а), масштаба мезо-γ (характерного горизонтального размера ~ 20 км), мультіячейкового облака (1б), масштаба мезо-α или мезо-β (характерного горизонтального размера сотен км) [5]

Введем предположение о времени жизни конвективных ячеек. Время жизни одиночных ячеек примем равным 1 часу (рисунок 2), при условии протекания их жизни без взаимодействия с другими ячейками. Время жизни ячеек, находящихся в мезомасштабной конвективной системе, может быть большим.

Выделенные объекты с течением времени могут взаимодействовать друг с другом. Рассматриваются два типа взаимодействия ячеек друг с другом, которые влияют на время их жизни:

1. Слияние нескольких конвективных ячеек в одну. Ожидаемым результатом является интенсификация радиолокационных характеристик, увеличение в размерах и времени жизни.

2. Разделение конвективной ячейки на одну или несколько меньших ячейки. Ожидаемым результатом является «угасание» ячеек в меньшие сроки и уменьшение размеров.

Отталкиваясь от накопленной информации о времени жизни конкретной ячейки, можно принять решение о воздействии на значения отражаемости, заключенные в ее изоконтур.

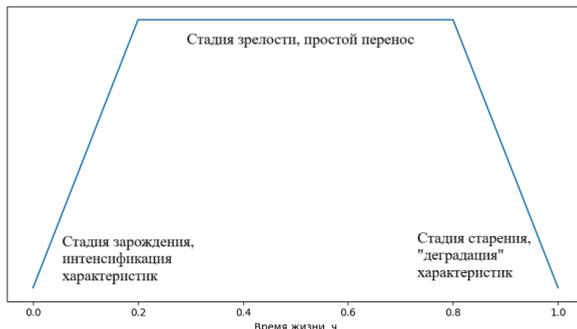


Рисунок 2 – Стадии жизни конвективной ячейки в концептуальном виде

Для увеличения и уменьшения горизонтальных размеров конвективного облака можно работать с положением его контура. Положение изоконтур предлагается масштабировать с некоторым коэффициентом k . Значение коэффициента k определяется временем жизни ячейки, ее взаимодействием с соседними ячейками, а также может быть функций от различных атмосферных параметров, таких как: сходимости приземных потоков, конвективная неустойчивость, лапласиан приземного давления.

В качестве иллюстрации приведено линейное масштабирование контура на рисунке 3.

Для вычисления значений отражаемости в обновленном с учетом расширения (или сжатия) изоконтуре предлагается использовать оконный фильтр. Квадратная матрица, размер ребра которой зависит от размера оси аппроксимирующего контур эллипса, вычисляет среднее по площади значение отражаемости для каждой точки в рамках изоконтура. Это обеспечит сглаживание краев облаков. Для матрицы, аналогично изоконтуре, должен существовать коэффициент k_m , благодаря которому будет проводиться воздействие на радиолокационные характеристики облака.

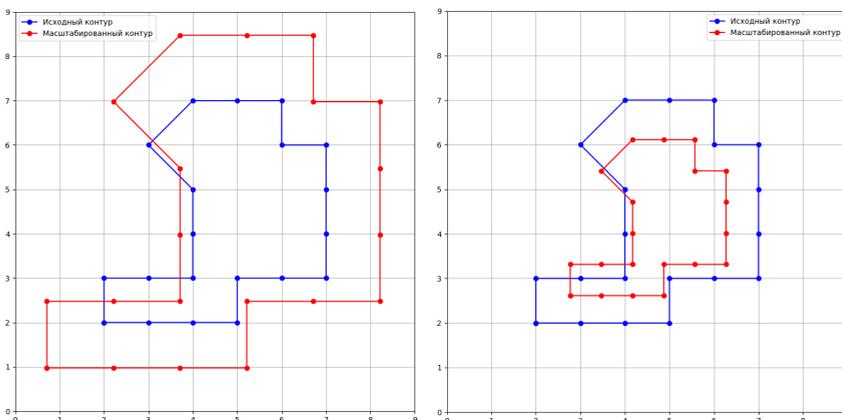


Рисунок 3 – Линейное масштабирование контура относительно центра масс с коэффициентом 1.5 (слева) и 0.7 (справа)

Совмещая адвективный перенос с объектным анализом, предлагается воздействовать на их характеристики между каждым расчетным шагом. При этом объектному анализу подвергаются как спрогнозированные поля в соседних

заблаговременностях, так и поля в соседних реальных наблюдениях, что может позволить запустить более точно запустить цикл прогноза.

Список литературы

1. *Laroche S., Zawadski I.* A variational analysis method for retrieval of three-dimensional wind field from single-Doppler radar data. *Journal of Atmospheric Science*, vol. 51, 2664-2682, 1994.
2. *Neill E. Bowler, Clive E. Pierce, Alan W. Seed* STEPS: A probabilistic precipitation forecasting scheme which merges an extrapolation nowcast with downscaled NWP. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 132, pp. 2127-2155, 2006.
3. *Dixon M., Weiner G.* TITAN: Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting – A Radar-based Methodology. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 10, 1993.
4. *Русин И.Н. Тараканов Г.Г.* Сверхкраткосрочные прогнозы погоды, СПб, 1996
5. *Бочарников Н.В., Брылев Г.Б., Кузнецова Л.И., Линева А.Г., Лялюшкин А.С., Оленев В.А., Паркин Т.В., Солонин А.С., Устинов В.К., Фролов В.И., Четверикова Е.С., Якимайнен Н.А.* Автоматизированные метеорологические радиолокационные комплексы «Метеоячейка». СПб.: Гидрометиздат, 2007 г. – 236 с.

МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ДЛЯ ПЕТРОЗАВОДСКА И РОСТОВА- НА-ДОНУ

Клецова В.А., Кузнецов А.Д.

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

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ методов восстановления вертикальных профилей температуры на основе аэрологического зондирования для станций Ростов-на-Дону и Петрозаводск.

Ключевые слова. Вертикальный профиль температуры, аэрологическое зондирование, методы восстановления, статистическая экстраполяция, средний профиль, постоянный градиент температуры, Ростов-на-Дону, Петрозаводск, стандартное отклонение, погрешность восстановления.

METHODS FOR RECONSTRUCTING THE VERTICAL TEMPERATURE PROFILE: ACCURACY ASSESSMENT FOR PETROZAVODSK AND ROSTOV-ON- DON

Kletsova V.A., Kuznetsov A.D.

Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg

Annotation. The article presents a comparative analysis of methods for reconstructing vertical temperature profiles based on aerological sounding for the stations of Rostov-on-Don and Petrozavodsk.

Key words. Vertical temperature profile, aerological sounding, reconstruction methods, statistical extrapolation, mean profile, constant temperature gradient, Rostov-on-Don, Petrozavodsk, standard deviation, reconstruction error.

Точные данные о распределении температуры с высотой необходимы для прогнозирования погоды, исследования климатических изменений и оценки динамических процессов в атмосфере. Однако аэрологические наблюдения проводятся

не повсеместно и с разной частотой, что создаёт необходимость разработки методов восстановления температурных профилей на основе ограниченной информации.

В данном исследовании использованы данные аэрологического зондирования атмосферы с сайта Университета Вайоминга для двух станций: Ростов-на-Дону (34731), Петрозаводск (22820). Расстояние между станциями составляет 1652,000977 км. Период исследования – с 1 по 31 мая 2024 года, измерения два раза в сутки – 00 ч и 12 ч [1].

Так как вертикальные сетки измерений для каждого зондирования не совпадают, все данные были приведены к единой равномерной вертикальной сетке в диапазоне высот от 0 м до 5000 м (высота над уровнем земли). Для этого применялся метод сплайн-интерполяции.

Все полученные таким образом данные были сведены в единые ансамбли, содержащие для станции Ростов-на-Дону 61 профиль, для станции Петрозаводск 62 профиля. Фрагмент таких ансамблей приведен на рисунке 1.

0	12,0	22,4	10,4	24,8
250	13,4	17,7	16,8	20,2
500	11,8	15,7	16,1	18,7
750	11,0	13,7	14,2	15,9
1000	9,5	11,9	12,5	13,5
1250	7,8	10,4	10,5	11,0
1500	6,6	9,0	7,9	8,5
1750	5,7	7,5	5,2	6,1
2000	4,9	5,9	4,0	3,5
2250	3,9	4,3	4,5	1,3
2500	2,8	2,8	4,3	0,6
2750	1,5	1,3	2,5	0,5
3000	-0,2	-0,2	1,1	-0,2
3250	-2,4	-1,7	-0,5	-1,7
3500	-4,5	-3,2	-2,1	-3,1
3750	-6,5	-4,7	-3,6	-4,5
4000	-8,4	-6,2	-5,1	-6,1
4250	-10,2	-7,7	-6,9	-7,7
4500	-12,0	-9,2	-8,9	-9,4
4750	-13,7	-10,7	-11,0	-11,3
5000	-15,4	-12,1	-13,1	-13,2
z, м	01.05.2024 00ч	01.05.2024 12ч	02.05.2024 00ч	02.05.2024 12ч

Рисунок 1 – Фрагмент ансамбля (Ростов-на-Дону)

Были использованы разные методы восстановления вертикальных профилей температуры:

- метод статистической экстраполяции;
- метод постоянного градиента;
- средний профиль, полученный по имеющимся ансамблям.

Методика статистической экстраполяции профилей описана в работе [2].

Предполагая наличие линейной корреляционной связи между отклонениями $T(z)$ от его средних значений $T_{cp}(z)$ на различных уровнях в атмосфере:

$$T'(z) = T(z) - T_{cp}(z), \quad (1)$$

где $z = z_1, z_2 \dots z_m$.

На основе наилучшей линейной оценки можно получить статистическую экстраполяцию профиля $T(z)$: $T_3(z)$, по известному значению $T'(z=0)$, которую можно записать как:

$$T_3(z) = T_{cp}(z) + K(z, z_0) \times K^{-1}(z_0, z_0) \times [T'(z_0) - T_{cp}(z_0)], \quad (2)$$

где K – ковариационная матрица.

При реализации метода среднего профиля для всех профилей ансамбля всегда задавался средний профиль. При этом данные прямых измерений температуры у поверхности земли не использовались.

Реализация метода постоянного градиента заключалась в следующем. Для каждого профиля ансамбля начальное значение у земли соответствовало первому значению профиля аэрологического зондирования, т.е. предполагалось, что это данные прямого измерения температуры термометром. Все последующие значения температуры на высотах регулярной сетки определялись по следующей формуле

$$T(z) = T(z = 0) + \gamma \times z, \quad (3)$$

где γ – постоянный вертикальный градиент температуры ($-0,0066$ °C/м).

Для оценки точности методов восстановления температуры анализировалась разность восстановленного профиля и истинного. Для метода статистической экстраполяции рассчитывалась разность $T_{\text{э}}(z) - T(z)$, где $T_{\text{э}}(z)$ – восстановленный профиль, полученный с использованием ковариационной матрицы. Для метода среднего профиля оценивалась разность $T(z) - T_{\text{ср}}(z)$, где $T_{\text{ср}}(z)$ – усреднённый профиль по ансамблю. В методе постоянного градиента анализировалась разность $T(z) - T_{\text{const}}(z)$, где $T_{\text{const}}(z)$ строился на основе известной температуры у земли и принятого постоянного градиента.

Метод статистической экстраполяции продемонстрировал наилучшие результаты до высоты 3000 м по сравнению с методами постоянного градиента и среднего профиля. Вертикальные профили средней ошибки и стандартного отклонения для метода статистической экстраполяции ансамбля профилей температуры для станции Ростов-на-Дону (см. рис. 2) и станции Петрозаводск (см. рис. 3).

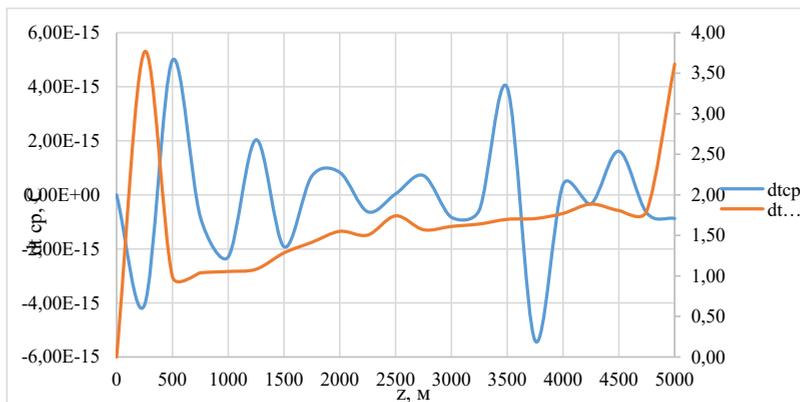


Рисунок 2 – Средняя ошибка и стандартное отклонение ошибки метода статистической экстраполяции (Ростов-на-Дону)

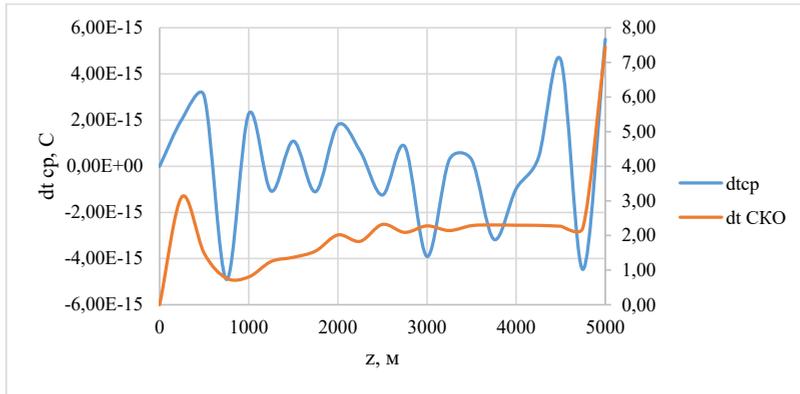


Рисунок 3 – Средняя ошибка и стандартное отклонение ошибки метода статистической экстраполяции (Петрозаводск)

Анализ представленной на этих рисунках кривых показывает, что средняя ошибка (dtcp) близка к нулю, что говорит об отсутствии систематического смещения. Вертикальный профиль СКО постепенно возрастает с высотой. Для станции Ростов-на-Дону на высоте 500 м оно равно 0.99°C, на 3000 м увеличивается до 1.74°C, на 5000 м достигает 3.61°C. Для станции Петрозаводск средняя ошибка так же оставалась близкой к нулю на малых высотах, но выше 3000 м демонстрировала значительные колебания. Вертикальный профиль стандартного отклонения до высот в 4000 м остается небольшим, но затем СКО возрастало, достигая 7–8°C на высотах более 4000 м.

Анализ результатов восстановления вертикального профиля температуры в двух городах – Петрозаводске и Ростове-на-Дону – показал, что эффективность методов существенно зависит от географического расположения, климатических условий и особенностей атмосферных процессов в каждом регионе.

- В Ростове-на-Дону ошибки были выше в приземном слое, но стабильны на больших высотах.
- В Петрозаводске восстановление температуры было точнее у поверхности, но значительно хуже на высотах выше 3000 м.
- Метод статистической экстраполяции оказался наилучшим в обоих городах, но его ошибки значительно увеличивались на больших высотах, прежде всего – в Петрозаводске.
- Метод среднего профиля показал наибольшие ошибки в Петрозаводске, особенно выше 3000 м.
- Метод постоянного градиента в Петрозаводске систематически занижал температуру, тогда как для Ростова-на-Дону использование этого метода дает меньшие ошибки.

Список литературы

1. Wyoming Weather Web [Электронный ресурс] – Доступно по: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (дата обращения: [23.01.2025]).
2. Кузнецов А.Д. Оптимальное восстановление профилей температуры и влажности в атмосфере по наземным данным и статистической информации // Проблемы физики атмосферы. – Изд. ЛГУ, 1974. – Вып. II. – С. 52–56.
3. Тарковский В.А. Прогнозирование состояния атмосферы на основе аэрологических данных // Труды ГГО. – 1991. – № 512. – С. 23–30.
4. Holton J.R. An Introduction to Dynamic Meteorology. – Academic Press, 2004. – 535 p.

**МОНИТОРИНГ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОЛЁТОВ ПО
СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ ПРИ УСТОЙЧИВОЙ СТРАТИФИКАЦИИ
ВОЗДУШНЫХ МАСС**

Расторгуев И.П., Денега И.З., Гончаров А.И.
Военно-воздушная академия, Воронеж
iprastor@yandex.ru

Аннотация. Представлена методика восстановления и определения тренда характеристик метеорологических условий полетов на основе аналоговых и цифровых данных специализированных космических аппаратов.

Ключевые слова. Метеорологические космические аппараты, аналоговые и цифровые спутниковые данные, метеорологические условия полётов, дальность видимости, высота нижней границы облачности.

**MONITORING OF METEOROLOGICAL FLIGHT CONDITIONS BASED ON
SATELLITE DATA WITH STABLE STRATIFICATION OF AIR MASSES**

Rastorguev I.P., Denega I.Z., Goncharov A.I.
Military Air Academy, Voronezh

Annotation. A method for restoring and determining the trend in the characteristics of meteorological flight conditions based on analog and digital data from specialized spacecraft is presented.

Keywords. Meteorological spacecraft, analog and digital satellite data, meteorological flight conditions, visibility range, height of the lower cloud boundary.

Тематика анализа и прогноза погоды по спутниковым данным достаточно широко отрабатывалась и освещалась в научных публикациях [1-7 и др.]. Особое внимание уделялось, прежде всего, сложным метеорологическим условиям в области циклонической циркуляции, в зоне атмосферных фронтов и процессам атмосферной конвекцией. Однако неблагоприятные условия погоды наблюдаются и при других синоптических ситуациях, в частности – при внутримассовой обстановке в условиях устойчивой стратификации. Механизмы возникновения густых дымок, туманов и низкой слоистой облачности связаны с задерживающими слоями в пограничном слое атмосферы при значительном увлажнении приземного воздуха. Вопросы применения спутниковых технологий для их диагноза и прогноза исследованы в меньшей степени [8, 9].

При метеорологическом обеспечении государственной авиации определяющее значение, помимо опасных явлений погоды, играют дальность видимости (ДВ) и высота нижней границы облачности (ВНГО). При дефиците исходной информации с регулярных метеорологических и аэрологических наблюдательных сетей одним из перспективных направлений является расширенное использование методов дешифрирования данных метеорологических космических аппаратов.

Для восполнения данных о фактических и ожидаемых в краткосрочной перспективе сложных метеорологических условиях по результатам исследования взаимосвязи характеристик изображения облачных систем на спутниковых снимках со значениями ВНГО и ДВ разработана методика восстановления и сверхкраткосрочного прогноза ограниченной видимости и низкой внутримассовой слоистообразной облачности.

В качестве исходных данных использовались приземные кольцевые карты погоды различных метеорологических центров и квазисинхронные цифровые и аналоговые снимки отечественных и зарубежных метеорологических полярно-орбитальных и геостационарных космических аппаратов, охватывающих территорию европейского

континента. Всего было рассмотрено более 1800 случаев с устойчиво стратифицированными влажными воздушными массами. В дальнейшем около трети случаев были исключены из анализа из-за неполноты данных или значительного (более одного часа) сдвига по времени между приземными и спутниковыми данными. Это характерно для полярно-орбитальных КА из-за большей дискретности наблюдений конкретного региона.

В дальнейшем из-за неоднородности данных дистанционного зондирования Земли, полученных из различных типов сканеров, разработка диагностических и прогностических правил проводилась дифференцированно по космическим аппаратам, работающих на различных ярусах. С геостационарных орбит данные поступают с большей частотой и для конкретной территории относятся к одному сканеру, что обусловило большую однородность и информативность спутниковых данных. Из-за ограничений объёма выборки по указанным причинам, задача исследования сводилась к разработке правил альтернативного прогноза на наличие тумана и (или) низкой облачности (менее 100 м), что в большинстве случаев применения государственной авиации не соответствует ограничениям для выполнения задания или этапа полёта («нелётная» погода).

На первом этапе использовались аналоговые снимки. В качестве инструмента обработки данных использовались обычные просмотрщики изображений с функцией регулировки яркости и контрастности (рисунок 1).

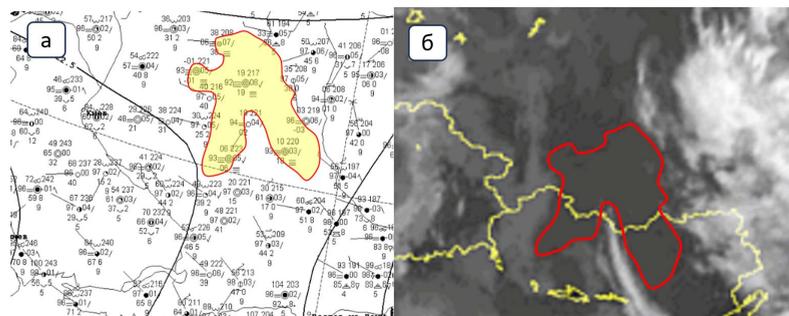


Рисунок 1 – Пример приземной карты погоды (а) и соответствующего спутникового снимка (б)

В представленном примере на приземной карте выделена область тумана. На спутниковом снимке в этом районе наблюдается аналогичная область, покрытая изображением матовой текстуры, по яркости едва отличимой от яркости фона (подстилающей поверхности). При этом на квазисинхронном нефоскопическом анализе данная область идентифицирована, как безоблачный участок (рисунок 2).

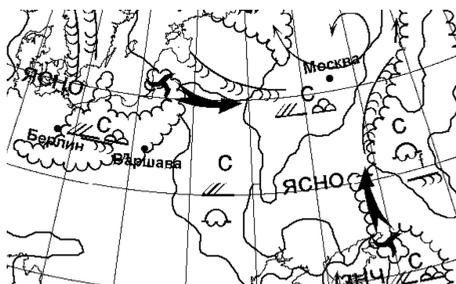


Рисунок 2 – Карта нефоскопического анализа

Один комплект аэросиноптического материала содержал кольцевые карты погоды за 5 сроков с трёхчасовым интервалом. Первый и второй срок – история; третий срок – исходный; четвёртый, пятый – прогностические сроки. Спутниковые снимки подбирались за квазисинхронные сроки – данные с геостационарных орбит отклонялись от сроков метеорологических наблюдений до 5-10 минут, с полярных орбит – до 50 минут.

На спутниковых снимках выделялись однородные участки, характерные по тону и текстуре для низкой слоистообразной облачности и туманов. Для этих участков с приземных карт снимались наименьшие значения дальности видимости и высоты облачности. Также фиксировались случаи, когда туманы и низкая облачность на картах наблюдалась, а визуально на соответствующих снимках в явном виде не определялась.

С помощью регулировок яркости и контрастности для исследуемых участков на спутниковом снимке выравнивался тон изображения с тоном подстилающей поверхности. Фиксировались значения отклонения полученных яркостей и контрастности от первоначальных. Далее устанавливались количественные характеристики изменений яркости и контрастности для классов с наличием и отсутствием туманов и (или) низкой облачности. Методом дискриминантного анализа построены дискриминантные функции для определения наличия - отсутствия исследуемых метеорологических условий.

Аналогичные процедуры выполнены для разработки прогностических правил. При этом в качестве предикторов дополнительно использовались изменения характеристик яркости и контрастности между сроками. Примеры диагностической и прогностических функций в общем виде:

$$L_{diag} = aI - bK - c, \tag{1}$$

$$L_{prog} = d\Delta I - q\Delta K - h, \tag{2}$$

где I - разница яркостей изображения облачности (тумана) и подстилающей поверхности,
 K – изменения контрастности при выравнивании видимого тона метеообъектов и фона,
 Δ - знак изменения характеристики между сроками,
 a, b, c, d, q, h – параметры уравнения.

Методика обработки цифровых изображений заключается в следующем. Выделяется фрагмент изображения с характерными признаками низкой облачности и туманов. С помощью специализированного программного обеспечения производится поликанальное построение спектров яркостных температур сканируемой поверхности и представляется в графическом и цифровом виде (рисунок 3).

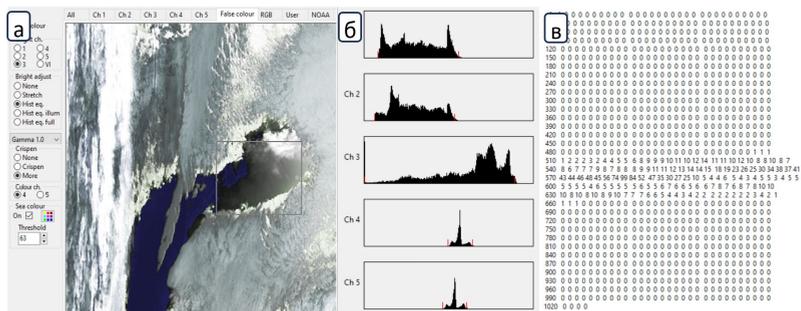


Рисунок 3 – Цифровое спутниковое изображение (а), графическое (б) и цифровое (в) представление распределения яркостной температуры на сканируемой поверхности

Ранее были установлены характерные изображения для различных форм (систем) облачности [10]. Графическое изображение яркостного спектра используется для подтверждения или отклонения гипотезы о наличии исследуемых метеорологических объектов. По цифровым данным рассчитывались характеристики спектра: значение градации яркостной температуры с максимальной повторяемостью, ширина всплесков в количестве градаций, их асимметрия и эксцесс, а также характеристики динамики изменения спектра между сроками наблюдений (для разработки прогностических правил). Далее для классов наличия и отсутствия исследуемых метеорологических объектов определялись критериальные значения рассчитанных характеристик спектров яркостных температур. Методом эталонов определялись диагностические и прогностические формулировки.

Результаты проверки представленной методики на независимом материале представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели успешности методики диагноза и сверхкраткосрочного прогноза наличия неблагоприятных метеорологических условий полетов по спутниковым данным при внутримассовой остановке и устойчивой стратификации температуры воздуха в пограничном слое тропосферы

Показатели	Общая оправдываемость	Оправдываемость на наличие	Оправдываемость на отсутствие	Критерий Багрова	Критерий Обухова
Диагноз и сверхкраткосрочный прогноз низкой облачности и туманов по аналоговым спутниковым данным					
Диагноз	0,780	0,844	0,727	0,563	0,572
Прогноз на 3 часа	0,740	0,778	0,709	0,481	0,487
Прогноз на 6 часов	0,710	0,756	0,673	0,422	0,428
Диагноз и сверхкраткосрочный прогноз низкой облачности и туманов по цифровым спутниковым данным					
Диагноз	0,820	0,867	0,782	0,641	0,648
Прогноз на 3 часа	0,790	0,825	0,767	0,575	0,592
Прогноз на 6 часов	0,700	0,725	0,683	0,395	0,408

Полученные значения показателей успешности разработанной методики позволяют сделать вывод об адекватности используемых моделей взаимосвязи характеристик спутниковых изображений облачности с метеорологическими условиями полетов в условиях внутримассовой остановке и устойчивой стратификации температуры воздуха в пограничном слое тропосферы. Также можно сделать вывод о возможности использования результатов исследования в практической деятельности ведомственных метеорологических подразделений в условиях ограничений или полного отсутствия исходной метеорологической и аэрологической информации.

Список литературы

1. Акимов Л. М., Расторгуев И. П., Неижмак А. Н. Диагноз и прогноз циклогенеза по данным спутникового зондирования атмосферы // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2020. № 2 (376). С. 60–78.

2. Бухаров М. В., Бухаров В. М. Анализ быстро растущей мезомасштабной системы глубокой конвекции по картам спутникового диагноза // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2020. № 2 (376). С. 23–38.
3. Волкова Е.В., Кухарский А.В. Автоматизированная технология диагноза параметров облачного покрова, осадков и опасных явлений погоды для Европейской территории России по данным радиометра SEVIRI с геостационарных метеоспутников серии Meteosat MSG // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2020. № 4 (378). С. 43–62. Doi 10.37162/2618-9631-2020-4-43-62.
4. Готюр И.А., Мешков А.Н., Рудь М.Ю., Яременко И.А. Метод поиска очагов кучево-дождевой облачности по данным космических аппаратов гидрометеорологического назначения с применением технологий искусственных нейронных сетей. Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. 2020. № S674. С. 146–151.
5. Космический мониторинг опасных природных явлений на территории России / В. В. Асмус, Г. М. Иоффе, Л. С. Крамарева, В. А. Кровотынцев, О. Е. Милехин, И.А. Соловьева // Метеорология и гидрология. 2019. № 11. С. 20–32.
6. Шакина Н.П., Горлач И.А., Скриптунова Е.Н. Использование спутниковых данных о конвективной облачности для анализа летных происшествий и их предупреждения. Метеорология и гидрология. 2021. № 12. С. 94–101.
7. Berndt E., Molthan A., Vaughan W., Fuell K. Transforming satellite data into weather forecasts. Geophys. 2017. 98. <https://doi.org/10.1029/2017EO064449>.
8. Ellrod G. P., Gultepe I. Inferring low cloud base heights at night for aviation using satellite infrared and surface temperature data. Pure and Applied Geophysics. 2007, 164, 1193–1205.
9. Gultepe I., Pagowski M., Reid J. Using surface data to validate a satellite based fog detection scheme. Weather and Forecasting. 2007. 22, 444–456.
10. Рассторгуев И.П., Сурков Д.А., Качмар М.Б., Божко А.С. Распознавание облачных систем на основе цифровой спутниковой информации. В сборнике: Комплексные проблемы техносферной безопасности. Материалы Международной научно-практической конференции. 2017. С. 118–123.

ПЕРСПЕКТИВЫ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ В ОБЛАСТИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ТЕПЛЫХ ВОЛНИСТООБРАЗНЫХ ОБЛАКОВ И ТУМАНОВ

Доронин А.П., Козлова Н.А., Петроченко В.М.

¹Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, г.Санкт-Петербург
cozlowa.nat2012@yandex.ru

Аннотация. Сформулированы основные перспективы и направления дальнейших исследований в области модифицирования теплых волнистообразных облаков и туманов, которые, по мнению авторов, могут способствовать активизации работ в данной предметной области при решении широкого круга хозяйственных и экологических задач.

Ключевые слова. Модифицирование, теплые волнистообразные облака и туманы, перспектива исследований, хозяйственные и экологические задачи

PROSPECTS AND MAIN AREAS OF WORK IN THE FIELD OF MODIFICATION OF WARM WAVE-SHAPED CLOUDS AND FOGS

Doronin A.P., Kozlova N.A., Petrochenko V.M.

A.F. Mozhaisky Military Space Academy, St. Petersburg

Abstract. The main prospects and areas of further research in the field of modification of warm wave-shaped clouds and fogs are formulated, which, in the authors' opinion, can contribute to the activation of work in this subject area in solving a wide range of economic and environmental problems.

Keywords. Modification, warm wave-shaped clouds and fogs, research prospects, economic and environmental problems

Анализ работ по проблеме модифицирования теплых волнистообразных облаков и туманов (ТВОТ) показывает, что к настоящему времени предложено значительное количество способов и методов их рассеяния, а также разработан ряд конкретных технических средств для реализации некоторых из них [1-6]. Активизация исследований и разработок в данной предметной области обуславливает необходимость по определению их перспектив и направлений дальнейших исследований.

В общем виде они могут быть сформулированы следующим образом:

- разработка концептуально-методологических основ построения эндо-тезауруса в области модифицирования ТВОТ;

- обоснование потребностей различных хозяйственных отраслей, министерств и ведомств в применении методов и средств модифицирования ТВОТ;

- объективный прогноз и сравнительный анализ развития работ в области модифицирования ТВОТ в нашей стране и за рубежом;

- обоснование тактико-технических требований к химическим реагентам и средствам их доставки и диспергирования для модифицирования ТВОТ;

- теоретическое и экспериментальное обоснование критериев модифицирования ТВОТ;

- экологическое обоснование последствий применения методов и средств модифицирования ТВОТ;

- экономическое обоснование применения методов и средств модифицирования на ТВОТ;

- оценивание пригодности ТВОТ для модифицирования в различных ФГР России;

- разработка методов и методик оценивания эффективности модифицирования ТВОТ;

- прогнозирование величины ожидаемого эффекта при воздействии на ТВОТ как в нашей стране, так и на территории сопредельных государств;

- оценивание возможностей использования штатных и перспективных средств различных министерств и ведомств для модифицирования ТВОТ;

- модернизация существующих и создание новых самолетов-лабораторий, предназначенных для изучения ТВОБЛ и их модифицирования;

- создание комплекса самолетных средств модифицирования, позволяющего в автоматическом режиме с требуемой точностью вносить порции химических реагентов в заданную часть ТВОБЛ с самолетов и беспилотных летательных аппаратов;

- разработка автоматизированного комплекса, включающего систему измерения текущих параметров облака и атмосферы, бортовую вычислительную систему и технические средства для диспергирования реагентов;

- усовершенствование существующих и разработка новых комбинированных методов модифицирования ТВОТ;

- оценивание возможностей использования достижений современной науки и техники для решения задач модифицирования ТВОТ;

- оценивание возможностей использования авиационных и космических средств для оперативного определения пригодности ТВОТ к модифицированию с определенной целью;
- разработка новых методов и средств контроля за результатами воздействий на ТВОТ;
- разработка оптимальных способов внесения химических реагентов в ТВОТ;
- создание универсальных химических веществ, сочетающих в себе свойства кристаллизующих и гигроскопических реагентов;
- разработка диспергирующих устройств, позволяющих использовать различные типы реагентов;
- выбор типа летательного аппарата, применение которого позволяет получить оптимальные результаты модифицирования ТВОТ;
- выбор гигроскопического реагента, позволяющего получить оптимальные результаты при модифицировании ТВОТ;
- создание атласа облаков (включая и теплых), пригодных для модифицирования над территорией РФ;
- картографирование и хранение климатической информации о повторяемости ТВОТ в различных физико-географических районах России;
- проведение натурных экспериментов по рассеянию ТВОТ, накопление и обработка полученных данных;
- формирование базы данных и накопление знаний по проблеме модифицирования ТВОТ;
- разработка практических рекомендаций по использованию методов и средств модифицирования ТВОТ в оперативной практике для различных министерств и ведомств;
- разработка руководящих документов, наставлений, руководств, методик по проведению модифицирования ТВОТ в целях ГМО деятельности различных министерств и ведомств;
- организация подготовки специалистов по вопросам модифицирования атмосферных процессов и явлений в высших учебных заведениях РФ;
- широкое использование при решении задач модифицирования ТВОТ вычислительных средств, современного программного обеспечения, включая искусственный интеллект.

Таким образом, определенные выше направления дальнейших исследований, по мнению авторов, могут оказаться полезными при определении перспектив создания методов и средств модифицирования ТВОТ. Они могут также способствовать активизации работ в области модифицирования атмосферных процессов и явлений в нашей стране с целью ликвидации наметившегося отставания в этой области от зарубежных государств, прежде всего США. Проведение исследований в перечисленных выше направлениях, несомненно, требует привлечение значительных материальных ресурсов. Только в этом случае реально получение положительных результатов при использовании методов и средств модифицирования атмосферных процессов и явлений в интересах различных министерств и ведомств нашей страны.

Список литературы

1. Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы. – Л.: Гидрометиздат, 1990. – 463 с.

2. Колосков Б.П., Корнеев В.П., Щукин Г.Г. Методы и средства модификации облаков, осадков и туманов. – СПб.: РГГМУ, 2012. – 342 с.
3. Корнеев В.П., Щукин Г.Г., Ким Н.С., Колосков Б.П., Несмеянов П.А., Сергеев Б.Н., Петрунин А.М., Бычков А.А., Частухин А.В. Искусственное регулирование атмосферных осадков и рассеяние туманов. – Москва: Грин Принт, 2019. – 295 с.
4. Доронин А.П., Петроченко В.М., Козлова Н.А. Методы и средства рассеяния теплых туманов и слоистообразной облачности в интересах гидрометеорологического обеспечения деятельности военно-морского флота России. - Записки по гидрографии, 2017. - № 301. - С. 68-75.
5. Доронин А.П., Козлова Н.А., Новиков Н.С., Петроченко В.М. Классификация способов рассеяния теплых туманов и волнистообразных облаков нижнего яруса в интересах решения прикладных задач // В сборнике: «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды». Материалы VI Всероссийской научной конференции. - Санкт-Петербург, 2020. - С. 110-116.
6. Доронин А.П., Козлова Н.А., Петроченко В.М., Новиков Н.С., Межнина И.Р. Методы и средства модифицирования теплых туманов и волнистообразных облаков нижнего яруса в интересах решения экологических и хозяйственных задач // В сборнике: Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник трудов XII Санкт-Петербургской межрегиональной конференции. - Санкт-Петербург, 2021. - С. 256-261.

АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ ЗОН НОВОГО РОСТА ГРАДОВЫХ ОБЛАКОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПРОТИВОГРАДОВОЙ ЗАЩИТЫ

Абшаев М.Т.¹, Абшаев А.М.¹, Геккиева Ж.М.², Синькевич А.А.³, Михайловский Ю.П.³

¹ Научно-Производственный Центр «Антиград», г. Нальчик

² ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик

³ Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, г. Санкт-Петербург

abshaev.ali@mail.ru

Аннотация. Современная российская ракетная технология предотвращения града и сокращения продолжительности жизни градовых штормов основана на засеве областей их нового роста, за счет которых градовое облако систематически подпитывается насыщенными влагой конвективными потоками и периодически обновляется за счет развития фидерных облаков. Без точного и своевременного выделения этих областей нового роста эффективное предотвращение града невозможно. Рассмотрен новый алгоритм выделения зон нового роста мощных градовых облаков. Основой алгоритма является выделение прироста в холодной части облака радиоэха или вертикально-интегрированной водности. Программная реализация этого алгоритма показывает возможность адекватного выделения областей нового роста, обычно расположенного на наветренном фланге нависающей части радиоэха. Этот метод позволяет нам завершить полную автоматизацию противорадовых операций, в которых выделение области засева оставалось единственной операцией, требующей участия оператора.

Ключевые слова. Градовое облако, области нового роста, восходящий поток, фидерные облака, алгоритм, радиоэхо, предотвращение града

ALGORITHM FOR IDENTIFYING ZONES OF NEW GROWTH OF HAIL CLOUDS OF INCREASED POWER

Abshaev M.T.¹, Abshaev A.M.¹, Gekkieva Zh.M.², Sinkevich A.A.³, Mikhailovsky Yu.P.³

¹ – Hail Suppression Research Center “Antigrad”, Nalchik, Russia,

² – Federal State Budgetary Institution “High Mountain Geophysical Institute”, Nalchik

³ – Main Geophysical Observatory named after A.I. Voeikov, St. Petersburg

Abstract. Modern Russian automated hail suppression rocket technology and reducing the lifetime of hail storms is based on seeding of new growth zones, due to which the hailstorm is systematically fed by moisture-rich convective flows and periodically renewed by the development of feeder clouds. Without accurate and timely delineation of these areas of new growth, effective hail prevention is impossible. A new algorithm for selecting areas of new growth of powerful hail clouds is considered. The main algorithm is the allocation of growth in the cold part of the cloud radar echo or vertically integrated water content. The program realization of this algorithm shows the possibility of adequate extraction of new growth zones, usually located on the windward flank of the overhanging part of the radio echo. This method allows us to complete the full automation of anti-hail operations, in which the selection of the seeding area remained the only operation requiring of the operator.

Keywords. Hail storms, new growth zones, updraft, feeder clouds algorithm, radar echo, hail suppression

Funding: The research was supported by the Russian Science Foundation (grant no. 25-27-00219).

1. Физической основой современного метода предотвращения града является концепция ускорения осадкообразования в областях нового роста градовых и градоопасных облаков, где формируются условия для зарождения града (Абшаев, 1990; Абшаев и Дадали, 1970). Стимулирование более раннего и быстрого осадкообразования в областях нового роста, являющихся областями будущего градообразования, приводит к нарушению баланса скоростей, необходимого для длительного зависания зародышей града в зоне роста. Области будущего градообразования являются переохлажденные части областей нового роста, где после длительной (15-20 мин) стадии, охватывающей период зарождения кучевого облака типа Cu Nu, его роста до Cu Cong и перехода в стадию Сб, когда происходит конденсационный рост облачных частиц, накопление облачной влаги (почти до адиабатической 2-3 г/м³), формирование достаточно мощных восходящих потоков (до 5-8 м/с), начинается коагуляционный рост облачных частиц и зарождается обнаружимое радиоэхо. После этого процесс формирования условий для зарождения града, появление зародышей града и их роста происходит с нарастающей скоростью. При этом стадия формирования условий для зарождения града, когда следует проводить воздействие с целью предотвращения града, является весьма кратковременной. Время зарождения и роста града до размера 1,0-1,5 см после появления первого радиоэха обычно составляет 8-10 минут, а, зачастую, не превышает 5-6 минут. Поэтому успешное предотвращение образования и выпадения града требует высокой оперативности выделения и засева объема будущего градообразования в областях нового роста.

Согласно изложенному задача выделения области засева сводится к задаче выделения областей нового роста, которая по сути является задачей распознавания образов и анализа сцен (Дуда и Харт, 1976).

2. Области нового роста градовых и градоопасных облаков, как правило, расположены на наветренном фланге, где происходит систематическое зарождение и развитие облачных башен и, так называемых фидерных облаков, которые подпитывают основное (материнское) облако. По мере развития фидерных облаков зарождается их первое радиоэхо. В зрелых градовых облаках радиоэхо областей нового роста зарождается на высоте 4-8 км над областью слабого радиоэха (BWER или WER), соответствующих области восходящих потоков, а первое радиоэхо вновь развивающихся потенциально-градоопасных конвективных ячеек (КЯ), как показывает практика, зарождается в области максимума радиоэха выше уровня изотеры 0 °С.

3. Алгоритмы выделения зоны нового роста градового облака или зоны засева

Мы рассмотрели три варианта алгоритма:

Вариант А:

- В каждом обзоре формируется карта максимальной отражаемости $Z\uparrow_{max}$ в слое от H_0+1 до H_0+5 км и карта максимальной отражаемости $Z\downarrow_{max}$ в слое ниже H_0+1 ;
- В каждом обзоре из карты $Z\uparrow_{max}$ вычитается карта $Z\downarrow_{max}$ для выделения навеса радиоэха и получения карты Z_{max} навеса;
- Из карты Z_{max} навеса в последнем обзоре вычитается карта Z_{max} навеса в предыдущем обзоре, сдвинутая по направлению перемещения радиоэха на расстояние $R = V_c \times \Delta t$, где V_c – скорость перемещения радиоэха; Δt – продолжительность цикла обзора.

Вариант Б:

- Из последнего трехмерного файла обзора вычитается предыдущий трехмерный файл обзора, сдвинутый по направлению перемещения радиоэха на расстояние $R = V_c \times \Delta t$, где V_c – скорость перемещения радиоэха; Δt – продолжительность цикла обзора;
- Формируется двухуровневое сечение остатков радиоэха $Z\uparrow_{max}$ в слое от H_0+1 до H_0+5 км и карта $Z\downarrow_{max}$ в слое ниже H_0+1 ;
- Из карты $Z\uparrow_{max}$ вычитается карты $Z\downarrow_{max}$;

Вариант С (упрощенный):

- В каждом обзоре формируется карта $Z\uparrow_{max}$ в слое от H_0+1 до H_0+5 км.
- Из карты $Z\uparrow_{max}$ в последнем обзоре вычитается карта $Z\uparrow_{max}$ в предыдущем обзоре, сдвинутая по направлению перемещения радиоэха на расстояние $R = V_c \times \Delta t$, где V_c – скорость ведущего потока; Δt – продолжительность цикла обзора.
- Из оставшегося поля радиоэха вычесть карту $Z\uparrow_{max}$ со значениями $Z > 30$ dBZ.
- Ввести упреждение на скорость перемещения КЯ и выработать команду на тотальный засев оставшегося поля радиоэха на высоте -6 ± 3 °C.

4. Результаты тестирования

В данном анализе был реализован Вариант А. В составе программного обеспечения обработки радиолокационной информации «АСУ-МРЛ» [6] была разработана специальная карта выделения зоны нового роста градовых облаков, которая используется для засева данного облака.

Некоторые результаты тестирования данной карты показаны на рис. 1 и 2.

5. Выводы. Анализ карт на рис. 1 и 2 показывает, что карта нового роста градового облака в обоих случаях отобразила местоположение зону навеса радиоэха, которая всегда связана с зоной восходящего потока, находящейся обычно справа с наветренной стороны в северном полушарии и слева в южном полушарии. Причем на этих рисунках, видно, что навес находился в первом случае справа от ведущего потока, а во втором случае - слева несмотря на то, что оба случая взяты в северном полушарии.

Карта вертикального сечения в обоих случаях подтверждает истинность направления зоны нового роста, выделенную окружностью красного цвета.

Таким образом, можно считать, что разработанный алгоритм работоспособен, но требует дальнейшей проверки и доработки. В частности, пока неясно, как покажет себя алгоритм для глубоких слоистых облаков верхнего уровня, для которых в теплом слое радиолокационная отражаемость близка к нулевой, в то время как в холодном слое она может превышать значения в 10 – 20 dBZ, и очевидно, что это может привести к ложному результату. Выходом в этом случае может быть слежение за вертикально приведенной водности облака, которая для конвективных слоевкратно превышает водность слоистых облаков.

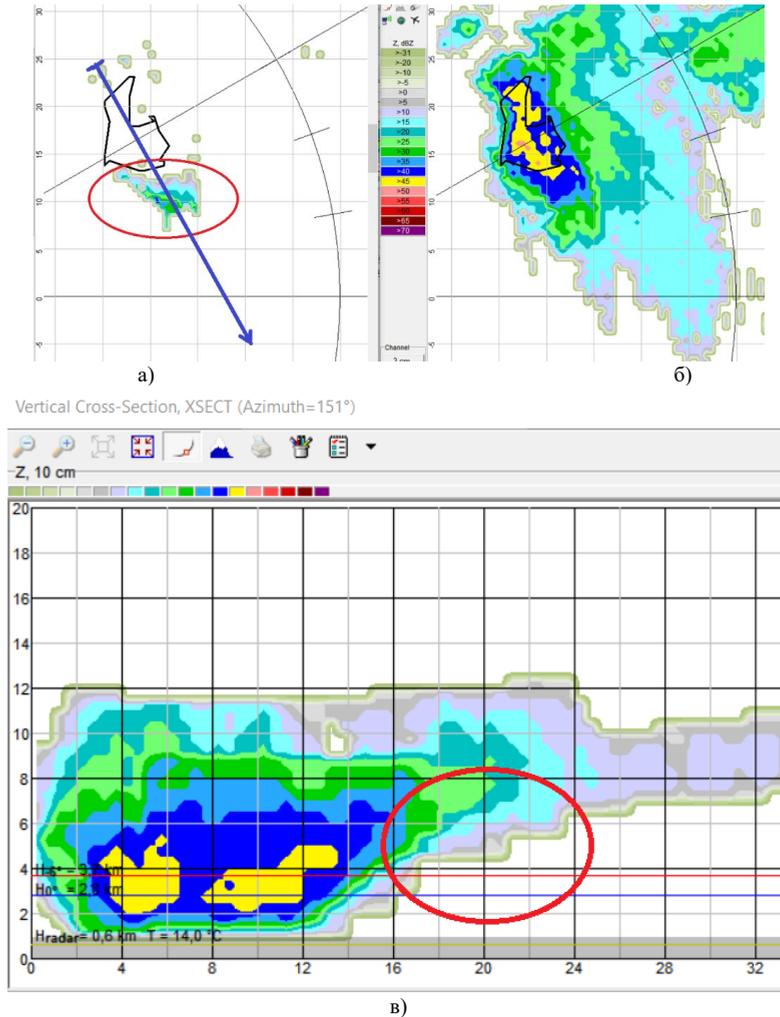


Рисунок 1 – Пример выделения области нового роста градового облака, где (а) – карта области нового роста в градациях радиолокационной отражаемости; (б) – карта двухуровневого сечения холодного и теплого слоев; (в) – вертикальное сечение облака. Здесь черный изоконтур – зона осадков у земли; цветные пиксели – радиолокационная отражаемость; синяя стрелка на (а) – направление вертикального сечения (в); красные окружности – выделенная зона нового роста. По данным Таджикиской противоградовой службы.

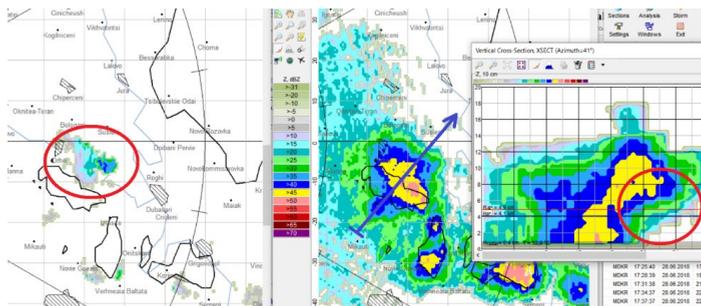


Рисунок 2 – Пример выделения области нового роста градового облака, слева – карта области нового роста в градах радиолокационной отражаемости; в центре – карта двухуровневого сечения холодного и теплого слоев; справа – вертикальное сечение облака. По данным Молдавской противорадовой службы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (Грант № 25-27-00219)

Список литературы

1. Абшаев М.Т. Новый метод воздействия на градовые процессы // Тр. Всесоюзной конф. по АВ на гидрометеорологические процессы. –Л.: Гидрометеиздат, 1990. – С. 118-126.
2. Абшаев М.Т., Дадали Ю. А. Локализация градовых очагов в кучево - дождевых облаках. // Метеорология и гидрология. – 1970, № 9. – С. 28-36.
3. Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Жарашуев М.В. Автоматизированная система управления противорадовыми операциями «АСУ-МРЛ» // Тезисы научно-практической конференции посвященной 40-летию начала производственных работ по защите сельхозкультур от градобитий. – Нальчик, 2007. – С.72-76.
4. Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Баркова М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противорадовых работ. – Нальчик, Печатный Двор, 2014. – 506 с.
5. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. Пер. с англ. Под редакцией В.Л. Стефанюка. – М.: Изд-во «Мир», 1976. – 512 с.
6. Абшаев, М.Т. Автоматизированная радиолокационная идентификация, измерение параметров и классификация конвективных ячеек для целей защиты от града и штормооповещения / М.Т. Абшаев, А.М. Абшаев, А.М. Малкарова, М.В. Жарашуев // Метеорология и Гидрология. - 2010.– №3.– С.36-45.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ АТМОСФЕРНОГО ОЗОНА ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Федосеева Н.В.¹, Базарнова Е.П.²

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

²НИЦ «Планета», Москва

alengkakuvava1508@mail.ru

Аннотация. В статье показана изменчивость общего содержания атмосферного озона (ОСО) с использованием методов дистанционного зондирования Земли, проанализированы факторы, влияющие на изменения ОСО в различных широтных зонах.

Ключевые слова. Общее содержание озона, спутниковые методы исследования, межгодовая и внутригодовая изменчивость общего содержания озона, арктические широты.

THE INVESTIGATION OF VARIABILITY OF THE TOTAL ATMOSPHERIC OZONE CONCENTRATION BASED ON SATELLITE DATA

Fedoseeva N.V.¹, Bazarnova E.P.²

¹Russian State Hydrometeorological University (RSHU), Saint Petersburg

²«SRC «Planeta», Moscow

Annotation. The article shows the variability of the total atmospheric ozone (TCO) content using remote sensing methods of the Earth, analyzes the factors influencing changes in TCO in various latitudinal zones.

Keywords. Total ozone column, satellite research methods, interannual and intraannual variability of total ozone column, Arctic latitudes

Современные спутниковые технологии позволяют проводить высокоточные наблюдения за состоянием озонового слоя в глобальном масштабе. Данные дистанционного зондирования Земли дают уникальные возможности для мониторинга изменчивости ОСО на разных широтах ежедневно.

Изменения содержания атмосферного озона могут привести к значительным экологическим и климатическим последствиям, например, таким как повышение уровня ультрафиолетового излучения на поверхности Земли, что может оказывать негативное воздействие на здоровье человека, флору и фауну.

Измерять ОСО можно как при помощи наземных приборов – например, спектрофотометры Добсона и Брюэра, так и методами дистанционного зондирования Земли. Именно он является приоритетным в современных исследованиях. К части спутников, позволяющих проводить исследования озона можно отнести как отечественные космические аппараты Метеор-М №2, прибор ИКФС-2, КА Электро-Л №1,2,3,4, прибор МСУ-ГС, КА Арктика-М №1,2, прибор МСУ-ГС/ВЭ, так и зарубежные КА AURA, прибор OMI, КА METOP, прибор GOME-2 КА Sentinel-5P, прибор TROPOMI, КА Meteosat-11, прибор SEVIRI.

Основное преимущество спутниковых измерений, выполняемых с бортов космических аппаратов на околоземной орбите, заключается в возможности составления глобальных карт распределения озона. Мониторинг проводится ежедневно: данные ОСО посредством специально разработанных программ обрабатываются, собираются в архивы и визуализируются в виде карт глобального распределения.

В работе была рассмотрена внутригодовая изменчивость ОСО по широтам (рисунок 1а). Анализ данных показал, что в северном полушарии в полярных и умеренных зонах максимальные значения концентраций озона наблюдаются boreальной весной, а минимальные концентрации-boreальной осенью. В тропической зоне северного полушария максимум концентрации озона приходится на весенне-летний период. В южном полушарии в тропической и умеренной зоне максимальные уровни озона наблюдаются астральной весной. Исключение представляет из себя полярная зона южного полушария, где астральной весной формируется озоновая дыра. Анализ внутригодового хода глобально осредненных значений озона показал, что максимальный вклад во внутригодовую изменчивость озона вносят умеренные и полярные широты северного полушария. Построенная гистограмма среднеквадратических отклонений (рисунок 1б) показала, что наибольшая изменчивость среди всех широтных поясов прослеживается в Арктических широтах, так как озоновый слой в арктическом регионе наиболее подвержен сезонным колебаниям, что связано с полярным вихрем и колебаниями температуры стратосферы. Средние широты северного полушария подвержены влиянию как полярных, так и средних широтных процессов, включая перенос озона и динамические изменения в атмосфере, ввиду этого

изменчивость меньше, чем в полярных широтах – 26. Умеренная изменчивость прослеживается в средних широтах южного полушария и Антарктических широтах – 22,2 и 23,7 соответственно. Средняя изменчивость прослеживается в субтропических широтах северного и южного полушарий – 12 и 9 соответственно. Тропические регионы демонстрируют наименьшую изменчивость, так как озон здесь относительно стабилен благодаря интенсивному солнечному излучению и постоянной фотохимической активности. И низкая изменчивость отмечается в экваториальных широтах – 6,8, что обусловлено постоянным солнечным освещением и интенсивными фотохимическими реакциями.



Рисунок 1а, б – Внутригодовой ход общего содержания озона, гистограмма среднеквадратических отклонений по широтам

Проанализировано влияние температуры поверхности океана на концентрацию общего содержания озона по 7 широтным зонам. За основу был взят индекс ONI и рассчитаны скользящие средние за 3 месяца данные ОСО.

В экваториальных широтах отсутствуют ярко выраженные сезонные пики и минимумы ОСО (рисунок 1а), в отличие от средних и полярных широт. В периоды экстремальных значений Эль-Ниньо наблюдается тенденция к снижению содержания озона, что связано с изменением атмосферной циркуляции и усилением вертикального переноса озона. Когда же наступали периоды ЛаНинья, наоборот, наблюдается небольшое повышение содержания озона (рисунок 4).

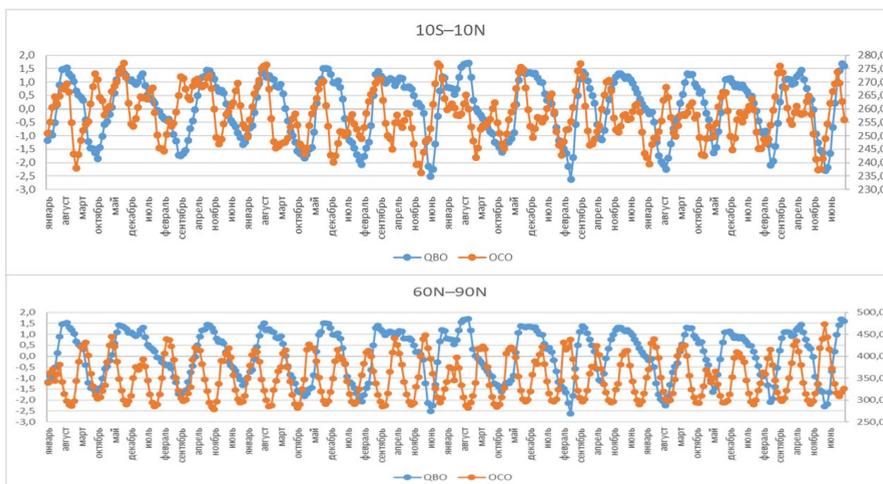


Рисунок 2 – Анализ влияния Эль-Ниньо – Ла-Нинья на общее содержание озона, гистограмма коэффициентов корреляции между ОСО и ЭНЮК

В Арктических широтах корреляция (-0,003) практически равна нулю, что указывает на отсутствие зависимости между ОСО и ЭНЮК. В средних широтах северного полушария прослеживается слабая положительная корреляция (0,070). По данным графика (рисунок 2б) при увеличении значений индекса ЭНЮК наблюдается небольшое увеличение содержания озона. В субтропических широтах северного полушария наблюдается очень слабая положительная корреляция (0,013), что говорит нам о практически незначимом взаимодействии. В экваториальных широтах самое высокое значение корреляции (при этом отрицательное) (-0,159). Данная величина указывает на значительное влияние фаз ЭНЮК, и процессов, которые при них возникают в этих широтах. Заметно, что при положительном значении индекса ЭНЮК, наблюдается уменьшение содержания озона. В субтропических широтах южного полушария самое высокое положительное значение корреляции (0,091) что указывает на явное влияние ЭНЮК на общее содержание озона в этих широтах. В средних широтах южного полушария прослеживается слабая положительная корреляция (0,058), и в сравнении со средними широтами северного полушария, в южных влияние ЭНЮК сильнее. В арктических широтах южного полушария наблюдается умеренно отрицательная корреляция (-0,096). Значения корреляции здесь меньше, чем в экваториальной зоне, но намного больше, чем в арктических широтах северного полушария.

Для анализа влияния квазидвухлетних колебаний на общее содержание озона были взяты среднемесячные данные общего содержания озона и среднемесячные значения индекса квазидвухлетних колебаний – QVO.

В экваториальной зоне наблюдается явная корреляция между QVO и ОСО: при положительных фазах QVO (восточные ветры) часто наблюдается увеличение содержания озона, особенно в весенние месяцы, а в отрицательных фазах QVO (западные ветры) уровень озона может снижаться, но эта зависимость не всегда строгая (рисунок 3а).



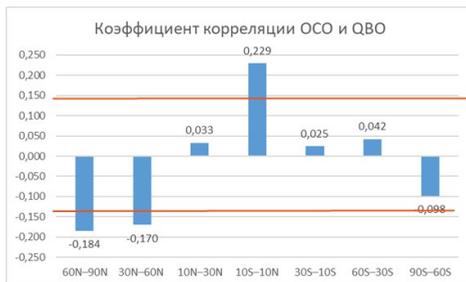


Рисунок 3 – Анализ влияния Квазидвухлетних колебаний на общее содержание озона, гистограмма коэффициента корреляции между ОСО и QBO

Самая хорошая корреляция наблюдается в экваториальной зоне (0,229), что говорит нам о прочной взаимосвязи между квазидвухлетними колебаниями и общим содержанием озона. В арктических и средних широтах северного полушария наблюдается противоположная корреляция (противофаза), что говорит нам о влиянии наоборот (-0,184 и -0,170 соответственно) (рисунок 3 б, в). Чуть менее корреляция получилась в антарктической зоне (-0,098) И самые небольшие, но положительные значения корреляции наблюдаются в субтропических широтах северного и южного полушарий, и в средних широтах южного полушария. Это означает, что влияние квазидвухлетнего цикла на эти районы есть, и оно стабильно. Согласно таблице критических значений коэффициентов корреляции Пирсона, статистически значимая корреляция прослеживается в экваториальной зоне, а также в умеренных и полярных широтах северного полушария.

Для анализа влияния арктической осцилляции в работе применялся индекс АО и среднемесячные данные ОСО (рисунок 4 а, б). Были также рассчитаны коэффициенты корреляции между ними (рисунок 4 в). В арктических широтах на уровень озона, разрушение или сохранение озонового слоя оказывает влияние циркуляция атмосферы, в частности полярные вихри.

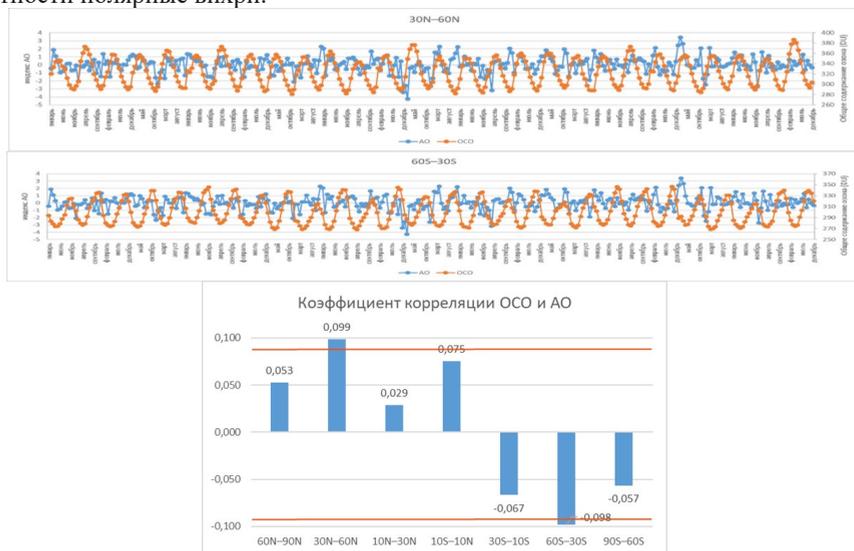


Рисунок 4 – Анализ влияния Арктической осцилляции на общее содержание озона, гистограмма коэффициента корреляции между ОСО и АО

Положительная корреляция (0,053) наблюдается в Арктических широтах северного полушария, что указывает на прямое влияние полярных вихрей на уровень озона, при этом влияние не является максимальным.

Наибольший положительный коэффициент корреляции (0,099) наблюдается в средних широтах северного полушария, что указывает на умеренно сильную положительную взаимосвязь между АО и содержанием озона, где полярный вихрь оказывает значительное влияние на распределение озона из-за динамики струйных течений и переносов воздуха.

Все еще положительное значение корреляции в субтропиках северного полушария (0,029), но ОСО здесь в меньшей степени зависит от колебаний АО.

В экваториальных широтах, несмотря на положительный коэффициент корреляции (0,075), на распределение озона влияют другие факторы, как например явление ЭНЮК.

В субтропиках южного полушария наблюдается отрицательная корреляция (-0,067), но на распределения озона АО здесь не влияет.

В средних широтах южного полушария наблюдается самая сильная отрицательная корреляция (-0.098), что указывает на значительное влияние АО на процессы разрушения озон, и что в этих широтах хорошо выражена обратная зависимость между ОСО и АО.

В Арктических широтах значение корреляции чуть ниже, ем в средних (-0.057), но влияние АО здесь также присутствует в полной мере.

В ходе проведенных исследований, посвящённой изменчивости общего содержания озона (ОСО) на основе спутниковых данных, были проанализированы современные методы дистанционного зондирования атмосферы и рассмотрены данные, полученные с различных космических аппаратов, таких как AURA, TROPOMI, METOP, Метеор-М и Электро-Л. Использование информации, позволило оценить пространственно-временные изменения ОСО, выявить ключевые закономерности и тенденции его распределения. Проведённый анализ показал, что спутниковый мониторинг предоставляет высокоточные и оперативные данные, которые позволяют отслеживать как глобальные, так и региональные изменения озонового слоя. Были выявлены сезонные и межгодовые колебания ОСО, а также проанализировано влияние различных атмосферных процессов, таких как ЭльНиньо –Южное Колебание, квазидвухлетняя цикличность и стратосферные полярные вихри, на концентрацию общего содержания озона. Полученные результаты подчёркивают важность мониторинга состояния озонового слоя для оценки последствий антропогенного воздействия и глобальных климатических изменений. Дальнейшее развитие спутниковых технологий и совершенствование методов обработки данных будут способствовать более точному анализу изменений в озоновом слое и помогут в разработке эффективных мер по его защите.

ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВОЙ СЪЁМКИ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ

Кутузова А.Э., Федосеева Н.В.

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

Аннотация. В исследовании рассматриваются возможности применения спутниковых технологий для оперативного выявления природных пожаров и оценки их последствий. Анализ спутниковых данных MODIS/Aqua, Terra и MOD14 за 2019–2023 годы позволил определить

параметры возгораний в Якутии, что способствует повышению эффективности мониторинга и реагирования на природные пожары.

Ключевые слова. Природные пожары, спутниковая съемка MODIS/Aqua, Terra.

APPLICATION OF SATELLITE IMAGERY FOR THE DETECTION OF WILDFIRES

Kutuzova A.E., Fedoseeva N.V.

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

Abstract. This study explores the potential of satellite technologies for the rapid detection of wildfires and the assessment of their impact. The analysis of MODIS/Aqua, Terra, and MOD14 satellite data from 2019 to 2023 enabled the identification of fire parameters in Yakutia, contributing to improved wildfire monitoring and response efficiency.

Keywords. Wildfires, satellite imagery, MODIS/Aqua, Terra.

В соответствии с последней актуальной информацией Всемирной метеорологической организации (ВМО), отмечен рост числа природных пожаров, который обусловлен изменением климата, экстремальными условиями погоды и антропогенными факторами. В связи с этим возникает необходимость в создании эффективных новых и усовершенствовании уже имеющихся спутниковых методов обнаружения природных пожаров для сверхбыстрого реагирования служб и устранения ущерба. Раннее обнаружение активных очагов возгорания может существенно минимизировать количество повреждений и ограничить площадь пострадавших территорий [1]. Настоящее исследование направлено на изучение возможностей использования технологий спутниковой съемки для раннего обнаружения природных пожаров.

Российская Федерация занимает ведущее место в мире по площади лесных массивов. Согласно данным Рослесхоза, леса покрывают примерно 49% территории страны. Это эквивалентно 20% всех лесов мира, что делает Россию лидером по площади лесных ресурсов. Разнообразие климатических условий и местных особенностей влияет на структуру и состав лесов в различных регионах. В России, которая занимает различные климатические зоны, погодные условия играют ключевую роль в возникновении лесных пожаров.

Наблюдение за природными пожарами в РФ осуществляются с использованием различных технологий и методов. Около 30% от всей территории страны охраняется посредством наземного и авиационного мониторинга, и только при помощи спутниковой съемки возможно обнаружить пожар на 70% этой же территории, включая труднодоступные и отдаленные места. Подробнее можно рассмотреть это на рисунке 1.

За последние года в Российской Федерации наблюдается активное развитие и внедрение систем автоматизированного мониторинга и предупреждения о возможных природных пожарах. Эти системы включают использование беспилотников, камер на земле и автоматических датчиков, что обеспечивает эффективное обнаружение и оперативную реакцию на потенциальные пожары. Сотрудничество между различными организациями и ведомствами, такими как МЧС, лесное хозяйство, метеорологические службы и научные учреждения, играет важную роль в предотвращении и тушении лесных пожаров. Это способствует оптимальному использованию ресурсов и быстрому реагированию на чрезвычайные ситуации. Спутниковые системы позволяют осуществлять наблюдение за большими территориями и труднодоступными районами в режиме реального времени. Это делает их незаменимыми для борьбы с природными пожарами и их последствиями [2]. Технологический прогресс последних лет, включая

обработку массивных данных спутниковых изображений и машинное обучение, способствовали значительному повышению точности и скорости обнаружения очагов возгорания при помощи дистанционного зондирования.

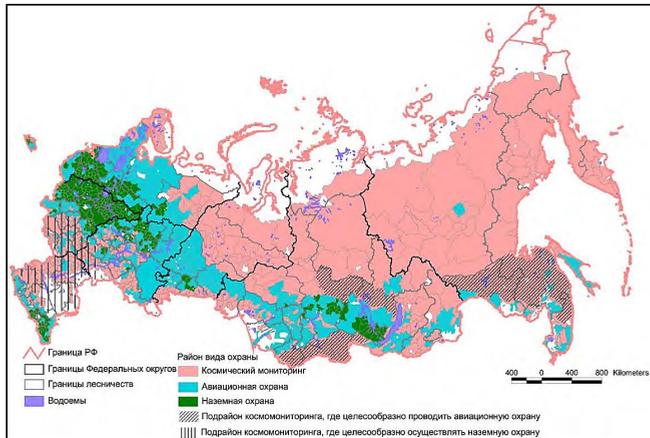


Рисунок 1 – Регионы РФ по способам обнаружения пожаров [Elena Kukavskaya et al., 2012]

Работа основана на дешифрировании спутниковых изображений MODIS/Aqua, Terra для идентификации природных пожаров и выгоревших площадей за 2019-2023гг. Кроме спутниковых изображений использовались данные детектирования активного горения MOD14 [3].

Для тематической обработки отобранных изображений была проведена предварительная обработка, которая включает в себя: геометрическую и картографическую проекцию, а также географическую привязку. Это необходимо для точного сопоставления данных с реальными координатами (рисунок 2).



Рисунок 2 – Пример откорректированного изображения природного пожара на территории Якутии в естественных цветах (09.08.2021 02:40 (UTC))

Далее уже на подготовленных к работе изображениях были применены следующие методы обработки:

1. Для выявления зон возгорания используется метод дифференцированного изображения, в котором данные с каналов 3.9 мкм и 11 мкм в тепловом инфракрасном диапазоне используются вместе. такое изображение позволяет обнаруживать участки, которые уже подверглись воздействию огня, но которые еще не видны на изображениях в канале 11 мкм.

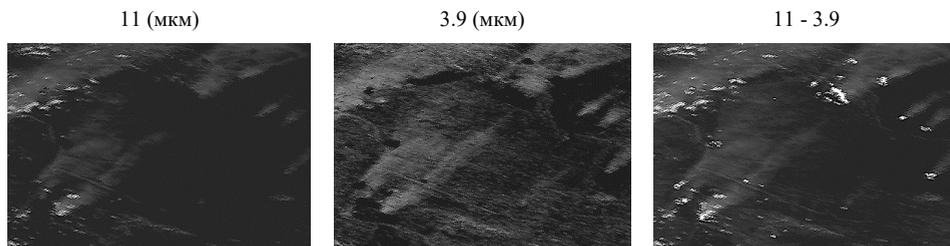


Рисунок 3 – Фрагменты спутниковых изображений природных пожаров в инфракрасном диапазоне – слева направо: 11 мкм, 3.9 мкм, разностное изображение 11 - 3.9 (12.07.2021 02:15 (UTC))

2. Следующим этапом анализа изображений на предмет наличия очагов пожаров было создание RGB-изображений в псевдоцветах в различных комбинациях для детектирования очагов возгорания и дымовых шлейфов (рисунок 4).

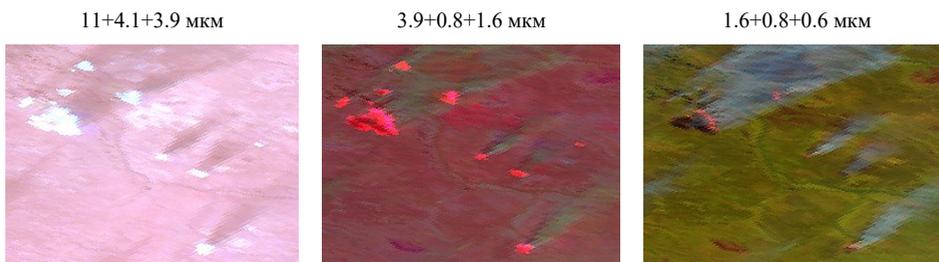


Рисунок 4 – Фрагменты спутниковых изображений природных пожаров в псевдоцветах (12.07.2021 02:15 (UTC))

- 1) Процесс горения сопровождается мощным тепловым излучением в ИК области спектра – очаги возгорания имеют белый, ярко-голубой цвет.
- 2) Зоны горения, имеющие очень высокие температуры, излучают сильный сигнал в канале 3.9, потому имеют ярко красный цвет.
- 3) Дымовые шлейфы обладают повышенной отражательной способностью в канале 1.6 мкм, благодаря этому они имеют сиреневый оттенок.

3. Чтобы провести оценку интенсивности горения мы отформатировали отобранные изображения и привели к виду яркостных температур, для получения значений температуры горящих областей и окружающей среды, в свою очередь это позволило нам не только проанализировать интенсивность процессов горения (рисунок 5), рассчитав термическую мощность пожаров (индекс FRP), но и визуализировать выгоревшие области леса при помощи созданной маски пожаров и изображений на основе индекса NDVI [4] (рисунок 6).

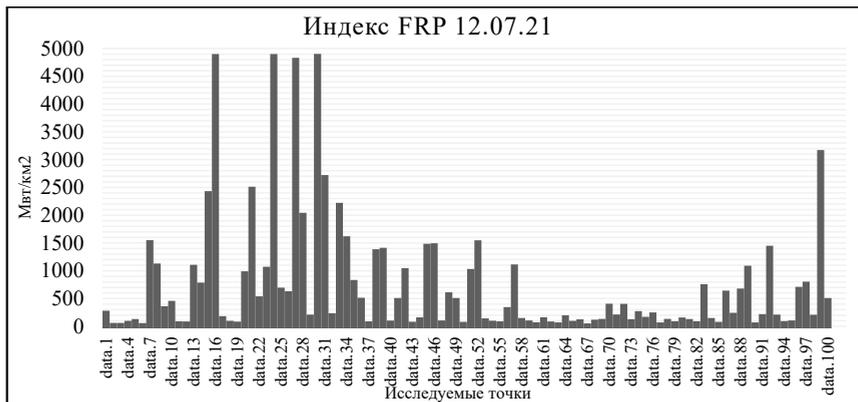


Рисунок 5 – Термическая мощность пожаров на территории Якутии 12.07.2021

Благодаря полученным данным было выявлено, что экстремально интенсивные пожары по своей термической мощности были зафиксированы 12.07.2021 (рис. 1.5), общая площадь которых составила 1 127 228 Га (11 272.28 км²), часть которых была зарегистрирована на землях особо охраняемых территорий Государственного природного заповедника «Олекминский» и Национального парка «Ленские столбы» на площади около 28 620 Га (286.2 км²). Среднее значение индекса составило 701.0 МВт/км², а максимальные мощности достигали значения в 4 864.1 МВт/км². Пожары с такими показателями могут вызывать значительные разрушения, угрожающие не только животным и растительности, но и здоровью и жизни людей.

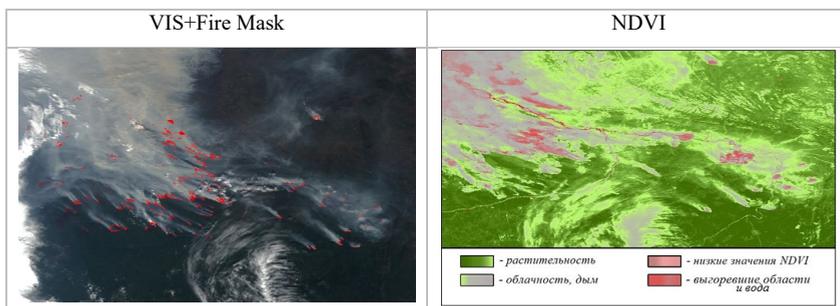


Рисунок 6 – Пример комбинированного изображения спутникового снимка и маски пожаров и цветинтегрированного изображения фрагмента спутникового снимка с учетом NDVI за 09.08.2021 02:40 (UTC)

Также разобрана и синоптическая обстановка по выбранным случаям природных пожаров для выявления общих метеорологических паттернов, характеризующих условия, при которых природные пожары чаще возникают и распространяются. Особое внимание уделено влиянию антициклонов и других синоптических явлений на вероятность возникновения и распространения очагов возгорания.

Полученные результаты имеют значимость для мониторинга и раннего обнаружения природных пожаров. Данные исследования могут быть использованы для предупреждения природных пожаров, их тушения, а также анализа экологических последствий на территории республики Саха (Якутия). Для достижения максимальной точности и оперативности обнаружения лесных пожаров необходимо интегрировать

данные с различных спутниковых платформ, комплексно использовать разнообразные спектральные индексы и алгоритмы. Такой подход позволяет минимизировать ошибки и повысить надежность результатов.

Список литературы:

1. *Бондур В.Г.* Актуальность и необходимость космического мониторинга природных пожаров в России [Электронный ресурс] // Вестник ОНЗ РАН. 2010, № 2.
2. *Roman M.O., Wolfe R.E., Morisette J.T.* Global Land Cover Mapping from MODIS: Algorithms and Early Results // Remote Sensing of Environment. 2018, vol. 220, p. 1-18;
3. *Rashkovetsky D., Mauracher F., Langer M., Schmitt M.* Wildfire Detection from Multi-sensor Satellite Imagery Using Deep Semantic Segmentation // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2022, vol. 60, p. 1-15.
4. *Roberts A.J., Roy D.P.* NDVI-Based Change Detection Using Landsat Data over the Semiarid Nebraska Sand Hills, USA // GIScience & Remote Sensing. 2018, vol. 55, N 3, p. 370-389.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЯКУТИИ

Восканян К.Л., Иванова Т.И., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
kuznetsov1946@inbox.ru

Аннотация: Описана методика формирования архива данных о вертикальных профилях температуры воздуха в Якутии. Проанализирована сезонная изменчивость температуры воздуха по вертикали

Ключевые слова: температура воздуха, профиль температуры воздуха, Якутия.

ANALYSIS OF THE VARIABILITY OF VERTICAL TEMPERATURE PROFILES IN YAKUTIA

Voskanyan K.L., Ivanova T.I., Kuznetsov A.D., Seroukhova O.S.

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

Abstract. The method of forming an archive of data on vertical profiles of air temperature in Yakutia is described. The seasonal variability of vertical air temperature is analyzed

Keywords. Air temperature, air temperature profile, Yakutia.

Для формирования архива данных о вертикальных профилях температуры были использованы файлы ТАЭЗ с результатами зондирования аэрологической станции АЭ Жиганск за 2018 год.

После перевода исходных данных в цифровую форму встает задача приведение вертикальных профилей температуры к единой вертикальной сетке, поскольку вертикальные сетки каждого зондирования как по высоте, так и по давлению отличаются друг от друга (см. рис. 1). Для решения этой задачи использовалась сплайн-интерполяция.

*Материалы III международной научно-практической конференции
«Авиационная и спутниковая метеорология»
19-20 марта 2025 г*

PRES hPa	HGHT m	TEMP C	PRES hPa	HGHT m	TEMP C
1012.0	72	7.4	1014.0	72	8.0
1000.0	179	11.6	1001.0	185	10.8
999.0	187	11.8	1000.0	194	11.6
987.0	289	13.8	999.0	202	12.6
974.0	400	12.1	982.0	347	14.6
969.0	443	11.4	976.0	398	14.4
950.0	608	10.5	953.0	598	13.4
947.0	634	10.4	934.0	767	12.6
932.0	767	10.0	925.0	848	11.8

а)

б)

Рисунок 1 – Пример данных аэрологического зондирования, иллюстрирующие несовпадения вертикальных сеток двух зондирований как по давлению, так и по высоте: а) 01.10, б) 02.10.

В таблице 1 приведен фрагмент результатов такого приведения исходных данных к единой сетке по давлению с помощью специально созданной для этого программы. Здесь в колонках «А» и «В» содержатся исходные данные аэрологического зондирования, в колонке «С» - единая сетка по давлению (первая строка – давление у поверхности, остальные значения – регулярная сетка по давлению от 975 гПа до 25 гПа с шагом 25 гПа). Колонки «D» (значения давления) и «E» (значения температуры) содержат результаты сплайн-интерполяции.

Таблица 1 – Фрагмент Листа 1 с результатами приведения исходных данных к единой сетке по давлению

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	986	16,5	986	25	-46,1									
2	971	19	975	50	-47,5									
3	965	18,9	950	75	-46,2		Используется ряд из колонки =>		2					РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
4	939	17,3	925	100	-45,8		Длина ряда из колонки =>		84					Ка ф е д р а ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
5	925	16,2	900	125	-45,8		Для расчета сплайна							Сплайн с сортировкой по убыванию
6	884	13,1	875	150	-44,9		используются аргументы							Профессор А.Д.Кузнецов
7	877	12,2	850	175	-45,1		из колонки =>		3					
8	850	10,9	825	200	-44,5		Общее количество							
9	834	9,6	800	225	-47,2		аргументов сплайна =>		40					
10	833	9,5	775	250	-52,9									
11	817	8,4	750	275	-52,0									
12	796	6,5	725	300	-47,8									
13	791	6	700	325	-43,0									
14	784	5,3	675	350	-39,8									
15	772	4,2	650	375	-36,3									
16	737	0,7	625	400	-32,2									
17	704	-2,8	600	425	-29,3									
18	700	-3,1	575	450	-26,1									
19	692	-3,8	550	475	-22,7									
20	683	-4,7	525	500	-19,6									

На рис. 2 представлен график одного из профилей температуры после проведения сплайн-интерполяции.

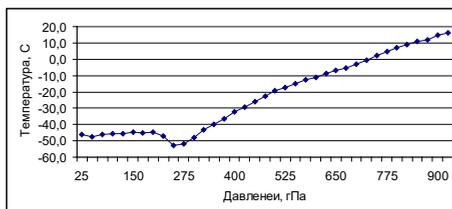


Рисунок 2 – Вертикальный профиль температуры, приведенный к единой вертикальной сетке по давлению

Конечный этап подготовки архива данные к проведению исследования заключался в формировании итоговых таблиц, содержащих данные зондирования по месяцам. Пример фрагмента такой таблицы содержит табл. 3. Здесь в колонке «А» содержится профиль давления в гПа, где последнее значение давления соответствует давлению на высоте станции над уровнем моря и этот уровень условно обозначен как 1000 гПа. Все остальные колонки содержат вертикальные профили температуры. Первая строка содержит порядковый номер профиля температуры.

Сформированные ансамбли вертикальных профилей температуры позволяют произвести серию расчетов для получения ряда статистических характеристик. В качестве таких характеристик в данной работе используются следующие профили, позволяющих оценить изменчивость температуры на разных уровнях и для разных сезонов:

Таблица 3 – Фрагмент матрицы с профилями температуры от 25-1000 ГПа

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	25	-51,2	-54,1	-51,4	-53,6	-52,8	-56,1	-55,1	-53,9	-50,9	-58,4	-42,5
3	50	-66,3	-53,0	-52,8	-50,1	-49,8	-52,8	-52,6	-54,4	-52,2	-50,6	-48,6
4	75	-60,7	-51,5	-51,7	-50,8	-49,8	-52,1	-50,1	-53,2	-52,3	-54,8	-51,9
5	100	-60,6	-54,5	-54,0	-51,8	-53,0	-54,2	-51,8	-53,2	-55,0	-57,5	-56,9
6	125	-58,8	-55,4	-56,3	-55,9	-56,4	-54,3	-53,9	-53,8	-56,7	-57,0	-58,0
7	150	-56,6	-54,8	-57,0	-54,7	-56,5	-56,0	-54,5	-53,9	-58,0	-57,9	-57,3
8	175	-55,1	-55,1	-55,9	-55,0	-56,6	-57,6	-54,7	-54,0	-56,9	-57,9	-57,3
9	200	-54,0	-54,6	-56,3	-56,4	-57,6	-58,4	-56,0	-55,5	-56,6	-57,1	-56,9
10	225	-55,5	-55,3	-58,4	-56,6	-58,0	-58,3	-58,8	-57,2	-56,6	-57,4	-56,8
11	250	-57,5	-56,2	-60,1	-59,2	-58,8	-58,0	-62,1	-60,2	-57,3	-58,1	-57,5
12	275	-59,0	-58,0	-62,0	-60,3	-59,6	-59,0	-64,4	-64,2	-58,5	-59,4	-59,5
13	300	-59,7	-58,6	-60,1	-61,6	-59,9	-58,0	-61,3	-61,5	-61,2	-61,0	-59,6
14	325	-59,4	-57,1	-57,9	-59,4	-58,6	-57,1	-57,7	-58,1	-60,7	-61,2	-60,8
15	350	-58,0	-53,7	-55,2	-55,3	-54,3	-55,0	-53,7	-54,3	-57,5	-60,6	-58,6
16	375	-55,0	-50,8	-52,5	-52,0	-53,2	-52,0	-50,6	-52,6	-55,1	-56,0	-55,7
17	400	-52,1	-49,0	-49,6	-49,1	-50,7	-49,0	-47,9	-50,1	-52,7	-53,5	-53,0
18	425	-50,0	-46,7	-46,8	-46,1	-48,2	-46,4	-44,5	-47,3	-50,9	-51,6	-51,6
19	450	-46,9	-44,8	-43,8	-44,7	-45,1	-43,4	-42,6	-44,0	-48,3	-49,0	-48,8
20	475	-44,5	-43,4	-42,1	-42,9	-42,9	-41,1	-41,1	-41,2	-46,2	-46,6	-46,1
21	500	-43,6	-41,4	-40,5	-40,5	-40,9	-39,1	-38,0	-38,5	-43,4	-44,9	-43,7
22	525	-42,6	-40,3	-38,0	-38,4	-38,5	-36,7	-35,3	-36,4	-42,1	-43,1	-41,7
23	550	-40,3	-38,6	-36,6	-36,3	-36,5	-35,3	-32,9	-33,5	-40,5	-41,2	-40,4

- средние вертикальные профили температуры;
- профили среднеквадратических отклонений значений температуры от среднего профиля;
- профиль максимальных значений температуры;
- профиль минимальных значений температуры.

Рассмотрим полученные результаты для двух сезонов: летнего (август) и зимнего (декабрь).

На рис. 3 представлены средние профили для указанных месяцев. В среднем сезонная разность между средними значениями температуры уменьшается до уровня тропопаузы (в данном случае от 50.0 °C у поверхности земли до 9.0 °C на уровне тропопаузы). Однако, если построить вертикальные профили экстремальных температур для этих двух сезонов (см. рис. 4), то соответствующие разности увеличатся до значений у поверхности земли в 67.5 °C и 19.9 °C на уровне тропопаузы. Приведенные данные наглядно демонстрируют те экстремальные температурные условия, при которых должны функционировать как производства, так и население этого региона.

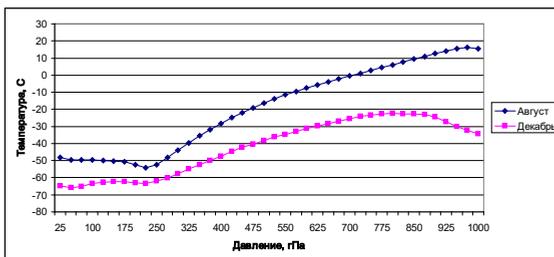


Рисунок 4 – Средние вертикальные профили температуры для августа и декабря

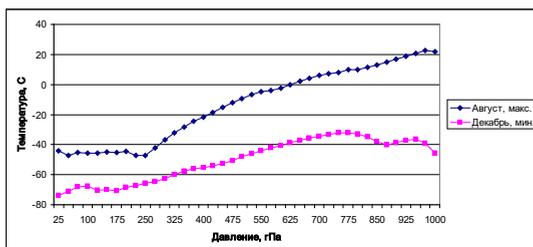


Рисунок 4 – Вертикальные профили экстремальных температур для августа (максимальные значения) и декабря (минимальные значения)

На рис. 5 представлены кривые, которые отражающие профили СКО для двух сезонов. Здесь обращает на себя внимание резкое различие величины СКО у поверхности и на верхней границе зондируемого слоя.

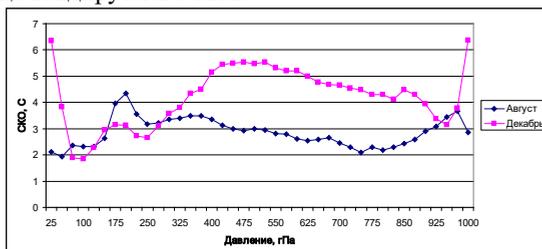


Рисунок 5 – Вертикальные профили СКО от среднего профиля августа и декабря

Рис. 6 и 7 иллюстрируют «коридор» значений температуры на разных уровнях соответственно для августа и декабря.

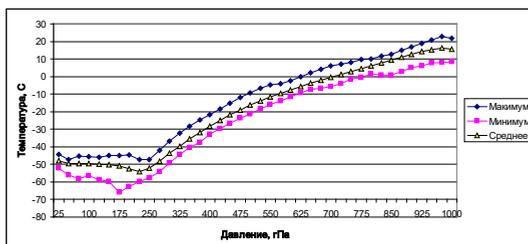


Рисунок 6 – «Коридор» для вертикальных профилей температуры в августе

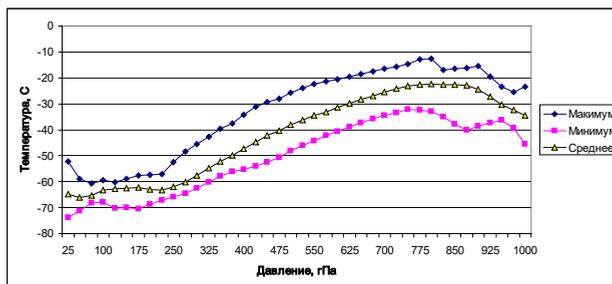


Рисунок 7 – «Коридор» для вертикальных профилей температуры в декабре

На рис. 8 и 9 совместно представлены вертикальные профили средней температуры и профили СКО. Анализ этих графиков позволяет связать между собой поведение профили температуры с его изменчивость на различных уровнях. Для двух рассмотренных сезонов максимальная изменчивость наблюдается на уровне тропопаузы летом и на уровнях земли и верхней границе зимой.

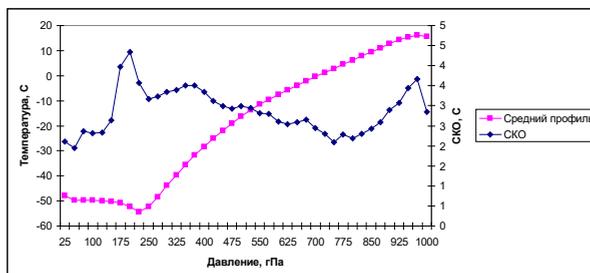


Рисунок 8 – Совместное представление среднего вертикального профиля температуры и СКО для августа

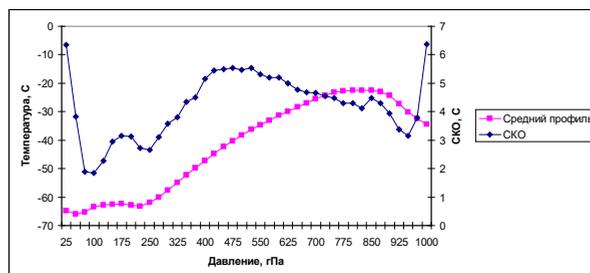


Рисунок 9 – Совместное представление среднего вертикального профиля температуры и СКО для декабря

В целом, подводя итог проделанной работы можно констатировать, что детальное рассмотрение сезонной изменчивости только одного из параметров атмосферы – температуры, показывает значительную его временную изменчивость, иллюстрирует те экстремально тяжелые погодные условия (особенно в зимнее время), с которыми связана хозяйственная деятельность в Заполярье.

Список литературы

1. Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Крюкова С.В., Сероухова О.С., Симакина Т.Е. Исследование изменчивости радиорефракции СВЧ излучения в тропосфере Арктического региона РФ // Метеорология и гидрология, №12, 2022. = С. 14-20
2. Восканян К.Л., Иванова Т.И., Кузнецов А.Д., Никитина В.С., Сероухова О.С., Симакина Т.Е. Анализ смены периодов климатической стабильности северной территории России // Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 207—220
3. Кузнецов А.Д., Симакина Т.Е., Сероухова О.С. Сезонное малопараметрическое представление вертикальных профилей температуры в Якутии // В книге: Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ. Сборник тезисов Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Российского государственного гидрометеорологического университета, 2020. С.172-174
4. Восканян К.Л., Екатериничева Н. К., Кузнецов А.Д., Саенко А.Г., Сероухова О.С., Симакина Т.Е. Практикум по аэрологическим методам зондирования окружающей среды // Учебное пособие. Санкт-Петербург, РГГМУ, 2020.- 267 с.

ТЕХНОЛОГИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Лебедев А.Б., Харченко М.А., Шишкин А.Д.,
Денисенко Г.К., Мамушкин П.П., Щербакова Ю.Е.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
lebandbor@rambler.ru

Аннотация. Работа посвящена созданию технологии цифровизации производства гидрометеорологических наблюдений. Предлагается использование мобильных устройств для записи, обработки и передачи информации при выходе из строя автоматических метеорологических комплексов или их отсутствии. Работа является продолжением исследований авторов, начатых в [1-2].

Ключевые слова. Автоматизированный метеорологический комплекс, автоматическая метеорологическая станция, мобильное устройство.

TECHNOLOGY FOR DIGITIZATION OF HYDROMETEOROLOGICAL OBSERVATIONS

Lebedev A.B., Harchenko M.A., Shishkin A.D., Denisenko G. K.,
Mamushkin P.P., Shcherbakova Y.E.

Russian State University of Hydrometeorological, Saint Petersburg

Annotation. The work is devoted to the creation of digitalization technology for the production of hydrometeorological observations. It is proposed to use mobile devices for recording, processing and transmitting information in case of failure of automatic meteorological complex or their absence. The work is a continuation of the authors' research started in [1-2].

Keywords. Automatic meteorological complex, automatic meteorological station, mobile device.

Введение. Отсутствие возможности в РФ в настоящее время полной автоматизации системы гидрометеорологических наблюдений, сбора и первичной обработки их результатов подтверждают необходимость внедрения усовершенствованных методов ручных (резервных) наблюдений на метеостанциях [1, 2]. Согласно данным ГГО им. А.И. Воейкова за 2023 г [3], более 90% эксплуатируемых

автоматизированных метеорологических комплексов (АМК) и автоматических метеорологических станций (АМС) были выпущены в 2009-2010 годах, и большая их часть работают превысив свыше пяти лет срок эксплуатации, установленный производителем.

В случаях неисправности или отсутствия АМС и АМК метеорологические наблюдения продолжают проводиться вручную. Во время таких резервных наблюдений показания приборов записываются в блокноте или палетке, после чего переносятся в книгу метеоролога КМ-1, из множества таблиц в показания приборов вносятся поправки, которые также заносятся в книгу КМ-1. Данный порядок производства наблюдений определен и описан в руководящем документе [4]. Следует отметить, что часто при перезаписи или введении поправок наблюдателями допускаются ошибки из-за субъективного фактора.

Авторами предлагается использовать мобильное устройство со специализированным программным обеспечением для ввода показаний приборов при гидрометеорологических измерениях и передачи их на персональный компьютер (ПК) на метеорологической станции, который в дальнейшем будем называть рабочей станцией. Специализированное приложение на рабочей станции предназначено для автоматического ввода поправок в показания приборов, и представления результатов наблюдений в формате документов, ведущихся на метеорологических станциях, а также в формате телеграммы КН-01. Разрабатываемая технология может найти применение не только на сети регулярных метеорологических наблюдений, но и там, где необходимы экспедиционные (полевые) или эпизодические наблюдения.

Замысел проекта обсуждался, и был поддержан экс-Генеральным директором ФГБУ «Авиателеком Росгидромета» к.т.н. Степановым В.В., начальником отдела метеорологии и климата Центрального УГМС Терешонком Н.А., директором Северо-Западного филиала ФГБУ «Авиателеком Росгидромета» Полухиным С.М. и начальником Камчатского УГМС Поляковой В.С. В рамках акселерационной программы «Акселератор Гидромет» федерального проекта «Платформа университетского технологического предпринимательства» проект «Цифровизация производства гидрометеорологических наблюдений» занял второе место.

Приложение на мобильном устройстве. Приложение на мобильном устройстве, получившее название «Книга Метеоролога электронная» (КМЭ) – это постоянно работающая программа, которая позволяет вносить показания приборов и передавать их на рабочую станцию. Кроме того, приложение выполняет роль специализированного органайзера, т.е. сигнализирует (звуком и светом) наблюдателю о необходимости выполнения определенных действий, согласно регламенту наблюдений (например, заблаговременной проверки исправности измерительных приборов).

Ввод результатов наблюдений осуществляется посредством интерфейса, (рисунок 1), в котором, порядок расположения метеорологических величин соответствует регламенту наблюдений. К настоящему моменту реализованы следующие функции:

- процедура ввода данных и их запись в память мобильного устройства;
- передача записанных данных в рабочую станцию;
- дополнительные программы по расчету гигро- и барометрических характеристики.

На рисунке 1 представлены скриншоты экранов мобильного устройства для записи результатов стандартных наблюдений (а), проверки расчета гигрометрических характеристик (б) и атмосферного давления (в).



Рисунок 1 – Интерфейс мобильного приложения: а – для записи результатов наблюдений; б – для расчета характеристик влажности; в – для расчета атмосферного давления

Время наблюдений устанавливается с помощью нажатия кнопки «Время» (устанавливается по UTC). Ввод формы облачности, явлений погоды в срок и между сроками, а также вида барометрической тенденции, осуществляется с помощью выпадающих списков. Следует заметить, что порядок наблюдений конкретной наблюдательной метеорологической станции из-за местных особенностей станции может отличаться от типовой схемы, прописанной в Наставлении [4]. В настоящий момент, рабочее поле разработано по типовой схеме.

В приложении предполагается добавить определенные подсказки (например, при какой температуре убираются максимальный термометр и ртутные термометры) и справочный материал (алгоритм определения основных форм облачности).

Для создания приложения применяется интегрированная среда разработки (IDE) для работы с платформой Android – Android Studio. В качестве языка программирования используется язык Java. В дальнейшем предполагается перейти на отечественные элементную базу и языки программирования. Отметим, мобильное приложение разработано так же и для более ранних версий Android, по 4.4 включительно.

Испытания работоспособности мобильного приложения проводились с помощью имеющегося в наличии смартфона «Redmi note 10 pro», работающего под операционной системой Android 13. Мобильное приложение также было установлено и на другие смартфоны, с версиями Android 12 и ниже, где приложение так же показало свою работоспособность.

Приём и передача информации между мобильным устройством и рабочей станцией метеоролога осуществляется с использованием FTP-протокола (File Transfer Protocol – протокол передачи файлов). Мобильное устройство выступает в качестве «точки доступа», или иначе, как частная мобильная сеть - сервер. Для передачи данных, на стационарном компьютере необходим модуль Wi-Fi.

Приложение на рабочей станции. Приложение на рабочей станции обеспечивает получение и усвоение показаний приборов с мобильного приложения (сервера), ввод поправок, их визуальный контроль, заполнение ведущейся на метеорологических станциях документации, формирование телеграмм в коде КН-01 и передачу их по каналам связи.

Программа состоит из трёх программных компонент (подпрограмм):

- ввода поправок
- составления телеграммы в КН-01
- пользовательского интерфейса.

Принятый рабочей станцией файл, считывается программным компонентом ввода поправок, помещается в стек оперативной памяти, а затем в структуру электронной книги КМ-1. В структуру электронной книги КМ-1 добавляются поправки, которые размещены в отдельном текстовом файле.

Для размещения поправок в текстовом файле существует процедура считывания поправок из паспортов приборов. Процедура считывания осуществляется вручную при первичной настройке приложения на рабочей станции. При замене приборов поправки нового прибора вводятся также вручную оператором. Для этого предусмотрен вызов диалогового окна с удобным интерфейсом.

Для ввода поправок содержимое текстового файла с поправками, помещается первоначально в стек памяти, а затем размещается в структуре поправок. Структура поправок представляет собой совокупность подструктур поправок различных приборов. Подструктура поправок прибора включает число диапазонов, сами диапазоны и, собственно, поправки. В первую очередь программа считывает количество диапазонов. После чего, используя цикл с условием, доходит до искомого диапазона и считывает поправку.

Для программной реализации, были взяты паспорта средств измерений предполагаемых на учебной метеорологической станции. Для примера, на рисунке 2 приведены поправочные таблицы из паспорта термометра ТМ-4, а также её оцифрованный вариант для работы алгоритма.

Сухой (ТМ-4)		
№ 7446		
диапазон температур		поправка
от	до	
-31,0	-12,5	-0,1
-12,4	15,0	0,0
15,1	51,0	+0,1

а)

число строк	3	←	
1	3	←	
2	-31.0	←	-12.5
3	-12.4	←	15.0
4	15.1	←	51.0
		←	0.1

б)

Рисунок 2 – Поправочные таблицы срочного термометра ТМ-4: а – из паспорта прибора; б – ее электронный вариант

К настоящему моменту реализован ввод поправок для срочного сухого и смоченного термометров, минимального и максимального термометров, общей поправки на атмосферное давление (с учетом инструментальной, на ускорение свободного падения, температурной поправки). Контроль вводимых поправок и просмотр закодированной информации обеспечивается пользовательским интерфейсом, рисунок 3. Отметим, интерфейс требует значительной доработки.

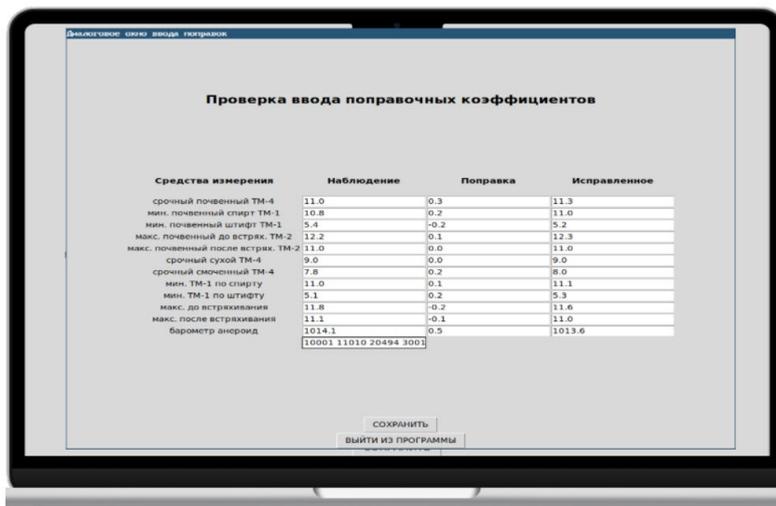


Рисунок 3 – Пример пользовательского интерфейса программы на рабочей станции

На основе исправленных значений формируется телеграмма, преобразующая результаты наблюдений в телеграмму в коде КН-01.

Разработанный интерфейс позволяет наблюдателю просмотреть:

- показания приборов, полученные от мобильного приложения (КМЭ);
- поправки приборов;
- результаты метеорологических наблюдений (исправленные метеорологические величины);
- составленную телеграмму в коде КН-01.

Приложение на рабочей станции реализовано на языке программирования Python.

Заключение. Предлагаемую технологию цифровизации гидрометеорологических наблюдений предполагается использовать на регулярной сети метеорологических станций Росгидромета в качестве резервного способа производства наблюдений, а также на станциях не оборудованных АМС и АМК. Кроме того, разрабатываемая технология может найти применение там, где необходимы экспедиционные или эпизодические наблюдения. В случае экспедиционных наблюдений технологию предполагается полностью реализовать на мобильном устройстве.

В дальнейшем предполагается распространить технологию на другие виды гидрометеорологических наблюдений (актинометрические, теплосбалансные и т.д.)

Список литературы

1. Лебедев А.Б., Мухамедшин М.И., Шишкин А.Д. Концептуальные вопросы разработки методики автоматического расчета характеристик климатического описания аэродрома // Гидрометеорология и физика атмосферы: современные достижения и тенденции развития: материалы Всерос науч. — практ. конф., Санкт-Петербург, 21-23 марта 2023 г. / ред кол. О. Г. Анискина (отв. ред.) [и др.] — Санкт-Петербург: Изд. Изд.-полиграф. ассоц. высш. учеб. заведений, 2023. — С. 420-424.
2. Лебедев А.Б., Харченко М.А., Шишкин А.Д. Технологические решения автоматизированного производства гидрометеорологический измерений // Гидрометеорология и физика атмосферы: современные достижения и тенденции развития: материалы II Междунар. науч. — практ. конф., Санкт-Петербург, 20-22 марта

2024 г. / ред кол. О. Г. Анискина (отв. ред.) [и др.] — Санкт-Петербург: Изд. Изд.-полиграф. ассоц. высш. учеб. заведений, 2024. — С. 496-501.

3. Обзор состояния и функционирования автоматизированных метеорологической и актинометрической сетей за 2023 год. — Текст: электронный // Методический отдел Главной Геофизической Обсерватории им. А.И. Воейкова: [сайт] — 2024. — URL: <http://voeikovmgo.ru/index.php/deyatelnost/publikacii/40-perechen-materialov-izdannyykh-ggo>

4. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 3. Часть 1. Метеорологические наблюдения на станциях. – Л: Гидрометеиздат, 1985. – 301 с.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА

АО «НПП «РАДАР ММС»

Вернер А.Г., Хиневич О.С.

¹Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Радар ммс», Санкт-Петербург

Аннотация. В статье приводится обзор современного метеорологического оборудования, выпускаемого АО «НПП «Радар ммс» в рамках программы импортозамещения.

Ключевые слова. АО «НПП «Радар ммс», КСМ «АЗИМУТ», метеостанция автоматизированная, датчик метеорологический.

METEOROLOGICAL EQUIPMENT MANUFACTURED BY JSC RADAR MMS

Verner A.G., Khinevich O.S.

Joint-stock company Radar mms, St. Petersburg.

Annotation. The article provides an overview of modern meteorological equipment manufactured by JSC Radar mms as part of the import substitution program.

Keywords. JSC Radar mms, AZIMUT, automated weather station, meteorological sensor.

Для предоставления качественной и своевременной метеорологической информации требуется проведение анализа данных о состоянии окружающей среды полученных с помощью современных и доказавших свою практическую применимость средств измерения.

АО «НПП «Радар ммс» с 2008 года занимается производством метеорологических станций и датчиков, включая линейку датчиков с расширенным температурным диапазоном. Предприятие ведет свою историю с 1950 года, являясь одним из лидеров в области создания радиоэлектронных систем и точного приборостроения.

Датчики, разработанные на предприятии, обладают широкими возможностями адаптации к различным системам, что позволяет замещать импортные аналоги без необходимости изменения конструктива метеостанций.

В настоящий момент, современные высокотехнологичные системы гидрометеорологического обеспечения АО «НПП «Радар ммс» с успехом применяются на аэродромах и в наблюдательных сетях, а также ими оснащаются суда и объекты интеллектуальных транспортных систем дорожной отрасли.

В целях автоматизации процесса наблюдений за состоянием параметров атмосферы на морских и речных судах АО НПП «Радар ммс» в 2024 г. завершена разработка и запущено серийное производство комплекса судового метеорологического «Азимут» (далее КСМ «АЗИМУТ»). Данное изделие представляет собой аппаратно-программный комплекс, предназначенный для измерения, вычисления, отображения,

регистрации и передачи следующих метеорологических параметров в системы и комплексы судна:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- атмосферное давление;
- метеорологическая дальность видимости;
- высота нижней границы облачности (нижнего, среднего и верхнего слоя);
- скорость и направление кажущегося и истинного (при наличии данных о курсе и скорости движения судна) ветра.

Измерение метеорологических параметров возможно выполнять, используя различные датчики, в зависимости от требований заказчика.

Блоки КСМ «АЗИМУТ» устанавливаются в рубке судна, а датчики размещаются на борту судна в местах, вносящих минимальные искажения в наблюдаемые метеорологические параметры.

Комплекс объединяет в себе блок процессорный БПР, устройство отображения УО (возможно подключение до 28 УО) или репитер, коробку распределительную КР (возможно подключение до 7 КР), преобразователь интерфейсов ПИ и различные датчики для получения, обработки и отображения метеорологической информации.

Для измерения метеорологических параметров окружающей среды в приземных слоях атмосферы, а также при необходимости измерения параметров дорожного покрытия, определения наличия и концентрации противогололедного реагента, температуры его замерзания, температуры рельса и других необходимых заказчику параметров на предприятии разработана и серийно производится метеостанция автоматизированная АМС.

Конкретное исполнение метеостанции зависит от требований, предъявляемых потребителем, и определяется на основе перечня датчиков, включенных в состав изделия и утвержденного Росстандартом.

При этом в качестве измерительных компонентов в указанных выше метеостанциях применены датчики, разработанные и серийно изготавливаемые на предприятии.

Датчик атмосферного давления ДАДС-1 применяется для измерения атмосферного давления и имеет характеристики, приведенные в таблице 1.

Датчик может работать в широком температурном диапазоне от -60 °С до +60 °С и имеет три модификации, которые отличаются количеством каналов измерения давления (1, 2 или 3 канала).

Таблица 1 - Характеристики датчика атмосферного давления ДАДС-1

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений	Погрешность
Атмосферное давление, гПа	от 500 до 1 100	±0,3 гПа

Принцип действия датчика основан на том, что при изменении давления контролируемой среды происходит механическая деформация кварцевой мембраны, которая деформирует силочувствительный резонатор, что приводит к девиации его резонансной частоты. Давление контролируемой среды преобразуется в электрический сигнал, пропорциональный резонансной частоте.

Датчик влажности-температуры ДТВВ-01 производит измерение температуры и относительной влажности воздуха в диапазонах и с погрешностями измерений, приведёнными в таблице 2.

Таблица 2 - Характеристики датчика влажности-температуры ДТВВ-01

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений	Погрешность
Температуры воздуха, °С	от -60 до +60	±0,2 °С
Относительной влажности воздуха, %	от 0 до 100	±3 % при температуре от -60 °С до -40 °С включ.; ±2 % в диапазоне св. 10 % до 90 % включ. при температуре св. -40 °С до +60 °С; ±3 % в диапазоне от 0 % до 10 % включ. и св. 90 % до 100 % при температуре св. -40 °С до +60 °С.

Датчик предназначен для работы в температурном диапазоне от -60 °С до +60 °С.

В основе принципа работы датчика лежит способность чувствительного элемента взаимодействовать с парами влаги, содержащимися в атмосферном воздухе, в результате чего меняется значение ёмкости. Влагочувствительный материал имеет высокий показатель удельной пористости и способен адсорбировать большое количество влаги.

Датчик метеорологической дальности видимости ДМДВ обеспечивает измерение метеорологической дальности видимости в приземных слоях атмосферы, обработку и передачу данных с характеристиками приведёнными в таблице 3.

Таблица 3 - Характеристики датчика метеорологической дальности видимости ДМДВ

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений	Погрешность
Метеорологическая оптическая дальность, м	от 10 до 20 000 от 10 до 50 000	±8 % в диапазоне от 10 до 600 м включ. ±10 % в диапазоне св. 600 до 10 000 м включ. ±20 % в диапазоне св. 10 000

Датчик производится в двух исполнениях, отличающихся диапазоном измерения дальности видимости, и представляет собой оптический датчик, который измеряет метеорологическую дальность видимости, используя принцип измерения прямого рассеяния. Свет рассеивается частицами, диаметр которых сравним с длиной волны света.

Датчики скорости и направления ветра ДСНВ и ДСНВ-А производят измерение скорости и направления ветра, обработку и передачу данных в диапазонах и с погрешностями измерений, приведёнными в таблице 4.

Таблица 4 - Характеристики датчиков скорости и направления ветра ДСНВ и ДСНВ-А

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений	Погрешность
Скорость воздушного потока V, м/с	от 0,4 до 75,0	± (0,04 + 0,04 V) м/с
Направление воздушного потока	от 0 до 360°	± 2°

При этом датчик ДСНВ-А предназначен для эксплуатации в диапазоне температур от -60 °С до +60 °С, а также имеет прочный металлический корпус из титанового сплава, что позволяет применять его в крайне тяжелых условиях.

Принцип работы датчиков основан на использовании зависимостей между скоростью воздушного потока и числом оборотов вертушки, а также между направлением вектора скорости и положением свободно ориентирующейся флюгарки.

Также на предприятии серийно выпускается датчик метеорологических параметров ДМП, который позволяет производить измерения скорости и направления ветра, атмосферного давления, температуры и относительной влажности воздуха с характеристиками приведёнными в таблице 5.

Таблица 5 - Характеристики датчик метеорологических параметров ДМП

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений	Погрешность
Температура воздуха, °С	от - 50 до 60	± 0,3°С
Относительная влажность воздуха, %	от 5 до 100	± 2 % в диапазоне от 5 до 90 % включ. ± 5 % в диапазоне свыше 90 до 100 %
Атмосферное давление, гПа	от 600 до 1100	± 0,5 гПа
Скорость воздушного потока V, м/с	от 0,2 до 60,0	± (0,1+0,5·V) м/с в диапазоне от 0,2 до 0,5 м/с включ. ± 0,5 м/с в диапазоне св. 0,5 до 10,0 м/с включ. ± 5 % в диапазоне св. 10,0 до 60,0 м/с
Направление воздушного потока	от 0 до 360°	±3°

Датчик имеет два варианта исполнения:

а) ИСАТ.416311.002 – измеряет скорость и направление ветра, атмосферное давление, температуру и относительную влажность воздуха;

б) ИСАТ.416311.002-01 – измеряет атмосферное давление, температуру и относительную влажность воздуха.

В корпусе датчика размещён модуль измерителя давления, температуры и влажности, выполненный на печатных платах.

На внешней стороне корпуса датчика исполнения ИСАТ.416311.002 расположены три ультразвуковых преобразователя ветра.

АО «НПП Радар ммс» постоянно ведет разработки нового оборудования. В настоящее время ведется проработка комплексного датчика метеорологических параметров ДМП-А предназначенного для измерения скорости и направления ветра, атмосферного давления, температуры и относительной влажности воздуха, количества и интенсивности осадков в температурном диапазоне от -60 °С до +85 °С. Предусмотрено 7 различных исполнений датчика перечисленных в таблице 8.

Таблица 8 - Исполнения датчика метеорологических параметров ДМП-А

Исполнение датчика ДМП-А	1	2	3	4	5	6	7
Температура воздуха	+	+	+	+	-	-	+

Относительная влажность воздуха	+	+	+	+	-	-	-
Атмосферное давление	+	+	+	+	-	-	-
Скорость воздушного потока	+	+	-	-	+	+	-
Направление воздушного потока	+	+	-	-	+	+	-
Количество осадков	+	-	+	-	+	-	+
Интенсивность осадков	+	-	+	-	+	-	+

Также на предприятии готовится к серийному выпуску еще одна новая разработка - датчик состояния дорожного покрытия ДСДП, предназначенный для установки в дорожное полотно. Датчик измеряет температуру поверхности дорожного покрытия, температуру грунта, толщину слоя жидкости, массовую долю противогололедных реагентов, а также рассчитывает коэффициент сцепления, процент льда в слое смеси снега со льдом, температуру замерзания противогололедных реагентов и состояние дорожного покрытия. Диапазон рабочих температур датчика составляет от -60 °С до +85 °С.

На сегодняшний день АО «НПП «Радар ммс» производит широкую номенклатуру метеорологического оборудования, не уступающего по характеристикам и эксплуатационным параметрам зарубежным аналогам, а также совместимого с существующими гидрометеорологическими системами иностранного производства, что является одной из важнейших его особенностей. Датчики и системы производства АО «НПП «Радар ммс» способны заменить импортные изделия, ранее широко применявшиеся в системах гидрометеорологического мониторинга, которые в связи с изменением макроэкономического климата, не поставляются на территорию Российской Федерации.

Изготавливаемые на предприятии изделия могут применяться как для замены вышедших из строя импортных образцов, так и при комплектации новых систем наблюдения за окружающей средой в различных областях хозяйственной деятельности, в том числе и в условиях предельно низких температур. АО «НПП «Радар ммс» освоил полный жизненный цикл изделий, включая разработку, изготовление, монтажные и пусконаладочные работы, а также гарантийное и сервисное обслуживание.

О НОВОЙ СХЕМЕ НЕФЕЛОМЕТРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ ЖИДКИХ И ТВЁРДЫХ ОСАДКОВ

Быков В.О.

ОАО «ПЕЛЕНГ», г. Минск, Республика Беларусь

Bikov_vo@peleng.by

Аннотация. Рассматривается возможность применения датчика обратного рассеяния в нефелометрах и приводятся преимущества метода распознавания атмосферных осадков, основанного на сравнении амплитуды сигналов прямого и обратного рассеяния.

Ключевые слова. Нефелометр, МОД, приёмник обратного рассеяния, интенсивность, осадки.

ABOUT A NEW NEPHELOMETER SCHEME FOR INCREASING THE ACCURACY OF CLASSIFICATION OF LIQUID AND SOLID PRECIPITATIONS

Bykov V.O.

JSC «PELENG», Minsk, Republic of Belarus

Annotation. The possibility of using a backscatter sensor in nephelometers is considered and the advantages of a precipitation recognition method based on a comparison of the amplitude of forward and backscatter signals are presented.

Keywords. Nephelometer, MOR, backscatter receiver, intensity, precipitation.

Разработка и совершенствование нефелометров для определения метеорологической оптической дальности видимости (МОД) является важнейшей задачей оптического приборостроения от решения которой зависит безопасность авиационного сообщения [1]. При этом основной задачей является модификация и разработка оптических схем нефелометров для повышения точности определения МОД в условиях сложных погодных условий, когда в области видимости находятся различные виды осадков. При реализации традиционной схемы нефелометра наблюдается большое число ложных срабатываний, особенно при появлении жидкой и твердой фаз, что затрудняет получение достоверной информации о МОД.

Целью настоящей работы является разработка оптической схемы нефелометра и ее реализация в условиях ОАО «ПЕЛЕНГ» для повышения точности классификации твердых и жидких осадков, образующихся в различных погодных условиях.

МОД является одной из ключевых характеристик метеорологических условий. На наблюдательной сети определяют более сорока разновидностей атмосферных явлений, и практически все они влияют на оптические характеристики атмосферы. При достижении установленных критериев по метеорологической дальности видимости (МДВ), информация о МДВ входит в состав штормового сообщения об опасных явлениях (ОЯ) или неблагоприятных метеорологических явлениях (НГЯ).

Нефелометр, определяющий МОД, использует принципиальную оптическую схему (рисунок 1), которая измеряет интенсивность рассеянного света, и состоит из излучателя, приёмника и блока управления.

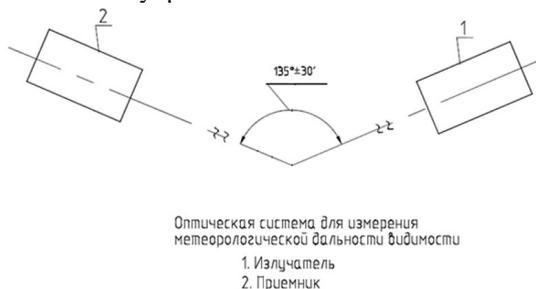


Рисунок 1 – Оптическая схема нефелометра

При определении МОД, необходимо учитывать влияние атмосферных осадков, которые являются основной причиной ухудшения видимости. В настоящее время широкое применение нашли нефелометры, которые распознают атмосферные осадки методом определения скорости падения частиц (например, нефелометры типа СЛ-03, изготавливаемые в «ОАО ПЕЛЕНГ»). Опыт эксплуатации этих нефелометров, позволил выявить ряд следующих недостатков:

- нечёткое распознавание твёрдых/жидких осадков при температуре окружающей среды 0...+6 °С;
- влияние скорости ветра на результаты (при сильной метели ускоренные частицы снега могут ошибочно распознаваться как дождь).

Для устранения приведённых недостатков компанией ОАО «ПЕЛЕНГ» разработана модификация нефелометра WS-75 с внедрённым датчиком обратного рассеяния и новым алгоритмом обработки данных. Модернизированная оптическая система приведена на рисунке 2.

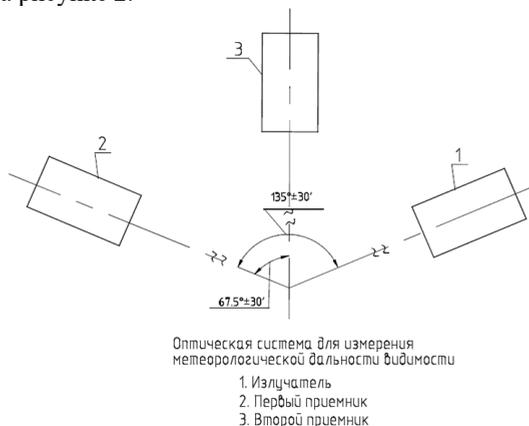


Рисунок 2 – Оптическая система нефелометра с датчиком обратного рассеяния

В качестве вспомогательного инструмента при определении погодных явлений, атмосферных осадков и их интенсивности применяется датчик температуры/влажности. Особенностью данного нефелометра является возможность определять замерзающие осадки по температуре окружающей среды. Например, дождь слабый (код 61 таблицы 4680 Всемирной метеорологической организации (ВМО) при отрицательной температуре будет распознан как дождь замерзающий, слабый (код 64).

Информация о замерзающих атмосферных осадках, передаваемая прибором на автоматизированную информационно-измерительную систему, позволяет улучшить качество обслуживания авиационных пользователей и является важной при формировании предупреждений о погодных условиях, представляющих опасность для воздушного движения.

Предлагаемая оптическая схема нефелометра (рисунок 2) включает в себя два приёмника: один для измерения прямого рассеяния и другой для измерения обратного рассеяния. Метод определения скорости падения частиц основан на вычислении производной расстояния, пройденного каплей в атмосфере. В зависимости от погодных условий возникают случаи, когда измеренная скорость пролёта может быть отнесена как к осадкам в виде снега, так и к осадкам в виде дождя. Следует отметить, что критерий оценки определения атмосферных осадков в нефелометрах, основанных на данном методе, носит вероятностный характер.

Взамен метода определения скорости падения частиц в нефелометре WS-75 применяется метод, основанный на определении отношения амплитуд сигналов на приёмниках обратного и прямого рассеяния. Это позволяет более точно классифицировать жидкие и твёрдые осадки. На рисунке 3 приведены графики, демонстрирующие взаимосвязь ряда сигналов, полученных на приёмниках прямого и обратного рассеяния в условиях твёрдых и жидких осадков. При распознавании снега в нефелометре WS-75 реагирует как канал прямого рассеяния, так и канал обратного рассеяния, а при распознавании капель дождя реакция канала обратного рассеяния отсутствует либо крайне мала.

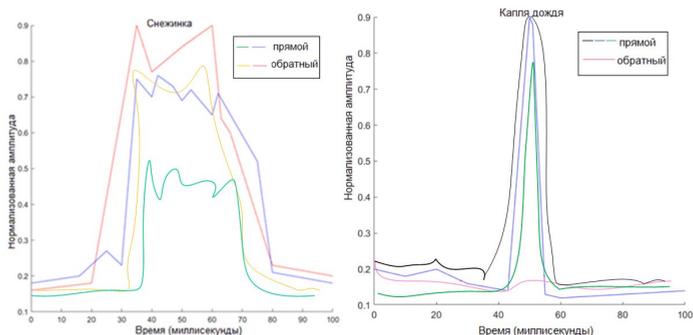


Рисунок 3 – Взаимосвязь сигналов на приёмниках прямого и обратного рассеяния в условиях снега (слева) и дождя (справа). На картинке слева сигнал прямого рассеяния обозначен синим и зелёным цветом, обратного – оранжевого и красного. На картинке справа сигнал прямого рассеяния обозначен чёрным, синим и зелёным цветом, обратного рассеяния – красным.

Упрощённый алгоритм классификации атмосферных осадков в нефелометре WS-75 можно представить следующим образом (рисунок 4):

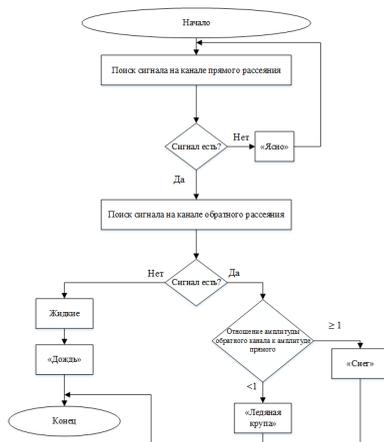


Рисунок 4 – Упрощённый алгоритм классификации осадков нефелометра WS-75

Нефелометр WS-75 представляет собой улучшение в области метеорологических измерений. Его оптическая схема и алгоритм обработки данных позволяют более точно определять метеорологическую дальность видимости и тип атмосферных осадков, что повышает надёжность и точность метеорологических наблюдений.

Заключение.

1. Предложена и реализована оптическая схема для определения МОД, отличающаяся от традиционной наличием дополнительного приемника, расположенного под углом $67,5^\circ$ по отношению к излучателю.
2. Получены функции сигнала от приёмников прямого и обратного рассеяния, реализованные в новой оптической схеме при образовании снега и дождя.
3. Разработан алгоритм для оценки типа осадков на основе данных об амплитудах сигналов прямого и обратного рассеяния.
4. Выполнена первичная оценка возможности классификации твердых и жидких осадков на основании данных новой оптической схемы.

Список литературы

1. Толмачёва Н.И., Тимофеева А.Г. Средства измерений гидрометеорологического назначения, 2017 г.- 223 с.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ВЕТРА НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Костюченко И.В.^{1,2}, Данилович И.С.^{1,3}

¹ Белорусский государственный университет, г. Минск

² ОАО «Пеленг», г. Минск

³ Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь,
kostyuchenko_irina89@mail.ru

Аннотация. В работе рассматриваются особенности режима экстремальной скорости ветра на территории Беларуси. Проанализированы случаи максимальной скорости ветра свыше 15 м/с по данным 44 метеорологических станций за период с 2004 по 2019 гг. Проведено соотношение рассматриваемых случаев ветра с барическими образованиями с уточнением района их формирования и траектории смещения.

Ключевые слова. Экстремальная скорость ветра, порыв ветра, треки циклонов, район зарождения, траектория смещения.

REGIONAL FEATURES OF FORMATION OF EXTREME WIND SPEEDS IN BELARUS

Kostyuchenko I.V.^{1,2}, Danilovich I.S.^{1,3}

¹ Belarusian State University, Minsk

² JSC "Peleng", Minsk

³ Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,

Abstract. The paper considers the features of the extreme wind speed regime in Belarus. Cases of maximum wind speed over 15 m/s are analyzed according to data from 44 meteorological stations for the period from 2004 to 2019. The ratio of the considered wind cases with baric formations is carried out, specifying the area of their formation and the trajectory of displacement.

Keywords. Extreme wind speed, wind gust, cyclone tracks, origin area, displacement trajectory.

Ветер относится к основным метеорологическим элементам, формирующим климатический режим местности. Изучение изменчивости ветрового режима в пространственно-временном распределении позволяет использовать характеристики ветра с большим экономическим эффектом в хозяйственной деятельности человека.

Современные изменения регионального климата связаны с изменениями в общей циркуляции атмосферы. При этом возрастает количество опасных явлений погоды. Большую опасность для хозяйства представляют сильные ветра со скоростью более 15 м/с, которые разрушают постройки, выдувают почву и валят деревья. Поэтому знание особенностей проявления экстремальных ветров необходимо для принятия мер, направленных на снижение экономического ущерба.

В качестве материалов для исследования использовались материалы Государственного климатического кадастра Республики Беларусь о наблюдениях за скоростью ветра на высоте 10 м по 44 метеорологическим станциям наблюдательной сети Белгидромета за период с 2004 по 2019 гг. Для анализа использованы данные наблюдений за скоростью ветра суточного разрешения. Для каждой метеостанции

определены значения скорости ветра в порыве, соответствующие 99 перцентиллю и отобраны только величины равные или превышающие это пороговое значение. За период с 2004 по 2019 гг. установлены 1894 случая сильного ветра на территории Беларуси, что составило 494 дня.

В ходе исследования установлено, что сильные ветры со скоростью 16 м/с и более чаще всего возникают под воздействием характерных синоптических ситуаций. В большинстве случаев такие ветры связаны с прохождением фронтальных разделов циклонов.

В работе использованы пространственно-временные характеристики циклонов в Атлантико-Европейском секторе, идентифицированных по данным реанализа ERA5 [1].

Случаи возникновения экстремальной скорости ветра на территории Беларуси были сопоставлены с датами и координатами барических образований, оказывающими влияние на гидрометеорологические условия страны. Для исключения неточностей дополнительно устанавливался район формирования каждого барического образования, и уточнялась его траектория перемещения с помощью архива приземных синоптических карт сайта Немецкой метеорологической службы [2].

Случаем сильного ветра считалась зафиксированная на метеорологической станции скорость ветра 16 м/с и более. Таким образом, прохождение через территорию страны циклона могло стать причиной формирования как одного, так и нескольких случаев сильного ветра. Кроме того, некоторые барические образования оказывали влияние на погодные условия Беларуси на протяжении нескольких дней, что значительно увеличивало количество случаев с сильным ветром, относящиеся к данному циклону.

В ходе исследования установлено, что среднее число дней с сильным ветром за исследуемый период составляет 31 день в год. В годовом ходе наибольшая повторяемость ветров от 16 м/с и более приходится на летний период, и их доля составляет 12 %, а наименьшая – в осенний период и составляет 5% от общего числа случаев.

На погоду в Беларуси чаще всего оказывают влияние циклоны, сформированные в Северной Атлантике, и имеющие различные траектории: северные – с основным треком в пределах 56-65 ° с.ш., западные – в пределах 50-55 ° с.ш., но различными направлениями над континентом, и ныряющие – со значительным меридиональным смещением над континентом. Кроме того, значительное влияние на гидрометеорологические условия Беларуси оказывают циклоны, с очагом зарождения в районах Средиземного и Черного морей или южные циклоны.

Наибольшее количество случаев сильного ветра, наблюдавшихся одновременно на нескольких метеорологических станциях, связаны с влиянием циклонов, сформированных в западной части Атлантического океана, и составляет 64 случая (08-10 февраля 2011 г.). Для циклонов, приходящих из северной части Атлантики, было отмечено максимально 50 случаев, зафиксированных 14-15 января 2007 г., для южных циклонов – 22 случая (15-16 марта 2013 г.); для вторичных циклонов (сформированных над континентом) – 44 случая (19-21 ноября 2004 г.).

Суммарно наибольшее количество случаев формирования экстремальных скоростей ветра приходится на северные и западные районы Атлантического океана (199 случаев): с зарождением в северной части – 115 случаев ветра; в западной части – 84 случая. Абсолютная максимальная скорость ветра была зафиксирована на станции Березинский заповедник и составила 35 м/с (29 июля 2016 г.). Количество случаев максимальной скорости ветра 16 м/с и более и абсолютного максимального значения скорости ветра в зависимости от района формирования циклона представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Количество случаев максимальной скорости ветра 16 м/с и более и абсолютного максимального значения скорости ветра в зависимости от района формирования циклона

Район формирования	Количество случаев	Абсолютная максимальная скорость, м/с	Количество случаев в % от общего числа
Атлантико-Европейский сектор: северная часть	115	30	30,35
Атлантико-Европейский сектор: западная часть	84	30	22,16
Средиземноморье и Черное море	78	31	20,58
Континентальная Европа (вторичные циклоны)	102	35	26,91

Анализ сезонного распределения циклонов показывает, что в летние месяцы максимальная скорость ветра 16 м/с и более чаще формируется под влиянием вторичных циклонов. Под вторичными циклонами понимались случаи, когда циклоны, сформированные в других районах, подвергались регенерации в результате внедрения массы теплого или холодного воздуха, или при слиянии нескольких циклонов, которые формировали новое образование, более глубокое, чем каждое из объединившихся.

В весенний период влияние на формирование экстремальных скоростей ветра оказывают западные циклоны, южные и вторичные. Такая ситуация может быть связана с частыми перестройками барического поля и выносами тепла посредством серий южных циклонов, а также с образованием вторичных циклонов. В осенние и зимние месяцы преобладают циклоны с северо-запада Атлантики. Сезонные показатели повторяемости циклонов в зависимости от их места, представлены на рисунке 2.

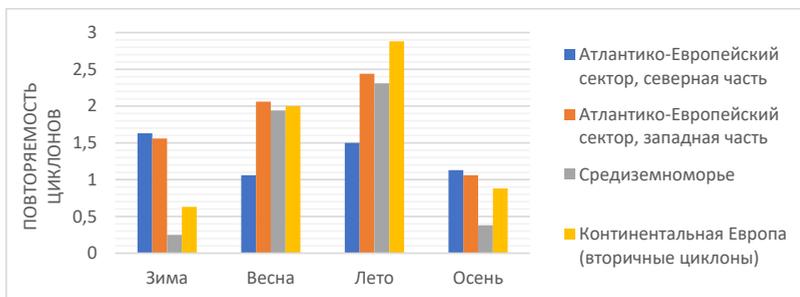


Рисунок 2 – Повторяемость циклонов в зависимости от района формирования, повлиявших на формирование на территории Беларуси скорости ветра 16 м/с и более

Таким образом, формирование экстремальных скоростей ветра на территории Беларуси происходит при прохождении фронтальных разделов циклонов. Среднее число дней с сильным ветром за исследуемый период составляет 31 день в год. В годовом ходе наибольшая повторяемость ветров от 16 м/с и более приходится на летний период, и их доля составляет 12 %, а наименьшая – в осенний период и составляет 5% от общего числа случаев. Наибольшее количество случаев сильного ветра, наблюдавшихся одновременно на нескольких метеорологических станциях, связаны с влиянием циклонов,

сформированных в западной части Атлантического океана. Абсолютная максимальная скорость ветра была зафиксирована на станции Березинский заповедник и составила 35 м/с.

Список литературы

1. Акперов М.Г., Бардин М.Ю., Володин Е.М., Голицын Г.С., Мохов И.И. Функции распределения вероятностей циклонов и антициклонов по данным реанализа и модели климата ИВМ РАН. – Изв. РАН. Физика атмосферы и океана, 2007, Т. 43, № 6, с. 764-772.
2. URL: https://www.wetter3.de/archiv_dwd_dt.html [Электронный ресурс] // Архив приземных синоптических карт сайта Немецкой метеорологической службы (дата обращения: 12.02.2025).

МИРОВОЕ ПРИЗНАНИЕ (26 СТРАН) ТУРБОКОНДЕНСАЦИИ АТМОСФЕРНОЙ ВЛАГИ МОРЕЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АРИДНЫХ СТРАН ПИТЬЕВОЙ ВОДОЙ

Рогожкин В.В.¹, Горынин В.И.², Коленов Е.В.², Воронов Н.В.³, Шеволдин А.В.¹

¹АО «Атомэнергопроект», Санкт-Петербург

²ОАО «Научно-производственное объединение «Центральный котлотурбинный институт» (НПО ЦКТИ), Санкт-Петербург

³Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
¹*cooler-vvr2@mail.ru*, ²*vigorynin@gmail.com*

Аннотация. Данные по российским турбоконденсатным технологиям получения питьевой воды дождевого качества, которые признаны и запатентованы в двадцати шести странах мира.

Ключевые слова. Питьевая вода, проблемы пустынь, регулирование климата, турбоконденсация атмосферной влаги морей, водоснабжение, выпар сбросного канала ГРЭС и АЭС, конденсатные блоки «COOLERS».

WORLDWIDE RECOGNITION (26 COUNTRIES) OF TURBO CONDENSATION OF ATMOSPHERIC MOISTURE FROM THE SEAS TO PROVIDE ARID COUNTRIES WITH DRINKING WATER

Rogozhkin V.V.¹, Gorynin V.I.², Kolenov E.V.², Voronov N.V.³, Shevoldin A.V.¹

¹JSC «Atomenergoproekt», St. Petersburg

²JSC «Scientific and Production Association «Central Boiler and Turbine Institute» (NPO CBTI), St. Petersburg

³Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Annotation. Data on Russian turbocondensate technologies for obtaining rain-quality drinking water, which are recognized and patented in twenty-six countries.

Keywords. Drinking water, problems of the desert, climate regulation, turbocondensation of atmospheric moisture from seas, water supply, evaporation of discharge channel of state district power plants and nuclear power plants, condensate blocks «COOLERS».

Оригинальные разработки специалистов АО «Атомэнергопроект», Центрального Котлотурбинного института и Российского государственного гидрометеорологического университета, запатентованные в 2020 г., позволяют использовать практически безграничные объемы атмосферной влаги теплых южных морей (Красное, Средиземное

и Каспийское, Персидский залив, Индийский океан) для обеспечения аридных стран питьевой водой.

Воздух акватории морей является крупнейшим на Земле возобновляемым хранилищем пресноводной влаги, где при температуре +30 °С содержание влаги уже 3% от веса 1 куб. м воздуха. При температуре +40 °С это уже около 4%.

Пресноводная атмосферная влага морей является продуктом систематического взаимодействия солнца и моря. Ее химический и изотопный состав соответствует составу дождевой воды (с точностью до морских аэрозолей и атмосферных примесей различного происхождения) и поэтому она может употребляться человеком, для орошения агрокультур и промышленностью наравне с дождевой водой. Кроме того, она может использоваться в качестве природного вещества для формирования дефицитных в ряде аридных стран ресурсов зонтичной и климатозащитной перистой облачности.

Конденсатные блоки «COOLERS» для природно-инженерного и системно-органичного смягчения климата пустынь и нехватки пресной воды могут быть сооружены по технологической схеме, на основе модернизированной башенной испарительной градирни высотой более 200 м (рисунок 1) с типовым турбонасосным, теплообменным, турбодетандерным и винтовентиляторным оборудованием:

1) система «SAND-COOLERS» (далее по тексту «Кулеры») для генерации и стабилизации регулируемой высотной облачности (Citrus) над пустынями и засухой площадью 100 тыс. кв. км и более (рисунок 2);

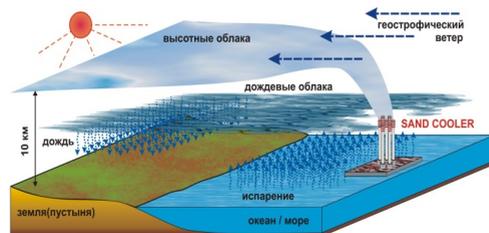


Рисунок 1 – Станции «COOLERS» Рисунок 2 – Система «SAND-COOLERS»

2) система «Конденсер» для получения до 30000 т/сут пресноводного конденсата дождевого качества путем компрессии воздуха турбонасосами и охлаждения при его адиабатическом расширении с помощью турбодетандеров. Градирни «Конденсер» оперируют всеми формами атмосферной влаги южных морей, отобранной естественным путем на высоте от 50 до 250 м, а также, что очень важно в качестве новейшей технологии водоснабжения: выпаром сбросной и барботированной конструкции канала ГРЭС и АЭС лоткового типа. Данные по этим технологиям в настоящее время признаны и запатентованы в 26 странах мира и их рассмотрение в качестве международных продолжается в других странах мира. Энергопотребление Конденсера не велико - до 66 МВт. Состав оборудования Конденсера и расчёт стоимости системы «Конденсер» представлен в [1].

Конденсатные станции «COOLERS» позволяют обеспечить смягчающее регулирование температур земной поверхности и приземного воздуха до более комфортных значений. При этом на затеняемых проблемных территориях возможно увеличение дождевых осадков с процессингом восстановления гидрологического цикла за счёт снижения теплоэкранирующих свойств пустыни по отношению к проникающей вглубь суши морской дождевой облачности.

Системы «Кулеры» и «Конденсеры» могут быть технологически совмещены в одной конструктивной форме для их более эффективного применения.

Прототипами градирен «Кулеры» и «Конденсеры» по облакообразованию являются (в безветрие) башенные испарительные градирни ГРЭС и АЭС с тепловой мощностью 2000 МВт и более (рисунки 3 и 4).



Рисунок 3 – Облачность и АЭС



Рисунок 4 – Башенные градирни АЭС

Сравнительно низкое потребление и прибрежное (островное или полуостровное) расположение конденсатных станций «COOLERS» позволит применять стационарные и плавучие варианты ГРЭС и АЭС региона с электрической мощностью до 1200 МВт, а также малые модульные реакторы и АЭС средней мощности (250-350 МВт).

Нами подана заявка на патент во Всемирную организацию интеллектуальной собственности PCT/RU2020/000646 от 30.11.2020 «Конденсатная система рекуперации энергосброса АЭС».

В настоящее время нами получены следующие зарубежные патенты на «Конденсатную систему рекуперации энергосброса АЭС»:

- США (Patent US11984234B2 - 2024.05.14);
- Южная Корея (Patent Korean 10-2545027 - 2023.06.04);
- Европа (Patent EP3733255 - 23.11.2023): Болгария, Великобритания, Венгрия, Словакия, Турция, Финляндия, Чехия, Бельгия, Нидерланды, Люксембург, Германия, Италия, Франция, Швейцария, Швеция;
- Япония (Patent JP7188795B2 - 2022.12.13);
- Канада (Patent Canadian 3.107.479 - 2023-07-04);
- Евразия (Patent 202091562-INV - 2023-01-25): Белоруссия, Казахстан, Армения, Узбекистан;
- Бразилия (Patent BR112020013368-0 - 01.12.2020);
- Индонезия (Patent IDP000092036 - 06.02.2024), а также Иордания и Малайзия.

Список литературы

1. Рогожкин В.В., Горынин В.И., Воронов Н. В. Комплексное решение климатических и пресноводных проблем регионов Юго-Западной Азии. В сб.: Гидрометеорология и физика атмосферы: современные достижения и тенденции развития. Материалы II Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2024. – С. 269-273.

СТУДЕНЧЕСКАЯ СЕКЦИЯ 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Русинова В.К.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань
vekrusinova@kpfu.ru

Аннотация. В работе выявлялись особенности распределения высоты снежного покрова на Европейской части России (ЕТР). Исследуются основные закономерности пространственного распределения снежного покрова с помощью характеристик высоты снежного покрова (сроков установления и схода снежного покрова, продолжительности периода залегания снежного покрова). На основе данных суточных высот снежного покрова найдены нормы максимальных высот. Сделан вывод об особенностях распределения характеристик снежного покрова на ЕТР в 1955 – 2020 гг.

Ключевые слова. Снежный покров, климат, Европейская часть России, гидросфера, атмосфера, осадки.

PECULIARITIES OF SPATIAL DISTRIBUTION OF SNOW COVER CHARACTERISTICS IN THE EUROPEAN PART OF RUSSIA

Rusinova V.K.

Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan

Annotation. The paper reveals the peculiarities of snow cover height distribution in the European part of Russia (ETR). The main regularities of the spatial distribution of snow cover are investigated using snow cover height characteristics (timing of snow cover establishment and descent, duration of the period of snow cover occurrence). Based on the data of daily snow cover heights, the norms of maximum heights are found. The conclusion is made about the peculiarities of distribution of snow cover characteristics in the UTR in 1955 - 2020.

Keywords. Snow cover, climate, European part of Russia, hydrosphere, atmosphere, precipitation.

Влагооборот является одним из трех глобальных климатообразующих процессов, наряду с теплооборотом и общей циркуляцией атмосферы. Снежный покров является составляющей влагооборота. Он зависит от прочих, формирующих климат условий, а также сам отчасти определяет состояние системы гидросфера — литосфера — атмосфера. Актуальность исследования заключается в том, что выявление особенностей распределения снежного покрова может содействовать многим сферам деятельности человека.

Снежный покров — слой снега на поверхности земли, сформированный снегопадами. Он имеет слоистое строение, поскольку определяется снегопадами, иными формами осадков, солнечной радиацией, температурой, ветрами, а также преобразованиями, такими как возгонка и сублимация снежных кристаллов. Высота снежного покрова и его свойства в течение периода залегания меняются.

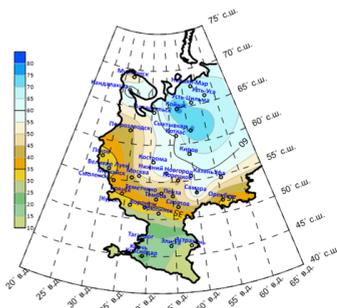
Снежный покров можно рассматривать с точки зрения времени установления и

схода, продолжительности залегания. Временный существует непродолжительно, устойчивый – в течении всего холодного периода. Снеготаяние, которое начинается после перехода через ноль, может быть либо адвективным, протекающим за счет положительной температуры воздуха или конденсирующегося на поверхности снега водяного пара, либо радиационным, связанным с влиянием солнечной радиации на снежную поверхность. Начало и окончание снеготаяния могут служить важными фенологическими показателями климатических изменений. Пространственное распределение в норме зонально [6].

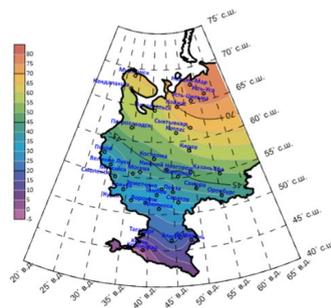
Исходными данными послужили суточные высоты снежного покрова с сайта ВНИИГМИ-МЦД с 1955 по 2020 год для 36 станций ЕТР. Данные имели пропуски, поэтому было выполнено восстановление пропусков, основанное на построении регрессионных уравнений; в качестве аналога использовались данные соседних станций. Далее были выделены сроки схода и установления снежного покрова и соответственно число дней с ним. После были найдены максимальные высоты снежного покрова. Для пространственного распределения найдены нормы этих характеристик, а также их среднее квадратическое отклонение (СКО) и коэффициент вариации (КВ). Далее они были нанесены на карты и проанализированы.

Рассмотрим распределение *норм максимальной высоты снежного покрова* на территории ЕТР. На рис. 1 распределение можно считать зональным, увеличение высоты снежного покрова на рисе идет с северо-востока на юго-запад. Однако, вместе с тем, можно выявить следующие особенности. Максимальные значения высот наблюдались в г. Койнас (77 см) и Сыктывкар (75 см). Минимальные – в г. Астрахань (10 см) и в г. Керчь (13 см). Максимальные значения можно связать с путями североатлантических циклонов, проходящих вдоль линии, на которой располагаются Койнас и Сыктывкар. Зимой климат этого района формируется в условиях малого количества поступающей солнечной радиации, а также под действием северных воздушных масс, западного переноса. Теплый морской воздух атлантических циклонов вызывает продолжительные обильные осадки, формирующие снежный покров. Минимальные значения связаны по большей части с термическим режимом местности. В Астрахани в холодное время года ветер дует преимущественно с суши на Каспийское море. Он сухой, действием северных воздушных масс, западного переноса. Теплый морской воздух атлантических циклонов вызывает продолжительные обильные осадки, формирующие снежный покров. Минимальные значения связаны по большей части с термическим режимом местности. В Астрахани в холодное время года ветер дует преимущественно с суши на Каспийское море. Он сухой, порывистый.

Температуры невысокие, климат близок к континентальному, он формируется под воздействием циркуляционных процессов южных широт. На эту область периодически выходят арктические, тропические, морские и континентальные воздушные массы. Зимой осадки редкие, они выпадают в виде дождя или снега, который, как правило, быстро тает. Керчь же в свою очередь имеет климат, являющийся результатом чередования воздушных масс Азовского моря и Чёрного. Температура большую часть холодного периода положительная, снежный покров устанавливается не каждый год, но если он есть, то его максимальные значения чуть выше, чем в Астрахани, находящейся восточнее. Западная часть рассматриваемой территории переходный от умеренно-морского к умеренно-континентальному, с мягкой зимой, малоснежной зимой. Можно заметить, что при движении на восток, с возрастанием континентальности, область максимальных высот снежного покрова сдвигается южнее. В частности, в Поволжье наблюдается локальное возрастание высоты снежного покрова, которое можно связать с близостью реки Волги [2].



*Рисунок 1 – Нормы максимальной
высоты снежного покрова*



*Рисунок 2 – Сроки установления
снежного покрова*

Рассмотрим особенности пространственного распределения *сроков установления устойчивого снежного покрова*. Устойчивым называют снежный покров, залегающий непрерывно не менее трёх декад подряд, но во внимание не принимаются перерывы в сплошном залегании длительностью менее 3 дней на каждые 30 дней. По этому признаку были отобраны данные по установлению и сходу снежного покрова. Для более удобного представления данных даты установления брались как количество дней до конца года.

Пространственное распределение *сроков установления снежного покрова* можно увидеть на рис. 2. Можно заметить, что распределение сроков установления снежного покрова зонально, как и высота снежного покрова. По большей части это обуславливается высотой солнца, количеством поступающей солнечной радиации. На севере температуры благодаря этому ниже, чем на юге, однако в распределении также есть особенность смещения к югу сроков установления покрова при движении на восток. Так, максимальные значения числа дней с конца года для установления снежного покрова наблюдаются в г. Усть-Уса (78 дней). Минимальные же значения наблюдаются в городах Краснодар и Керчь. В них снежный покров зачастую не устанавливается вовсе. Смещение же к югу при движении на восток связано с возрастающей континентальностью климата, особенностями циркуляционных, орографических процессов, свойственных данной территории. Отметим, что прибрежные регионы имеют в целом свойственные для всей области тенденции, однако сроки установления несколько более поздние, чем для более углубленных в континент пунктов. Заметим, что, как и для высоты снега и его описательных характеристик наблюдается небольшая тенденция к более позднему установлению снежного покрова для полосы Воронеж, Тамбов, Поречское. На западе ЕТР также видны похожие характеристики распределения, связанные с особенностями физико-географического положения.

Рассмотрим пространственное распределение *сроков схода снежного покрова*, и характеристики их описывающие. На рис. 3. представлено распределение сроков схода снежного покрова. Сроки схода представлены в виде числа дней с начала года. Его можно назвать зональным. Самые поздние сроки схода наблюдаются на северо-востоке территории в г. Нарьян-Мар (140 дней). В более северном расположенном Мурманске большое влияние оказывает теплое течение, поэтому сход снежного покрова происходит раньше (120 дней). Также, как и в случае установления, при движении на восток климат становится более континентальным и сроки схода снежного покрова смещаются на более поздние. Особенно хорошо это прослеживается на юге ЕТР. Так, в городе Таганроге это 33 дня с начала года, в Элисте 50 дней.

Но в Астрахани сказывается смена ветра с континентального на морской Каспийского моря, поэтому срок схода невелик и составляет 25 дней. Минимальные же значения наблюдаются в г. Керчь, где снежный покров не устанавливается и

соответственно не сходит. Заметим, что в средних широтах наблюдается некоторая неоднородность сроков схода. По большей части её можно объяснить влиянием орографии, однако в г. Смоленск (95 дней) сход снега происходит на несколько дней позже, что, впрочем, не сильно выбивается из общей картины распределения. Также в Кирове сход происходит несколько раньше, чем в близлежащих областях (103 дня).

Рассмотрим особенности распределения *продолжительности периода залегания снежного покрова* (рис. 4). Заметим, что распределение имеет зональный характер. Максимальная продолжительность периода со снежным покровом наблюдается в Нарьян-Маре и составляет 215 дней. Минимальное значение в г. Керчь, где снежный покров не устанавливается. Также, как и в характеристиках, приведенных ранее, заметно, что с движением на восток, происходит увеличение периода со снежным покровом, что обуславливается возрастающей континентальностью климата.

Отметим, что в Смоленске (130 дней) происходит небольшое увеличение периода залегания на фоне близлежащей территории. Но это отклонение составляет 2-3 дня, что можно считать несущественным. Такое же небольшое колебание обнаруживается в Порецком (140 дней). На фоне около лежащих областей значение несколько выше. На юго-востоке в г. Астрахань (36 дней) значения с продолжительностью периода несколько меньше, чем на фоне. Во-первых, это связано с небольшой величиной снежного покрова, во-вторых, со сменой циркуляции, приходом более теплых морских воздушных масс. На севере в Мурманске (186 дней) значения также относительно невелики. Сказывается близость моря и теплового течения [5].

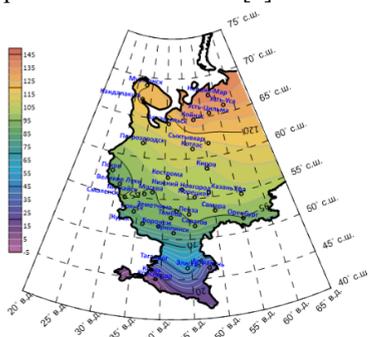


Рисунок 3 – Сроки схода снежного покрова

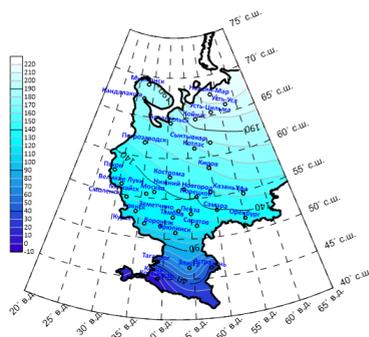


Рисунок 4 – Продолжительность периода со снежным покровом

Далее рассмотрим особенности распределения СКО (рис. 5). Область максимальных значений наблюдается на юго-востоке территории, в городах Саратов (37 дней) и Элиста (36 дней). Такое распределение можно объяснить неустойчивостью циркуляционных процессов, приходом на эту область различных воздушных масс, имеющих разные характеристики. Однако, в прибрежных районах, около Каспийского моря эти значения чуть меньше. Так, в Астрахани это 30 дней, что можно обосновать влиянием орографии. Минимальные значения наблюдаются в Керчи, где снежный покров не устанавливается. Сравнительно небольшие значения наблюдаются на северо-востоке территории в г. Нарьян-Мар и Сыктывкар (14 дней). Также в более западных областях прослеживается влияние морских воздушных масс. В Мурманске, Кандалакше и Койнасе значения СКО составляют 20 дней. На западе ЕТР значения СКО тоже сравнительно велики. Так, в г. Смоленск, Брянск отклонение составляет 24 дня. На эту область оказывают влияние воздушные массы, приходящие с Черного моря, а также с Атлантического океана [7].

Рассмотрим распределение КВ для числа дней со снежным покровом (рис. 6). Распределение крайне неоднородно. Область максимальных значений наблюдается на юге ЕТР, самые большие значения, достигающие 180% в г. Краснодар. Следует отметить, что коэффициент вариации может быть более 100%, что, в частности, может быть при наличии значений, сильно отличающихся от средней величины. Такой результат означает, что в исследуемой совокупности сильна вариация признаков по отношению к средней величине. Неподальёу, в г. Керчь находится область минимальных значений КВ. Там он составляет около 0%, что можно объяснить тем, что снежный покров в Керчи не устанавливается, а, следовательно, нет вариации по этому признаку. Далее до долготы 45° распределение на юге имеет зональный характер, после долготы 50° он становится меридиональным.

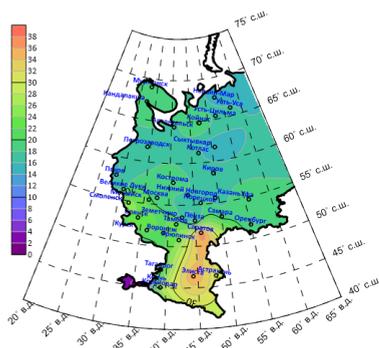


Рисунок 5 – СКО продолжительности периода со снежным покровом

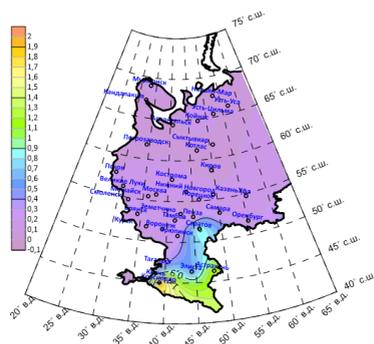


Рисунок 6 – КВ продолжительности периода со снежным покровом

Так, в г. Саратов и Астрахань эти значения сравнительно велики (90% и 120% соответственно). В юго-западной части, севернее 45° с.ш. по линии городов Элиста, Урюпинск и Воронеж значения КВ резко падают. Значения в них составляют 60%, 25% и 20% соответственно. Севернее 52,5° с.ш. распределение можно назвать зональным. В среднем в центральной части ЕТР значение КВ составляет 10%. Далее идет пояс более пониженных значений. Это такие города, как Киров, Котлас, Петрозаводск, Усть-Уса. В них значение КВ составляет около 7-8%. Чуть большие значения наблюдаются на побережье, около океана, в г. Мурманск, Койнас и Усть-Цильма. Они также, как и в центральной части составляют порядка 10%. Область чуть более высоких значений наблюдается и в г. Брянск и Смоленск. Там коэффициент вариации равен примерно 20%, что указывает на большую, чем вокруг изменчивость. Это можно связать с менее континентальным климатом западной части ЕТР.

На основании выполненного исследования можно сделать следующие *выводы*:

1. Распределение всех рассматриваемых характеристик имеет преимущественно зональный характер, при движении на восток происходит смещение значений характеристик, связанное с увеличением континентальности климата. Так, самый долгий период залегания снежного покрова (209 дней в Усть-Цильме), его большая максимальная высота (77 см в Койнасе) свойственны северо-восточной области, тогда как обратные значения принадлежат юго-западной части рассматриваемой территории, где снежный покров зачастую не устанавливается.

2. Области максимальных значений СКО локализованы преимущественно на юге ЕТР для временных характеристик снежного покрова.

3. Области максимальных значений КВ сосредоточены на юге для всех

рассматриваемых характеристик. Большая часть ЕТР, располагающаяся севернее 50°с.ш., отличается однородностью характера распределения, относительно невысокими значениями величины КВ.

Список литературы

1. Алисов Б.П. Климат СССР. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1969. - 127 с.
2. Атмосферно-циркуляционные процессы и метеорологические условия в Среднем Поволжье [Сборник статей] / Под науч. ред. проф. Н.В. Колобова. - Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1972. - 119 с.
3. Булыгина О.Н., Коришнова Н.Н., Разуваев В.Н. Мониторинг снежного покрова на территории Российской Федерации // Труды Гидрометцентра России. - 2017. - Вып. 366. - С. 87-96.
4. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Часть: Метеорологические наблюдения на станциях. Вып. 3. - Л: Гидрометеиздат, 1985. – 92 с.
5. Попова В.В., Ширяева А.В., Морозова П.А. Сроки установления снежного покрова на севере Евразии: прямые и обратные связи с крупномасштабной атмосферной циркуляцией // Лёд и снег – 2014. - №3(127) – С. 39-49.
6. Рихтер Г.Д. Снежный покров, его формирование и свойства – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1945. - 120 с.
7. Шакирзянов Р.И., Разуваев В.Н. Изменения в методиках наблюдения за состоянием снежного покрова на территории Российской Федерации // Труды ВНИИГМИ-МЦД. - 2000. - Вып.167. - С 41-51.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕТАЛИЗИРОВАННОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ МЕГАПОЛИСА САНКТ-ПЕТЕРБУРГ НА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПО ДАННЫМ МОДЕЛИ WRF-CHEM

Черкашин Д.М., Неробелов Г.М.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
denny.axov@gmail.com

Аннотация. В исследовании рассматривается оценка разности метеорологических (температура воздуха, скорость ветра, отношение смеси водяного пара) и химических величин (отношение смеси SO₂ и CO) с учетом детализированной и упрощенной городской застройки мегаполиса Санкт-Петербурга.

Ключевые слова. WRF-Chem, городская застройка, Санкт-Петербург

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF DETAILED URBAN DEVELOPMENT OF ST. PETERSBURG ON METEOROLOGICAL MEGAPOLIS AND CHEMICAL VALUES ACCORDING TO THE WRF-CHEM MODEL DATA

Cherkashin D.M., Nerobelov G.M.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), Saint-Petersburg

Annotation. In study considers assessment of the difference of meteorological (temperature air, wind velocity, water vapor mixing ratio) and chemical values (SO₂ and CO mixing ratio) taking into account the detailed and simplified urban development of St. Petersburg megapolis.

Key words. WRF-Chem, urban development, St. Petersburg.

В условиях мегаполисов существенное влияние оказывается на окружающую среду, в том числе и на метеорологические особенности в пределах городской среды [1]. Такими особенностями является эффект городского острова тепла, развитие опасных

конвективных погодных явлений, включая интенсивные осадки и грозы, а также эмиссии от различных городских источников. Для учета данных особенностей в численных моделях атмосферы используются параметризации, описывающие взаимодействие урбанизированной подстилающей поверхности с атмосферой [2]. Кроме того, используется классификация локальных климатических зон для улучшения согласованности и точности городского климата [3].

С целью изучения и оценки влияния учета детализированной городской застройки мегаполиса Санкт-Петербург на метеорологические и химические величины были проведены два численных эксперимента.

В исследовании использовалась мезомасштабная гидродинамическая модель WRF-Chem. Используемая сетка включала два домена, один из которых является материнской сеткой, а второй вложенной. Первый домен покрывает некоторую часть Северо-Западной России, часть Скандинавии и северо-восток Европы с пространственным разрешением 5 км. Второй домен включает Ленинградскую область, Финский залив и юго-западную часть Ладожского озера с пространственным разрешением 1 км.

В качестве данных использовались результаты численного моделирования WRF-Chem (за период 3-8 июля 2021 года с временным интервалом за каждый час) с учетом детализированной и упрощенной застройки мегаполиса Санкт-Петербург по температуре воздуха, скорости ветра, отношению смеси водяного пара, отношению смеси SO₂ и отношению смеси CO. Данные представлены в виде пространственно-временного распределения метеорологических и химических величин на разных вертикальных высотах.

В первом случае использовалась усложненная классификация городской застройки, которая покрывают городскую среду 11 классами. Локальные климатические зоны характеризуют поверхности с однородным покрытием, структурой, материалами, которые простираются от сотен метров до нескольких километров в горизонтальном масштабе. Урбанизированные поверхности включают такие локальные климатические зоны, как компактная многоэтажная застройка, компактная среднеэтажная застройка, компактная малоэтажная застройка, открытая многоэтажная застройка, открытая среднеэтажная застройка, открытая малоэтажная застройка, мелкая малоэтажная застройка, крупная малоэтажная застройка, слабо-застроенная зона и промышленная зона. В последний класс, включающий природные поверхности, входят плотные деревья, редкие деревья кустарники, низкая растительность, голые скалы, голая почва/песок и вода [3]. Кроме того, использовалась параметризация физики городской среды, встроенная в WRF-Chem – BEP или Building Effect Parametrization, которая описывает сложное физическое взаимодействие между нижним слоем атмосферы и территорией города [4].

Во втором случае использовалась стандартная классификация городской застройки USGS без параметризации физики городской поверхности.

Анализ показал, что разность между данными численного моделирования с учетом детализированной и упрощенной застройки мегаполиса Санкт-Петербург в пределах городской среды температура воздуха варьируется в среднем (рисунок 1), скорость ветра м/с (рисунок 2), отношения смеси водяного пара (рисунок 3), отношения смеси SO₂ (рисунок 4) и отношения смеси CO 75 в зависимости от времени суток. Наибольшее значение разности наблюдается в ночное время, иногда и в утреннее, а наименьшее в дневное время суток. Помимо этого, с высотой разность между данными численного моделирования уменьшается и становится менее существенна или варьируется около 0.

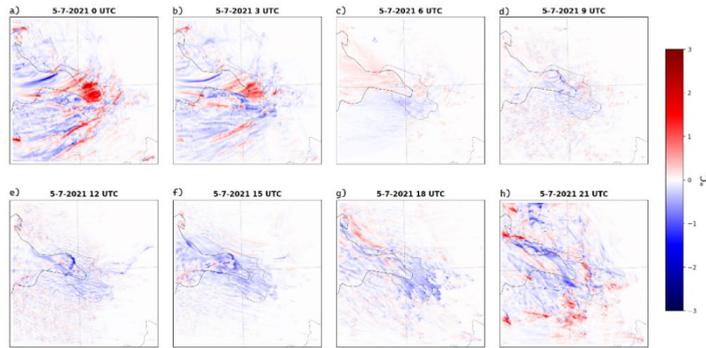


Рисунок 1 – Пространственное распределение разности между температурой воздуха у поверхности земли за 0 (a), 3 (b), 6 (c), 9 (d), 12 (e), 15 (f), 18 (g) и 21 (h) UTC по данным моделирования WRF-Chem с учетом детализированной и упрощенной городской застройки мегаполиса Санкт-Петербурга

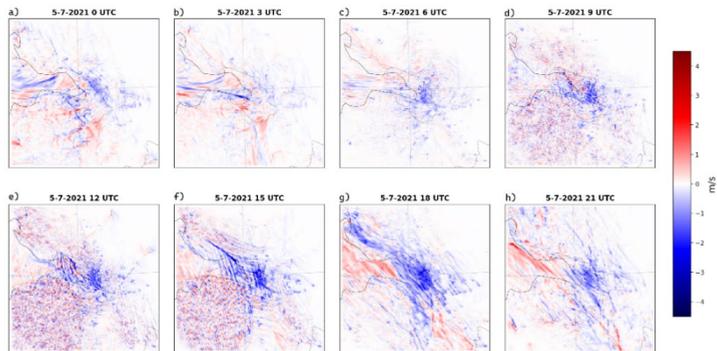


Рисунок 2 – Пространственное распределение разности между скоростью ветра у поверхности земли за 0 (a), 3 (b), 6 (c), 9 (d), 12 (e), 15 (f), 18 (g) и 21 (h) UTC по данным моделирования WRF-Chem с учетом детализированной и упрощенной городской застройки мегаполиса Санкт-Петербурга

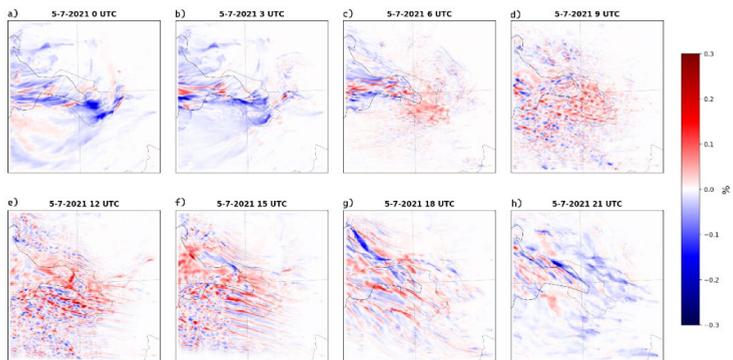


Рисунок 3 – Пространственное распределение разности между отношением смеси водяного пара у поверхности земли за 0 (a), 3 (b), 6 (c), 9 (d), 12 (e), 15 (f), 18 (g) и 21 (h) UTC по данным моделирования WRF-Chem с учетом детализированной и упрощенной городской застройки мегаполиса Санкт-Петербурга

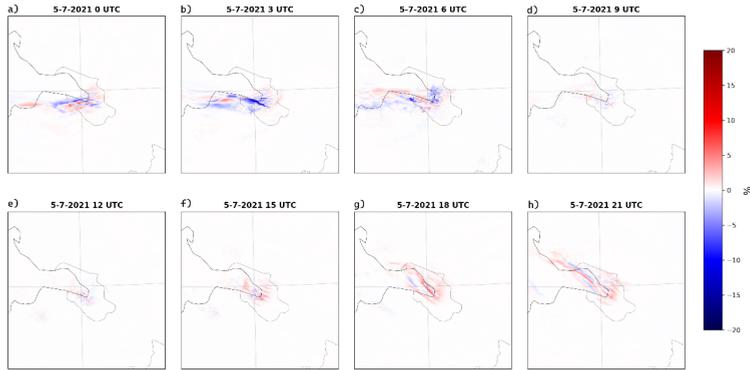


Рисунок 4 – Пространственное распределение разности между отношением смеси SO_2 у поверхности земли за 0 (a), 3 (b), 6 (c), 9 (d), 12 (e), 15 (f), 18 (g) и 21 (h) UTC по данным моделирования WRF-Chem с учетом детализированной и упрощенной городской застройки мегаполиса Санкт-Петербург

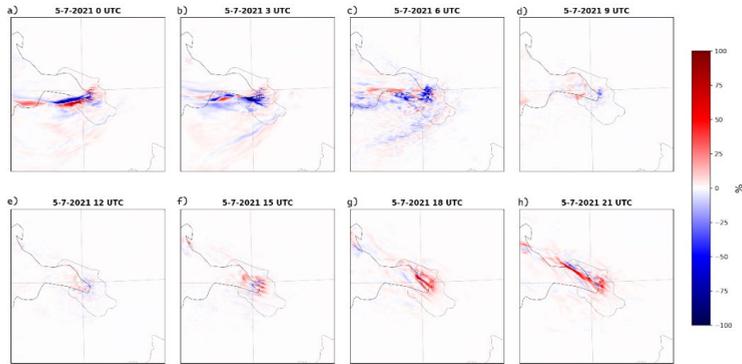


Рисунок 5 – Пространственное распределение разности между отношением смеси CO у поверхности земли за 0 (a), 3 (b), 6 (c), 9 (d), 12 (e), 15 (f), 18 (g) и 21 (h) UTC по данным моделирования WRF-Chem с учетом детализированной и упрощенной городской застройки мегаполиса Санкт-Петербург

Исследование выполнено при поддержке РНФ (грант № 23-77-30008) (<https://rscf.ru/project/23-77-30008>)

Список литературы

1. Varentsov, M., Wouters, H., Platonov, V., Konstantinov, P. Megacity-induced mesoclimatic effects in the lower atmosphere: A modeling study for multiple summers over Moscow, Russia //Atmosphere. – 2018. – Т. 9. – №. 2. – С. 50.
2. Tarasova M. A., Varentsov M. I., Stepanenko V. M. Parameterization of the interaction between the atmosphere and the urban surface: Current state and prospects //Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. – 2023. – Т. 59. – №. 2. – С. 111-130.
3. Stewart I. D., Oke T. R. Local climate zones for urban temperature studies //Bulletin of the American Meteorological Society. – 2012. – Т. 93. – №. 12. – С. 1879-1900.
4. Martilli A., Clappier A., Rotach M. W. An urban surface exchange parameterisation for mesoscale models //Boundary-layer meteorology. – 2002. – Т. 104. – С. 261-304.

**ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ОТОПИТЕЛЬНОГО СЕЗОНА НА ТЕРРИТОРИИ УДМУРТСКОЙ
РЕСПУБЛИКИ**

Асыллова Д.Д., Мирсаева Н.А.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань
asylova.diana@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена динамика изменения метеорологических параметров отопительного сезона на территории Удмуртской Республики таких, как продолжительность отопительного сезона, число градусо-дней, сумм температур отопительного сезона и среднесуточных температур за отопительный сезон. Так, в период 1977-2021 гг. прослеживается уменьшение продолжительности отопительного сезона по всей рассматриваемой территории, а также рост сумм температур и среднесуточных температур.

Ключевые слова. Отопительный сезон, среднесуточные температуры, суммы температур, число градусо-дней, продолжительность отопительного периода, Удмуртская Республика.

**DYNAMICS OF CHANGES IN METEOROLOGICAL PARAMETERS OF THE
HEATING SEASON IN THE TERRITORY OF THE UDMURT REPUBLIC**

Asylova D.D., Mirsaeva N.A.

Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan

Annotation. The dynamics of changes in the meteorological parameters of the heating season in the territory of the Udmurt Republic, such as the duration of the heating season, the number of degree days, the sum of the temperatures of the heating season and the average daily temperatures for the heating season, are considered. Thus, in the period 1977-2021, there was a decrease in the duration of the heating season throughout the territory under consideration, as well as an increase in the sum of temperatures and average daily temperatures.

Keywords. Heating season, average daily temperatures, temperature totals, number of degree days, duration of the heating period, Udmurt Republic.

Отопительный сезон (ОС) – это часть года, в который требуется дополнительный обогрев помещений. Климатология отопительного сезона во многом повторяет климатологию холодного периода (период времени с устойчивой среднесуточной температурой воздуха ниже 0°C), занимающего в среднем 74 % длительности сезона. Временными границами отопительного сезона в большинстве регионов России принято считать даты устойчивого перехода среднесуточной температуры наружного воздуха через +8 °С осенью и весной. В то же время в течение определенного отрезка времени среднесуточная температура воздуха может колебаться как в большую, так и в меньшую сторону от 8 °С [1].

В качестве исходных данных использовались среднесуточные данные по температуре воздуха и суммам атмосферных осадков на территории Удмуртской республики (ст. Ижевск, Воткинск, Глазов, Дебесы, Игра, Можга, Сарапул, Селты) за период с 1977 по 2021 гг. Данные взяты из климатического архива ВНИИГМИ-МЦД [2].

Для изучения динамики многолетних характеристик отопительного сезона строились графики изменения продолжительности ОС, числа градусо-дней за ОС, суммы температур за ОС и среднесуточные температуры ОС по годам для станций Удмуртской Республики, а также для всей территории республики в целом.

Исходя из того, что на всех станциях Удмуртской Республики прослеживается примерно одинаковая тенденция изменения характеристик, то рассмотрим динамику на примере станции Ижевск и всей территории Удмуртской Республики.

На станции Ижевск (рисунок 1) удельное теплопотребление зданий и

продолжительность отопительного сезона имеют тенденцию уменьшения и их значения уменьшения составляют 132,6 градусо-дней/10 лет и 1,7 дней/10 лет соответственно. Минимальное значение продолжительности отопительного сезона отмечается в 2019-2020 гг. и составляет 194 дня, а максимальное значение наблюдается в 2003-2004 гг. и составляет 239 дней. Минимум числа градусо-дней принимает значение 3982 и отмечается в 2019-2020 гг., а максимум принимает значение 6030 градусо-дней и отмечается в 2078-1979 гг.

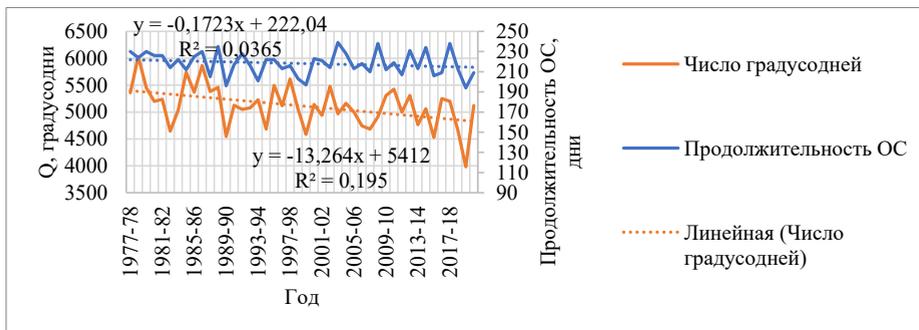


Рисунок 1 – Межгодовые изменения продолжительности ОС и числа градусо-дней за ОС на ст. Ижевск за 1978- 2021 гг.

Исходя из того, что на всех станциях Удмуртской Республики (рисунок 2), имеется тенденция уменьшения продолжительности отопительного сезона и числа градусо-дней, то по всей территории тоже имеется отрицательная тенденция, что и видно на рисунке 38. Уменьшение продолжительности отопительного сезона на всей территории в целом составляет 0,9 дней/10 лет, а удельное теплосодержание зданий уменьшается на 118,9 градусо-дней/10 лет. Минимальное значение продолжительности отопительного сезона по всей территории отмечается в 2019-2020 гг. и составляет 196 дней, а максимальное значение отмечается в 2008-2009 гг. и составляет 236 дней. Минимум числа градусо-дней принимает значение 3922 и наблюдается в 2019-2020 гг., а максимум принимает значение 5902 и наблюдается в 1978-1979 гг.

Основываясь на вышесказанном, можно сделать вывод о том, что в последние десятилетия сократилась продолжительность отопительного сезона и, соответственно, потребность в топливе для нужд обогрева помещений в рассматриваемом регионе. Это заключение согласуется с научными исследованиями Б.Г. Шерстюкова [3] и Борзенкова А.В., Шмакина А.Б. [4].

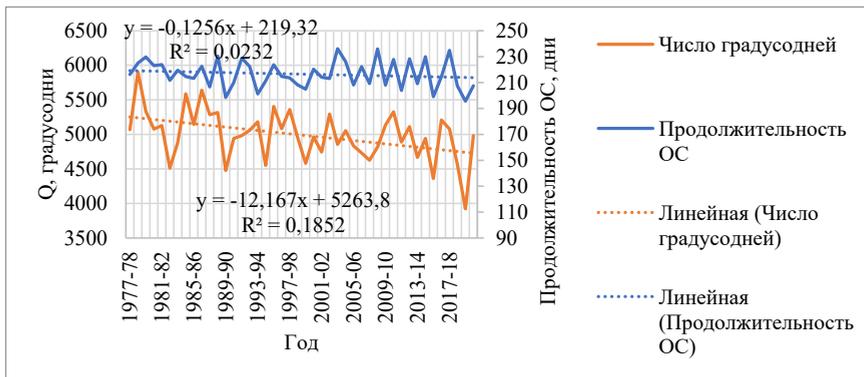


Рисунок 2 – Межгодовые изменения продолжительности ОС и числа градусо-дней за ОС за каждый год на территории Удмуртской Республики

Сумма температур за отопительный сезон и среднесуточные температуры на станции Ижевск (рисунок 3) имеют положительную тенденцию за рассматриваемый период. Увеличение составляет 91,7°С/10 лет и 0,4°С/10 лет соответственно. Годовые изменения сумм температур за отопительный сезон совпадают с годовыми изменениями среднесуточных температур отопительного сезона, так как эти характеристики имеют тесную взаимосвязь между собой. Как видно на рис. 35, который был представлен выше, период с самым продолжительным отопительным сезоном (2003-04) совпадает с периодом одних из самых максимальных значений характеристик отопительного сезона, представленных на графике (рисунок 1).

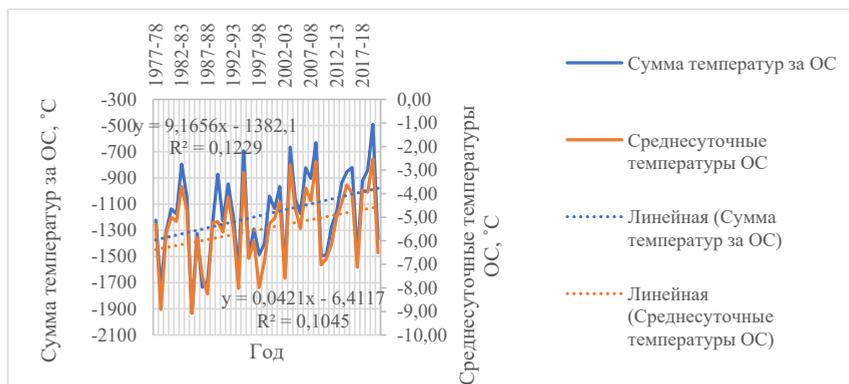


Рисунок 3 – Межгодовые изменения сумм температур за ОС и среднесуточных температур ОС за каждый год на ст. Ижевск

На всей территории УР наблюдается положительная тенденция таких характеристик, как сумма температур за отопительный сезон и среднесуточные температуры отопительного сезона. Их увеличение составляет на всей территории 91,3°С/10 лет и 0,4°С/10 лет соответственно. Так же можно заметить, что на рисунке 4 графики сумм температур за отопительный сезон и среднесуточных температур отопительного сезона по всей территории республики взаимосвязаны между собой и имеют схожий характер. Из графика продолжительности отопительного сезона (рисунок 2), который был представлен выше, можно заметить, что период с самым максимальным значением продолжительности (2008-2009 гг.) совпадает с периодом одних из самых

высоких значений характеристик, которые представлены на графике (рис 4).

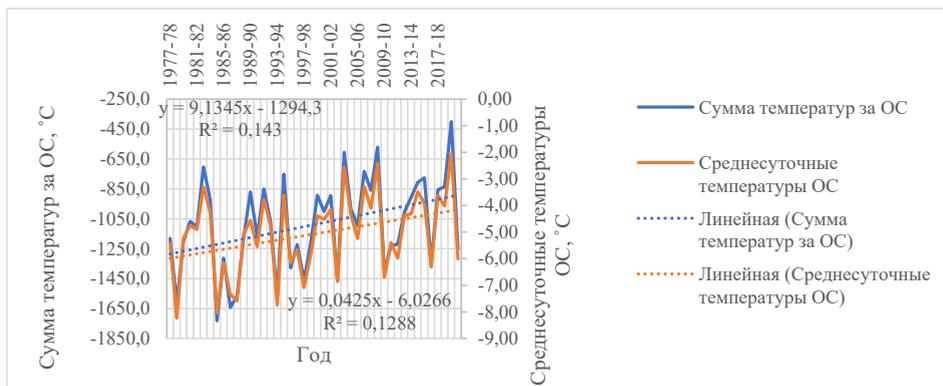


Рисунок 4 – Межгодовые изменения сумм температур за ОС и среднесуточных температур ОС за каждый год на территории Удмуртской Республики

Список литературы

1. Носырева О.В. Многолетний режим начала и окончания отопительного сезона в Томске / О. В. Носырева, Л. И. Кижнер, Н. К. Барашкова // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы [Электронный ресурс]: материалы XXV Международного симпозиума, 30 июня - 5 июля 2019 года, Новосибирск: труды. Томск, 2019. С. 212-215. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000788148> (дата обращения: 10.01.2025).
2. ГУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных». URL: <http://meteo.ru/> (дата обращения: 10.02.2025)
3. Шерстюков Б.Г., Разуваева В.Н. Климатические условия отопительного периода в России в XX и XXI веках / Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2007. – Вып. 173. – С. 163–169.
4. Борзенкова А.В., Шмакин А.Б. Современные изменения климатических характеристик отопительного периода в России и их связь с атмосферной циркуляцией / Известия Российской академии наук. Сер. геогр. – 2013. – №4. – С. 61-71.

РАЗРАБОТКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СИМУЛЯТОРА ДЛЯ АНАЛИЗА СИНОПТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ В КАРЕЛИИ РЕДКОГО ОПАСНОГО ЯВЛЕНИЯ ПОГОДЫ

Евграфова С.О., Ефимова Ю.В., Подгайский Э.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
islins@icloud.com

Аннотация. В работе проведен детальный анализ синоптической ситуации, приведшей к возникновению редкого для Карелии явления — смерча 19 июля 2024 года. На основе данных метеорологических наблюдений, спутниковых снимков, результатов аэрологического зондирования и численного моделирования выявлены ключевые факторы, способствовавшие формированию смерча, включая особенности атмосферной циркуляции, вертикальный сдвиг ветра, температурные аномалии и влажностные характеристики. В рамках исследования разработан интерактивный симулятор, предназначенный для обучения студентов наукастингу и синоптическому прогнозированию. Симулятор позволяет моделировать различные сценарии развития опасных явлений погоды и отрабатывать навыки их прогнозирования. Результаты

работы могут быть использованы для повышения качества подготовки специалистов в области метеорологии, а также для улучшения понимания механизмов формирования смерчей в условиях северных регионов.

Ключевые слова. Смерч, синоптический анализ, образовательный симулятор, наукастинг, прогнозирование ОЯП.

DEVELOPMENT OF AN EDUCATIONAL SIMULATOR FOR THE ANALYSIS OF SYNOPTIC CONDITIONS LEADING TO A RARE SEVERE WEATHER EVENT IN KARELIA

Evgrafova S.O., Efimova Yu.V., Podgaiskii E.V.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), Saint-Petersburg

Annotation. The paper presents a detailed analysis of the synoptic situation that led to the formation of a tornado in Karelia on July 19, 2024, a rare phenomenon for the area. Based on meteorological observations, satellite images, upper-air soundings and NWP modeling, the key factors that contributed to the tornado formation were studied, including atmospheric circulation patterns, vertical wind shear, temperature anomalies, and humidity. As part of the study, an interactive simulator was developed for teaching students nowcasting and synoptic forecasting techniques. The simulator allows recreating various scenarios for the development of severe weather events and mastering the forecasting skills. The results of the work can be used to improve the quality of meteorologists training, as well as to improve the understanding of tornado formation mechanisms in the northern regions.

Keywords. Tornado, synoptic analysis, educational simulator, nowcasting, forecasting of severe weather phenomena.

Смерч представляет собой мощный атмосферный вихрь с вертикальной или изогнутой осью, формирующийся под облаками. Он имеет вид темного столба диаметром в несколько десятков метров, опускающегося в виде воронки из кучево-дождевого облака. Скорость ветра в смерче достигает 50–100 м/с, вызывая разрушения на земле, при этом вращение атмосферного вихря может происходить как по часовой стрелке, так и в противоположном направлении. Смерч на суше также называется тромбом, или торнадо [1]. Смерчи на суше имеют четкие годовые и суточные циклы: они чаще всего образуются с мая по август, с пиком в июне, и в дневное время, с максимумом в 17:00–18:00 по местному времени. [2]

Несмотря на то, что многочисленные исследователи на протяжении десятилетий активно занимаются проблемой смерчей, к настоящему времени отсутствует полная и достаточно убедительная теория, объясняющая причины возникновения, функционирования и естественного исчезновения таких явлений. [3]

В частности, исследование причин возникновения смерчей продолжает оставаться актуальной научной проблемой, что обусловлено сложностью и многофакторностью данного атмосферного явления. Формирование смерча представляет собой результат взаимодействия ряда ключевых атмосферных процессов. Одним из основных факторов является атмосферная неустойчивость, которая возникает при столкновении теплого и влажного воздуха у поверхности земли с холодным и сухим воздухом в верхних слоях атмосферы. Такая стратификация атмосферы создает условия для развития интенсивной конвекции, способствующей развитию мощных кучево-дождевых облаков. Формирующиеся восходящие потоки способствуют подъему и усилению вращения воздушных масс. Эти потоки, возникающие в пределах грозовых облаков, создают необходимые условия для развития смерчей.

Важную роль в процессе формирования смерчей играет вертикальный сдвиг ветра, характеризующийся различиями в скорости и направлении ветра на разных высотах. Этот сдвиг инициирует горизонтальное вращение воздушных масс, которое при

наличии восходящих потоков может трансформироваться в вертикальное вращение, создавая предпосылки для образования вращающегося столба воздуха. Внутри мощных грозовых облаков может развиваться мезоциклон — локальная область вращения, которая служит основным предшественником смерча [4]. Изучение этих процессов имеет важное значение для улучшения понимания и прогнозирования данного опасного явления.

Статистические данные показывают [2], что смерчи в Северной Евразии, хотя и редки, не являются настолько исключительными, как считалось ранее. По данным о повторяемости смерчей на территории России [5], западная часть Ленинградской области входит в зону с частотой возникновения смерчей 1 явление на 1000 км² в 2-5 лет, тогда как Республика Карелия – в зону повторяемости смерчей менее 1 раза на 1000 км² за 10 лет. По актуальным данным архива ESWD [6] за 2018–2024 гг., подтверждают эти выводы. Вместе с тем, в контексте климатических изменений рядом ученых высказываются предположения о возможном росте повторяемости на территории России опасных явлений погоды, в том числе и конвективных явлений, таких как смерчи [7].

Объективный прогноз смерчей с достаточно большой заблаговременностью (12–36 ч) как в России, так и в мире, до настоящего времени является актуальной и пока не решенной проблемой синоптической практики [8]. Относительная редкость явления приводит к тому, что многие прогнозисты с ним не сталкиваются в течение всей своей профессиональной карьеры. В этой ситуации для обучения прогнозистов может быть полезно применение технологии образовательных симуляторов.

Большинство симуляторов представляют собой программные инструменты для просмотра изображений со встроенными часами, которые позволяют преподавателю контролировать скорость потока входных данных и время принятия решений. Некоторые симуляторы могут задавать задачи обучающимся и предоставлять персонализированную обратную связь на основе их действий. Европейская организация по эксплуатации метеорологических спутников EUMETSAT разработала общедоступный плагин для Moodle на основе JavaScript для создания образовательных симуляторов. Этот плагин позволяет создавать симуляторы на основе специально подобранного массива изображений (спутниковых снимков, карт приземного анализа, высотных карт, радиолокационных изображений, аэрологических диаграмм и т.п.), доступ к которым может открываться обучаемому в заданное время. Более продвинутые симуляторы поддерживают ветвление сценариев, что позволяет обучающимся принимать решения и видеть их последствия [9].

С помощью симуляторов можно создать безопасную среду для обучающихся, где они могут получить опыт, пройти обучение и получить оценку своих умений и знаний. Прототип образовательного симулятора на примере случая возникновения смерча в районе озера Шотозеро в Республике Карелия 19 июля 2024 года был создан на платформе EUMETSAT. [10]

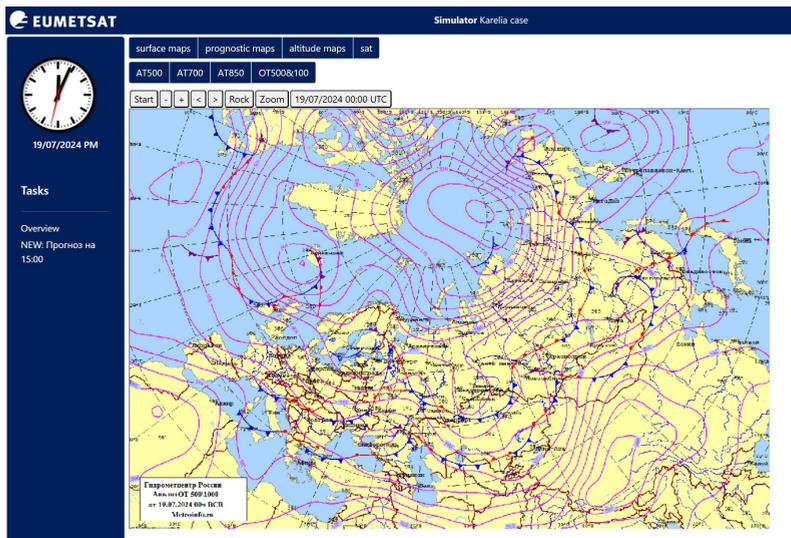


Рисунок 1 – Снимок экрана с разработанным прототипом образовательного симулятора по материалам смерча над Шотозером в Республике Карелия 19 июля 2024 года

Важной частью любого образовательного симулятора является детальный разбор синоптической ситуации, предшествовавшей опасному явлению погоды, на обучение прогнозированию которого нацелен симулятор.

Рассмотрим синоптическую ситуацию, сопутствующую формированию смерча в Карелии 19.07.2024. Для анализа синоптической ситуации были привлечены приземные, высотные и кольцевые карты погоды за период: сутки до возникновения смерча и в сутки его наблюдения.

Смерч был зафиксирован 19.07.2024 г. в 15 ч 15 минут по всемирному скоординированному времени (UTC) в районе Шотозеро. Озеро Шотозеро расположено в южной части Республики Карелия, между Ладожским и Онежским озерами. Координаты озера: $61^{\circ}47'02''$ с. ш. $32^{\circ}59'10''$ в. д. Высота над уровнем моря составляет 91 м.

18.07.2024 года над территорией исследования располагалась малоградиентная ложбина. Ей соответствовала окклюдированная фронтальная система. Фронт окклюзии пролегал от южной части Белого моря до Ботнического залива. Зона холодного фронта проходила через Онежское озеро, то есть область исследования находилась за холодным фронтом. Судя по спутниковым снимкам, холодный фронт, проходящий через рассматриваемую территорию, смещен в восточном направлении относительно фронта, проведенного на карте гидрометцентра. Фронт имеет четкие границы.

Анализ высотных карт погоды показал, что на высотах также наблюдается малоградиентное поле геопотенциала.

В ночное время (19.07.2024, 00 UTC) на территории между Ладожским и Онежским озером наблюдались высокие контрасты температур, достигающие до $7,3^{\circ}\text{C}$: в 00 часов в Олонце $10,7^{\circ}\text{C}$, на соседней станции в Винницах температура составляла $16,6^{\circ}\text{C}$, чуть восточнее, в Пудоже, $18,0^{\circ}\text{C}$. Шотозеро находилось в зоне температурных контрастов. Необходимо отметить, что во время формирования смерча наблюдались ветра западных направлений, выносящие влажный воздух с районов Ладоги. Днем значительных контрастов на территории исследования не было (максимум $2,9^{\circ}\text{C}$ в 15

UTC).

В результате анализа спутниковых снимков можно сделать вывод об усилении облачности над районом исследования к вечернему сроку. Зона конвективной облачности, развиваясь, смещалась с северо-запада. К 12 часам по UTC подошла к границе Шотозера и в срок наблюдения фиксировалась над всей территорией водоема.

При рассмотрении карты АТ-850 за 19.07.2024 00ч UTC можно отметить, что в зоне исследования, западнее Ладоги наблюдалась ложбина холода, а восточнее Онеги - ложбина тепла.

В течение всего дня 19.07.2024 года по югу рассматриваемой области наблюдались грозы, ливни, и сильная конвективная облачность, что свидетельствует о неустойчивости атмосферы.

В результате исследования следует отметить, что для обоснованных выводов по влиянию синоптической ситуации на формирование смерча необходимо большее количество проанализированных случаев. Предполагается в дальнейшем продолжать работу в этом направлении.

Список литературы

1. Метеорологический словарь / С. П. Хромов, Л. И. Мамонтова. - 3-е изд., перераб. и доп. - Ленинград: Гидрометеоиздат, 1974. - 568 с.
2. *Chernokulsky A. et al.* Tornadoes in Northern Eurasia: From the middle age to the information era. *Monthly Weather Review*, 2020, 148(8), pp. 3081–3110.
3. *Баутин С.П.* Торнадо и сила Кориолиса / С.П. Баутин. - Новосибирск: Наука, 2008. - 96 с.
4. *Вараксин А.Ю., Копейцев В.Н., Ромаши М.Э.* Торнадо – Москва: Физматлит, 2011. – 344 с.
5. *Кобышева Н.В., Кобышев Е.А.* Районирование территории России по степени опасности смерчей // *Природные опасности России*. Т. 5: Гидрометеорологические опасности, 2001. С. 165–167.
6. European Severe Weather Database (ESWD) URL: <https://www.eswd.eu/> (дата обращения: 03.03.2024).
7. *Шихов А.Н., Тарасов А.В.* Идентификация случаев возникновения смерчей в лесной зоне по многолетним рядам данных дистанционного зондирования Земли // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. Т. 13. № 3. С. 84–94.
8. *Акимов В.А., Дурнев Р.А., Соколов Ю.И.* Опасные гидрометеорологические явления на территории России / МЧС России. — М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2009. — 316 с.: ил.
9. *Heleen ter Pekwijk et al.* Simulations for meteorological training and assessment. WMO Global Campus Innovations Volume IV - Technology-enhanced Learning, 2020. – pp.18-27.
10. EUMETSAT. Simulator creator URL: <https://sims.trainhub.eumetsat.int/welcome> (дата обращения: 03.03.2024).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ПРОПУСКОВ В РЯДАХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПРИЗЕМНЫМИ КОНЦЕНТРАЦИЯМИ CO₂ И CH₄ В РАЙОНЕ ОБСЕРВАТОРИИ ТИКСИ

Кочеткова Е.Д.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург

Аннотация. В работе рассматривается возможность использования данных реанализа для климатического мониторинга в районе обсерватории Тикси. Проведен сравнительный анализ суточных концентраций приземного CO₂, полученных из натурных измерений и данных реанализа CAMS ECMWF. Исследованы сезонные и статистические характеристики расхождений, оценена корреляция между временными рядами и возможность восстановления пропущенных значений. Полученные результаты позволяют определить степень применимости данных реанализа приземных концентраций основных парниковых газов для мониторинга климатических процессов в регионе.

Ключевые слова. Арктика, парниковые газы, модель CAMS, реанализ.

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF USING REANALYSIS DATA TO FILL GAPS IN TIME SERIES OF SURFACE CO₂ AND CH₄ CONCENTRATIONS IN THE TIKSI OBSERVATORY AREA

Kochetkova E.D.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St. Petersburg
Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg

Annotation. This study examines the feasibility of using reanalysis data for climate monitoring in the Tiksi Observatory area. A comparative analysis was conducted on the daily surface CO₂ concentrations obtained from in situ measurements and CAMS ECMWF reanalysis data. Seasonal and statistical characteristics of discrepancies were analyzed, along with the correlation between time series and the possibility of reconstructing missing values. The results obtained help determine the applicability of reanalysis data on surface concentrations of major greenhouse gases for climate process monitoring in the region.

Keywords. Arctic, greenhouse gases, CAMS model, reanalysis.

Изучение динамики концентраций климатически активных газов в атмосфере является важной задачей климатического мониторинга, особенно в регионах с высокой чувствительностью к изменениям климата, таких как Арктика. Долговременные измерения концентраций CO₂ и CH₄ в обсерватории Тикси представляют собой ценный источник информации, однако натурные данные содержат пропуски из-за различных технических и метеорологических факторов. В последние годы в научной практике все чаще используются данные реанализа, которые могут служить важным источником информации для оценки климатических изменений в таких регионах.

Целью работы является анализ точности данных реанализа CO₂ и CH₄ в районе пос. Тикси. Результаты исследования позволят определить применимость данных реанализа для климатического мониторинга в районе обсерватории Тикси, а также могут быть полезны для дальнейшего изучения динамики углекислого газа в арктических условиях.

Гидрометеорологическая обсерватория Тикси (далее Тикси) расположена на побережье моря Лаптевых, залив Сого, бухта Тикси N 71°3' E 128°5', подробнее о станции и динамике концентраций климатически активных газов [1]. Данные о концентрациях углекислого газа и метана передаются с 2010 г., измерения производятся прибором Picarro G2301 с использованием четырех калибровочных газов. Первичная обработка до 2022 г. проводилась ГГО им. Воейкова, данные можно получить по запросу из мирового центра данных парниковых газов (WDCGG) [2] или непосредственно в Арктическом и Антарктическом научно-исследовательском институте, в данном случае запрошен архив ААНИИ с 2013 по 2022 гг.

Наиболее значительные пропуски в рядах наблюдений за приземными концентрациями углекислого газа и метана гидрометеорологической обсерватории Тикси приходятся на лето - осень 2017 г. и конец 2018 - начало 2019 гг. Открыто

предоставляемые ECMWF датасеты глобального реанализа парниковых газов CAMS (EGG4) в настоящее время охватывают период 2003 - 2020 гг. Однако точность реанализа для использования в климатическом мониторинге требует тщательной оценки, поскольку возможны систематические отклонения от фактических данных. Особенно важным является исследование сезонных изменений и возможностей использования реанализа для восстановления пропусков в данных.

Реанализ CAMS произведен с использованием ассимиляции данных 4DVar в CY42R1 Интегрированной системы прогнозирования (IFS) ECMWF с 60 гибридными уровнями сигма/давление (модель) по вертикали, с верхним уровнем 0,1 гПа [3]. Атмосферные данные доступны на этих уровнях, и они также интерполированы на 25 уровней давления, 10 потенциальных температур и 1 потенциальный уровень вихреобразования. Для исследования интерес представляют данные уровня 1000 гПа[4]. Стоит отметить, что ряды большей продолжительности можно получить из спутниковых наблюдений, например Metop-B или GOSAT, производящих наблюдения по настоящий момент; однако спутниковая информация дает сведения о среднем содержании газов в столбе атмосферного воздуха, поэтому зачастую эти данные плохо коррелируют с данными приземных наблюдений [5].

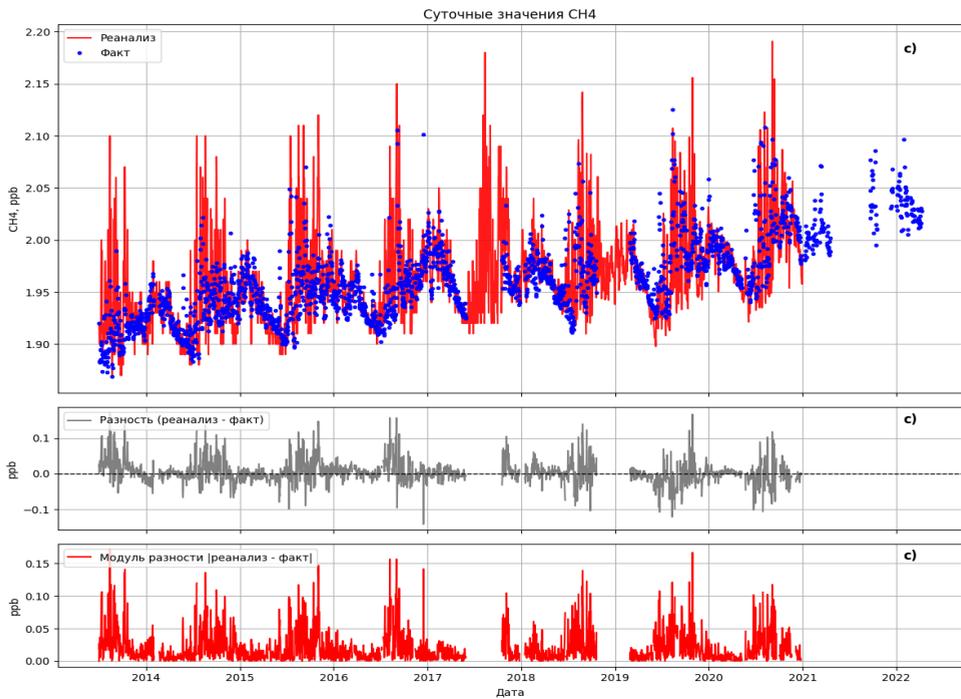
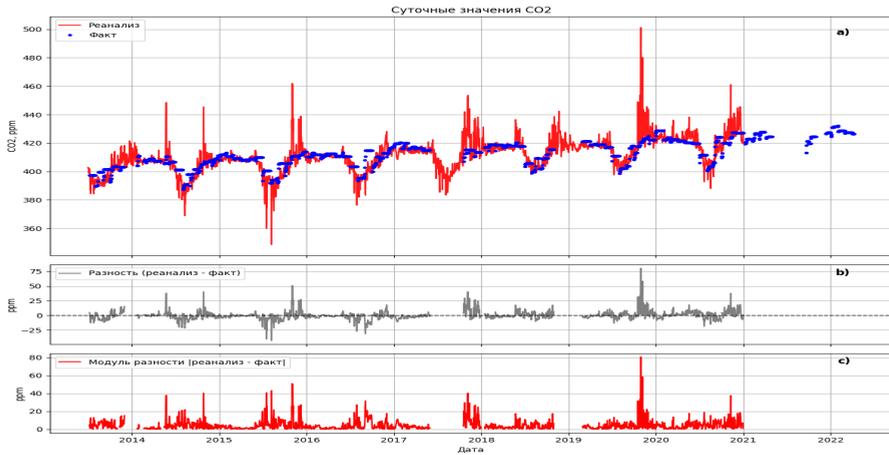
Далее на рис. 1 приведено сравнение рядов натуральных наблюдений и данных реанализа для концентраций углекислого газа в частицах на миллион.

Как можно видеть, в периоды начала и окончания вегетации наблюдается резкое колебание значений, связанное с изменениями в биологической активности. Значения в близких по времени точках могут значительно отличаться друг от друга, что указывает на высокую нестабильность процесса в этот период. В это время ошибки между рядами реанализа и натуральных наблюдений максимальны. В целом, наибольшие ошибки в ряду наблюдаются в экстремумах: значения реанализа имеют тенденцию к завышению вблизи максимумов и занижению вблизи минимумов, тем самым усиливая экстремумы.

Схожая картина наблюдается при анализе рядов среднесуточных концентраций метана (рис. 2), однако в данном случае модель в большинстве случаев с достаточной точностью описывает периоды минимальных концентраций.

В целом, реанализ воспроизводит основные тренды и сезонные колебания фактических измерений, в особенности это справедливо для случая рассмотрения среднемесячных значений (рис. 3)

Осреднение до месячных значений устраняет часть высокочастотного шума и делает различия между реанализом и фактическими данными менее выраженными, основные тренды и сезонные колебания сохраняются, но всплески в реанализе, заметные на суточных данных, становятся менее значимыми. Реанализ в целом хорошо воспроизводит долгосрочные тренды, присутствующие в обоих исследуемых рядах.



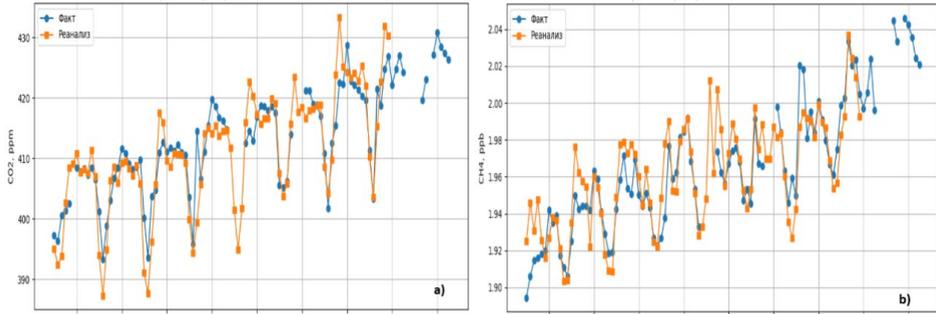


Рисунок 3 – Ряды среднемесячных значений концентраций основных парниковых газов, синим - фактические данные, оранжевым - данные реанализа; а) для рядов CO₂; б) для рядов CH₄

Для количественного анализа расхождений использовались метрики среднеквадратичной ошибки (RMSE) и среднеабсолютной ошибки (MAE); коэффициент корреляции Пирсона для оценки связи между данными фактических измерений и реанализа. Полученные значения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Некоторые статистические характеристики, описывающие связь между рядами фактических значений и реанализа для углекислого газа и метана.

	CO ₂		CH ₄	
	Среднесут.	Среднемес.	Среднесут.	Среднемес.
RMSE	7.091 ppm	4.364 ppm	0.031 ppb	0.015 ppb
MAE	4.411 ppm	3.234 ppm	0.020 ppb	0.011 ppb
Коэффициент корреляции Пирсона	0.796	0.907	0.701	0.881

Причем при аппроксимации рядов наблюдений линейной функцией ежегодный рост средних (фактических) значений составит примерно 0.011 ppb и 2.517 ppm для концентраций метана и углекислого газа соответственно.

Осреднение до месячных значений устраняет часть высокочастотного шума и делает различия между реанализом и фактическими данными менее выраженными, основные тренды и сезонные колебания сохраняются, но всплески в реанализе, заметные на суточных данных, становятся менее значимыми. Модель реанализа хорошо отслеживает долгосрочные тренды, присутствующие в обоих исследуемых рядах, коэффициент Пирсона в большинстве случаев указывает на высокую и очень высокую положительную корреляцию.

Проведенный анализ показал, что данные реанализа CAMS ECMWF хорошо воспроизводят сезонные тренды концентраций CO₂ и CH₄ в районе обсерватории Тикси, однако в периоды начала и окончания вегетации наблюдаются значительные расхождения, связанные с динамикой биологических процессов. Несмотря на это, реанализ может быть использован для восстановления пропусков в рядах наблюдений, в особенности при рассмотрении и оценке только среднемесячных показателей. Однако стоит иметь в виду тенденцию модели реанализа к усилению экстремумов максимума и минимума для рядов CO₂ и преимущественно максимумов - для рядов CH₄. В дальнейшем возможно использование методов машинного обучения или статистической коррекции для улучшения качества восстановления пропущенных значений.

Дополнительное исследование зависимости ошибок реанализа от климатических, синоптических и метеорологических факторов позволит уточнить границы его применимости для климатического мониторинга в Арктике.

Список литературы

1. Ивахов В.М., Парамонова Н.Н., Привалов В.И., Зинченко А.В., Лоскутова М.А., Макитас А.П., Кустов В.Ю., Лаурила Т., Аурила М., Асми Э. Атмосферная концентрация диоксида углерода на станциях Тикси и Мыс Баранова в 2010-2017 гг. – Метеорология и гидрология, 2019 г. Т. 44. №4. С. 291-299.
2. World data center for greenhouse gases: [Электронный ресурс] https://gaw.kishou.go.jp/search/gas_species. (Дата обращения: 18.02.2025)
3. ECMWF CAMS: Reanalysis data documentation: [Электронный ресурс] <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/CAMS%3A+Reanalysis+data+documentation#heading-CAMSGlobalgreenhousegasesreanalysisEGG4Parameterlistings>. (Дата обращения: 25.02.2025)
4. CAMS global greenhouse gas reanalysis (EGG4): [Электронный ресурс] <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/datasets/cams-global-ghg-reanalysis-egg4?tab=overview>. (Дата обращения 25.02.2025)
5. Оценки межгодовой изменчивости концентраций климатически активных газов и потоков энергии на стационарах ААНИИ, а также биогеохимических характеристик в Карском и Лаптевых морях: отчет. – ААНИИ, 2024.

АТМОСФЕРНЫЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛИ И ИХ ФИЗИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ В АРКТИКЕ

Ковригин Д.Д., Потапова И.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
dankov2003@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена проблеме загрязнения воздуха в Арктическом регионе черным углеродом. В ней рассматриваются физические процессы и методы исследования этой проблемы, а также возможные решения. Особое внимание уделяется важности контроля за промышленным развитием региона и соблюдения международных экологических норм. Также подчеркивается необходимость комплексного подхода к изучению атмосферных процессов в Арктике для разработки эффективных мер по снижению антропогенного воздействия. Важно обеспечить экологическую безопасность региона, что требует совместных усилий и соблюдения стандартов охраны окружающей среды.

Ключевые слова. Черный углерод, воздушные массы, аэрозольные станции, сила Кориолиса.

ATMOSPHERIC POLLUTANTS AND THEIR PHYSICO-ECOLOGICAL ASPECTS IN THE ARCTIC

Kovrigin D.D., Potapova I.A.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St. Petersburg

Annotation. The article is devoted to the problem of air pollution in the Arctic region by black carbon. It examines the physical processes and research methods of this problem, as well as possible solutions. Special attention is paid to the importance of monitoring the industrial development of the region and compliance with international environmental standards. The need for an integrated approach to the study of atmospheric processes in the Arctic is also emphasized in order to develop effective measures to reduce anthropogenic impact. It is important to ensure the environmental safety of the region, which requires joint efforts and compliance with environmental standards.

Keywords. Black carbon, air masses, aerosol stations, Coriolis force.

1. Актуальность.

Арктика имеет ключевое значение для глобальной климатической системы благодаря своим уникальным природным характеристикам. Любые нарушения природного баланса могут вызвать серьезные последствия не только для самой Арктики, но и для всей планеты. Мониторинг качества воздуха и оценка потенциальных рисков необходимы для смягчения негативных эффектов хозяйственной деятельности. Обеспечение экологической безопасности и устойчивое развитие Арктики требуют внимательного анализа взаимосвязей между физическими процессами в атмосфере и экосистемами. Исследования физических процессов и последствий загрязнения способствуют разработке научно обоснованных решений для более эффективного управления природными ресурсами и снижения антропогенной нагрузки.

2. Загрязнение атмосферы в Арктическом регионе

Исследование и контроль загрязнения арктической атмосферы крайне важны, так как регион играет ключевую роль в глобальном климате. Черный углерод, попадая в атмосферу, негативно влияет на климат и окружающую среду. Уменьшение его выбросов в Арктике может способствовать снижению температуры поверхности и улучшению экологической ситуации. Важно продолжать научные исследования и активные меры по снижению выбросов черного углерода для сохранения уникальных экосистем региона [1].

2. Образование и воздействие черного углерода на природу

Основной источник появления черного углерода – действительно неполное сгорание органического топлива, особенно в дизельных двигателях, печах и при лесных пожарах. Когда частицы сажи оседают на снег и лед, они уменьшают их способность отражать солнечные лучи, что ведет к ускоренному таянию и усилению эффекта потепления в Арктическом регионе. Это, в свою очередь, влияет на местные экосистемы и здоровье населения, вызывая ряд негативных последствий [1]. Исследования, посвященные изучению воздействия различных типов лесных пожаров (верховые и низовые) на образование и распространение черного углерода, играют ключевую роль в понимании процессов его формирования и миграции в атмосфере. Такие исследования предоставляют ценную информацию для разработки стратегий профилактики лесных пожаров и снижения выбросов сажи. Это помогает снизить её разрушительное влияние на климат и окружающую среду, улучшая условия жизни в Арктике и за её пределами.

3. Циркуляция загрязняющих воздух веществ.

Воздушные потоки способны переносить черный углерод и другие загрязнители на огромные расстояния от очагов пожаров. Например, лесные пожары в Западной Сибири, Европейской части России, южноуральских степях и Казахстане могут привести к попаданию черного углерода в Арктику через воздушные массы. Этот процесс, известный как атмосферный транспорт, способствует глобальному распределению загрязнений, ухудшающему климат, экологию и здоровье людей не только вблизи источников, но и в отдаленных регионах [2].

Особенно остро проблема проявляется в Арктике, где сочетание дальнего переноса загрязнений и температурной инверсии вызывает зимнюю и весеннюю дымку. Важнейший фактор в этом процессе – чёрный углерод, который поглощает солнечное тепло, ускоряя таяние арктического снега. Это нарушение водного цикла и климата Арктики угрожает экосистемам и местным сообществам.

Кроме того, чёрный углерод воздействует на облака, меняя их стабильность, количество осадков и отражательные свойства. Это может существенно повлиять на климат не только в Арктике, но и на планете в целом [3].

Таким образом, изучение распространения чёрного углерода критически важно для разработки эффективных мер по снижению его выбросов и смягчению последствий для

окружающей среды.

4. Полярные станции аэрозольных исследований

Полярная станция аэрозольных исследований Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (МГУ) расположена на острове Белый в Карском море. Эта станция является важным научным объектом для изучения атмосферной среды Арктики, включая исследование содержания аэрозолей и их влияния на климатические процессы. Станция оборудована современными приборами для мониторинга состояния атмосферы и измерения концентрации различных видов аэрозольных частиц.

Кроме полярной станции МГУ на острове Белый, в Арктической зоне функционируют и другие научные станции, принадлежащие различным российским и международным организациям. Они занимаются изучением широкого спектра вопросов, связанных с изменением климата, состоянием ледового покрова, биологическим разнообразием и экологическими проблемами региона [3]. Совместные усилия этих станций способствуют лучшему пониманию сложных природных процессов, происходящих в Арктике, и разработке мер по сохранению уникальной природной среды этого региона.

5. Атмосферный транспорт воздушных масс и его физические причины

Ветер является одной из основных сил, формирующих атмосферу и обеспечивающих её циркуляцию. Его появление обусловлено разницей в атмосферном давлении: воздух перемещается из областей с высоким давлением в регионы с низким давлением (рисунок 1). Скорость ветра напрямую зависит от величины этой разницы: чем она больше, тем интенсивнее воздушный поток.

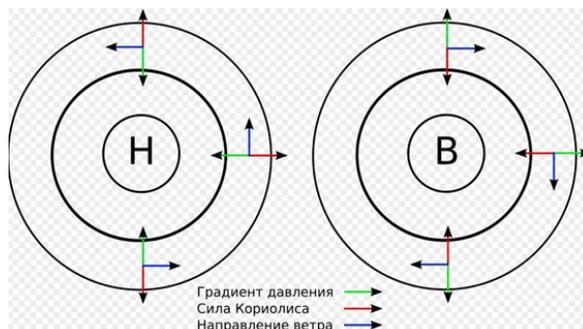


Рисунок 1 – Направления ветра, силы Кориолиса и градиента давления

Другой важный фактор, влияющий на движение воздушных масс, – это наклон земной оси, который порождает силу Кориолиса. Вращающаяся Земля создаёт эффект отклонения потоков воздуха: в северном полушарии они смещаются вправо, а в южном – влево. В результате прямолинейное движение воздушных масс переходит в криволинейное, образуя дугообразные траектории, которые продолжают до достижения баланса сил. После этого ветер начинает следовать вдоль изобар – линий одинакового давления. Такой вид ветра называется геострофическим.

Одним из главных проявлений силы Кориолиса в природе является формирование атмосферных вихрей – циклонов и антициклонов (рисунок 2). Благодаря этому эффекту, они закручиваются в разные стороны в зависимости от полушария: в северном против часовой стрелки, а в южном – по часовой.



Рисунок 2 – Движение воздушных масс под действием силы Кориолиса

Сила Кориолиса оказывает существенное влияние на многие природные и техногенные процессы, такие как движение воздушных масс, океанские течения и авиационные маршруты. Причина этого заключается в комбинации вращения Земли с запада на восток и разной скоростью вращения точек на её поверхности в зависимости от географической широты: ближе к экватору эта скорость максимальная, а у полюсов – минимальная.

Можно заметить, что маршруты перелётов птиц и самолётов часто выглядят извилистыми, а не прямыми, что тоже связано с влиянием силы Кориолиса.

Сила Кориолиса – это инерционная сила, возникающая при движении объектов относительно вращающейся системы отсчета, такая как поверхность Земли. Она действует перпендикулярно направлению движения тела, отклоняя его траекторию [4].

Кориолисово смещение есть результат движения объекта, вращения Земли и географической широты. По этой причине в ответе должны присутствовать удвоенный синус широты, скорость тела и угловая скорость вращения Земли. Точная формула довольно проста:

$$\vec{F}_C = 2m \cdot [\vec{\omega} \times \vec{V}]$$

- результат векторного произведения частоты вращения Земли и скорости движения тела (вектор частоты вращения Земли направлен на полярную звезду).

Сила Кориолиса играет важную роль в таких науках, как метеорология, геофизика и океанография, поскольку любое тело, движущееся вблизи поверхности Земли, испытывает её воздействие. Например, эта сила оказывает значительное влияние на атмосферные процессы, определяя направление и интенсивность основных ветровых потоков, а также направление вращения циклонов. В гидросфере она определяет траекторию морских течений [5].

Атмосферная циркуляция формируется под воздействием солнечной энергии, гравитации, архимедовой силы и силы Кориолиса, связанной с вращением Земли. Разница температур между экватором и полюсами запускает глобальное движение воздуха. Солнечное тепло нагревает воздух в тропиках, делая его легче, после чего он поднимается вверх к вершине тропосферы. Параллельно с этим формируются пассаты, дующие к экватору с обоих полушарий и создающие восточные экваториальные течения. В верхних слоях тропосферы воздух направляется на восток, образуя субтропические струйные течения (скоростью до 100 км/ч) в каждом полушарии. Между полюсами и параллелью $\pm 60^\circ$ температурные различия поддерживают циркуляцию, а приземные ветры устремляются от полюсов к умеренным зонам. Преимущественное направление наземных ветров направлено к ближайшему полюсу [6].

6. Последствия загрязнения и пути решения проблемы выбросов углеродной сажи
Загрязнение Арктики черной сажей имеет следующие последствия:

1. Изменение альбедо: сажа оседает на снегу и льду, снижая их способность отражать солнечный свет, что усиливает таяние льдов и снега.
2. Потепление климата: усиленное поглощение солнечного тепла сажей увеличивает температуру воздуха, что ускоряет изменение климата в регионе.
3. Влияние на экосистемы: более быстрое таяние ледников нарушает экосистемы, что может угрожать местной флоре и фауне.
4. Здоровье населения: частицы сажи могут негативно влиять на дыхательную систему местных жителей, увеличивая риск заболеваний.

Проблема выбросов углеродной сажи является актуальной в контексте охраны окружающей среды и здоровья человека [7]. Вот несколько подходов к решению этой проблемы:

1. Повышение эффективности сжигания: оптимизация процессов сжигания в промышленных системах и котлах может значительно снизить образование углеродной сажи. Это достигается за счет контроля температуры, соотношения топлива и воздуха, а также более современных технологий сжигания.
2. Использование чистых технологий: переход на более чистые источники энергии, такие как солнечная, ветровая и гидроэнергия, поможет снизить потребление ископаемого топлива и, соответственно, выбросы сажи.
3. Фильтрационные технологии: установка фильтров и других очистных сооружений на фабриках и электростанциях может значительно снизить выбросы углеродной сажи. Это могут быть устройства, использующие электрофильтрацию, механические фильтры и другие технологии.
4. Предотвращение образования сажи: добавление специальных химических реагентов в топливо или использование альтернативных видов топлива может помочь уменьшить образование сажи при сжигании.
5. Контроль и регуляция: установление строгих норм и стандартов для выбросов сажи, а также регулярный мониторинг и контроль со стороны государственных органов могут значительно сократить уровень загрязнения.
6. Образование и информирование: повышение осведомленности общественности и бизнеса о последствиях выбросов углеродной сажи и способах их сокращения также способствует решению проблемы.
7. Исследования и инновации: поддержка научных исследований в области появления и снижения сажи, разработка новых технологий и методов, направленных на решение данной проблемы.
8. Межгосударственное взаимодействие в Арктическом регионе по вопросам экологии: страны Арктики активно сотрудничают в области охраны окружающей среды, защиты экосистем и биоразнообразия. Это включает совместные научные исследования и проекты по мониторингу климатических изменений.

Подобные меры могут существенно снизить выбросы углеродной сажи и, соответственно, негативное влияние на здоровье человека и окружающую среду. Решение проблемы загрязнения воздуха черным углеродом, возникающего вследствие лесных пожаров, требует комплексного подхода. Оно включает не только усиление контроля за лесными массивами в период высокой пожарной опасности, но и разработку новых физических методов для управления этим процессом. Один из возможных подходов заключается в учете влияния силы Кориолиса на атмосферные явления, что позволит лучше контролировать выбросы черного углерода. Несмотря на то, что сила Кориолиса зачастую недооценивается ввиду своей относительно небольшой величины, она всё же оказывает значимое влияние на различные процессы, включая атмосферную циркуляцию. Исследование кориолисова смещения воздушных масс открывает новые горизонты для будущих научных исследований.

Список литературы

1. Научно-популярный физико-математический журнал «Квант»/ Смородинский Я. Сила Кориолиса: URL: https://kvant.mccme.ru/1975/04/sila_koriolisa.htm (дата обращения: 12.01.2025)
2. Ковригин Д.Д., Потапова И.А. Физические механизмы и экологические проблемы загрязнения воздуха в Арктике / Сборник трудов Международной научно-практической конференции». Санкт-Петербург, 2024. С. 123-129.
3. Ковригин Д.Д., Потапова И.А. Физические механизмы и экологические проблемы загрязнения воздуха / В сборнике: Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях. Сборник трудов Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2024. С. 123-129.
4. ЦМИТ «Авиатор» 2019—2024 / Агро МЕТЕО: Атмосферная циркуляция: ее организация: URL: <https://agrometeo.online/articles/circulation.html> дата обращения: 09.01.2025)
5. Большой информационный архив. Силы, действующие в атмосфере, и их влияние на ветер: URL: http://big-archive.ru/geography/earth_atmosphere/27.php (дата обращения: 02.02.2025)
6. Элементы. 200 законов мироздания физика. Эффект Кориолиса: URL: https://elementy.ru/trefil/21119/Effekt_Koriolisa (дата обращения: 10.01.2025)
7. Российский фонд фундаментальных исследований, 1992—2024, Следы на снегу. Эмиссия чёрного углерода меняет климат Арктики: URL: https://www.rfbr.ru/press-center/science_news/3379/ (дата обращения: 10.01.2025)

ЭЛЬ-НИНЬО-ЮЖНОЕ КОЛЕБАНИЕ 1982-1983 ГГ.: УДАЛЕННЫЕ АНОМАЛИИ

Швец П.А.

научный руководитель: Смышляев С.П.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
polinashvets0302@gmail.com

Аннотация. Положено начало для комплексного анализа явления Эль-Ниньо-Южное колебание (ЭНЮК) 1982-1983 гг. Использовались данные реанализа MERRA2 для атмосферы и HADISST для температуры поверхности океана (ТПО). Была продемонстрирована эволюция аномалий ТПО. Было проанализировано преобразование эйлеровой средней циркуляции для периодов теплой и холодной фазы. Результаты демонстрируют интенсивные восходящие движения.

Ключевые слова. Эль-Ниньо, вертикальные ячейки циркуляции, реанализ, остаточная меридиональная циркуляция.

EL NIÑO-SOUTHERN OSCILLATION 1982/1983: REMOTE ANOMALIES

Shvets P.A., supervisor: Smyshlyayev S.P.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), Saint-Petersburg

Annotation. This research establishes the foundation for a comprehensive analysis of the 1982-1983 El Niño phenomenon. The study employs MERRA2 reanalysis data for atmospheric parameters and HADISST for sea surface temperature (SST) observations. The evolution of the SST anomalies was demonstrated. The transformed Eulerian mean for the periods of the warm and cold phases was analyzed. The results demonstrate intense upward motions.

Key words. El Niño, vertical circulation cells, reanalysis, mean meridional circulation

Наиболее ярким примером климатической аномалии межгодового масштаба в тропической зоне Тихого океана (ТО) является Эль-Ниньо – квазипериодическое изменение температуры поверхности океана (ТПО) [1]. Атмосферный отклик на аномальный нагрев экваториальной части ТО в первую очередь проявляется в аномалиях атмосферной циркуляции – изменение направления потоков волновой активности [2]. Важным динамическим процессом, происходящим в полярной стратосфере, является циркумполярный вихрь, который оказывает существенное влияние на температуру стратосферы полярной области [3]. Влияние теплой фазы на стратосферу над Арктикой осуществляется через усиление алеутского минимума в тропосфере, что приводит к усилению распространения волновой активности из тропосферы в стратосферу и к ослаблению стратосферного полярного вихря [4].

Целью данной работы является проанализировать влияние на динамику атмосферы в период явления теплой фазы Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК).

Особой проблемой в глобальном масштабе для исследования и прогнозирования данного явления является его нерегулярность: вслед за явлением Эль-Ниньо может наступить как Ла-Нинья, так и нейтральная фаза [5].

Исследователи в [4, 5] выделяют несколько сильнейших в истории наблюдений явлений Эль-Ниньо: 1982-1983, 1997-1998 и 2015-2017 гг. Для данной работы был выбран первый период, в виду наименьшей изученности по мнению автора.

Важным индексом для определения аномалий ТПО является значение индекса ONI (Oceanic Niño Index), рассчитываемый как скользящее среднее значение аномалии ТПО за три последовательных месяца в регионе Niño 3.4 (5° с.ш. – 5° ю.ш., 120° з.д. – 170° з.д.). В ноябре 1982 г. – январе 1983 г. ONI достигло – 2.2°C [6]. Данные наблюдений и моделирования показали, что влияние Эль-Ниньо распространяется как на тропическую, так и на внетропическую стратосферу [4]. Через повышенное распространение планетарных и гравитационных волн в стратосферу наблюдается усиление меридиональной циркуляции Брюера-Добсона, которое приводит к охлаждению нижней стратосферы в тропиках и ее нагреву над Арктикой.

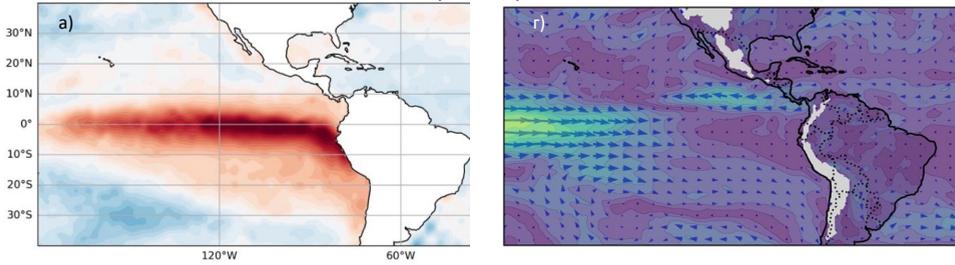
Для анализа были использованы данные реанализа MERRA-2 [7] о приземной температуре, U- и V-компоненте ветра (U-, V-component of wind), аналоге вертикальной скорости (vertical velocity) и геопотенциале (geopotential) на изобарических поверхностях 1000-10 Гпа (17 уровней). Изменчивость ТПО анализировалась с использованием данных Met Office [8].

На первом этапе исследования была рассмотрена эволюция аномалий в океане и атмосфере в период Эль-Ниньо 1982-1983 гг. На рисунке 1 представлена эволюция аномалий ТПО и ветра в нижней тропосфере (850 гПа) в период развития, кульминации и затухания явления. Положительная аномалия ТПО сформировалась в восточной части Тихого океана в сентябре-октябре 1982 года (рис. 1а) и достигла своего максимума в период кульминации (рис. 1б).

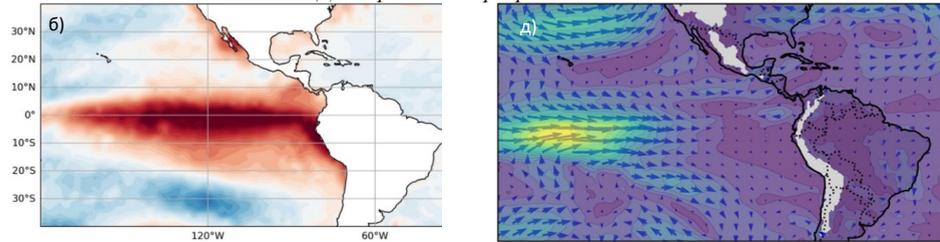
Так называемый “теплый язык” сохранялся вплоть до марта-мая 1983 (рис. 1в), однако максимум интенсивности аномалии температуры поверхности океана (АТПО) постепенно смещался от побережья Южной Америки на запад. В регионе Niño3.4 значение АТПО достигло в январе 1983 года $2,4^{\circ}\text{C}$.

Ключевую роль в механизме генерации Эль-Ниньо играет ослабление пассатного переноса и, в частности, всплески западных ветров, которые генерируют в океане волны Кельвина. Аномальная антициклоническая циркуляция, формирующая в верхней тропосфере, является источником атмосферных длинных волн Россби – главного звена механизма удаленного воздействия.

Сентябрь-ноябрь 1982



Декабрь 1982 – февраль 1983



Март-май 1983

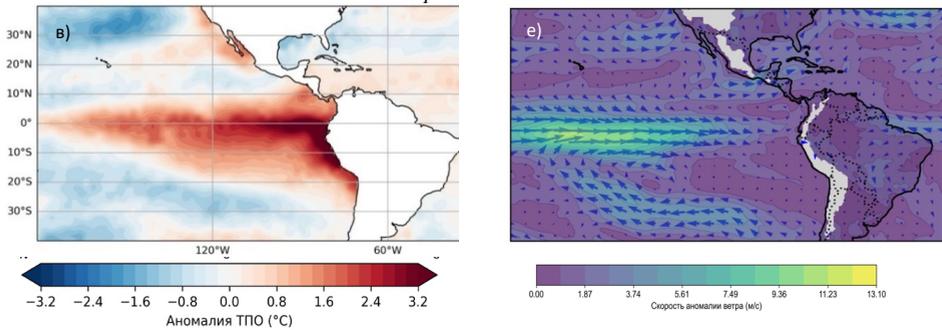


Рисунок 1 – Аномалии ТПО ($^{\circ}\text{C}$; левая панель) и ветра на 850 гПа (м/с; правая панель) в тропическом Тихом океане в период развития, кульминации и затухания Эль-Ниньо 1982-1983 гг.

Циркуляция в горизонтальной плоскости оценивалась на основе карт, построенный для нижней тропосферы (850 гПа) – рисунок 1, правая панель. Стрелки на рисунке ориентированы в соответствии с направлением ветра. В период развития над тропическим Тихим океаном в нижней тропосфере наблюдалась значительная западная аномалия скорости ветра в районе экватора (рис. 1г). Данная аномалия возникла в сентябре-ноябре 1982 гт. и сохранялась до марта-мая 1983 гт. Наиболее сильные западные ветра отмечались в период, предшествующий кульминации и непосредственно во время пика Эль-Ниньо, то есть в период, начиная с декабря (рис. 1д).

Для анализа зонально осредненной циркуляции использовался подход, представляющий собой формулировку преобразованной эйлеровой средней циркуляции (Transformed Eulerian Mean) [9]. Рассматриваемый объем воздуха поднимется до большей высоты равновесного состояния только при условии, если его потенциальная температура возрастает при неадиабатическом нагреве. Остаточная меридиональная циркуляция (ОМЦ), связанная с неадиабатическими процессами, напрямую связана со средним потоком меридиональной массы. Рассчитанная при помощи такого подхода

остаточная циркуляция позволяет оценить ту часть среднего потока, вклад которой в адиабатическое изменение температуры воздуха не компенсируется дивергенцией индуцированного волной потока тепла [10].

Широтно-высотное распределение остаточной меридиональной циркуляции по данным реанализа MERRA-2 для нейтрального периода 1981-1982 (а) и для Эль-Ниньо 1982-1983 (б) представлены на рисунке 2. Вектора отражают ОМЦ, заливка обозначает зональное движение.

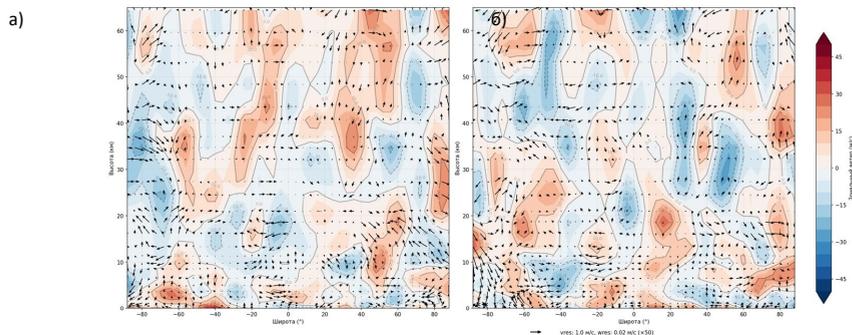


Рисунок 2 – Широтно-высотное распределение остаточной меридиональной циркуляции по данным реанализа MERRA-2 для декабря 1982(а) и для декабря 1983(б)

Короткопериодные колебания ТПО в тропиках приводят к усилению остаточной циркуляции и ослаблению зонального ветра на границе полярной области.

Рисунок 2 а демонстрирует пик явления Эль-Ниньо – декабрь 1982 года: в зоне 80° с.ш. практически по всей высоте наблюдается ослабление зонального ветра, в то время как в период развивающего Ла-Нинья – декабрь 1983 года рис. 2 б такого нет. Также во время теплой фазы видны вертикально направленные вектора, указывающие на интенсивные восходящие потоки.

В настоящей работе было проведено начальное исследование, включающее только нахождение и определение Эль-Ниньо, его эволюции, а также исследование особенности вертикальной ячейки в период Эль-Ниньо. В дальнейшем планируется рассчитать и провести анализ волновой активности, которая определяет существование циркумполярного вихря [11] в Арктике.

Список литературы

1. Железнова И. В. Отклик глобальной циркуляции атмосферы на два типа Эль-Ниньо // Метеорология и гидрология. – 2015 г.- 36–50 с.
2. Петросяни М. А., Гущина Д. Ю. Крупномасштабное взаимодействие глобальной циркуляции атмосферы с температурой поверхности экваториальной части Тихого океана Метеорология и гидрология. – 1998 г. -5–24 с.
3. Яковлев, А. Р. Влияние Эль-Ниньо - Южной осцилляции на Арктическую стратосферу // Международный симпозиум "Атмосферная радиация и динамика" (МСАРД– 2021): Сборник трудов Международного симпозиума, Санкт-Петербург, 29 июня – 2 июля 2021 года. – Санкт-Петербург: ООО "Издательство ВВМ". – 2021 г.- 179–183 с.
4. Варгин, П.Н., Коленикова М. А., В. Кострыкин С. В., Володин Е. М. Влияние аномалий температуры поверхности экваториальной и северной частей Тихого океана на стратосферу над Арктикой по расчетам климатической модели ИВМ РАН// Метеорология и гидрология. – 2021 г.- 5-16 с.
5. Петросяни М. А., Гущина Д. Ю. Об определении явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья //

- Метеорология и гидрология. – 2002 г.- 24-35 с.
6. Domeisen D. I., Garfinkel C. I. The teleconnection of El Nino Southern Oscillation to the stratosphere //Rev. Geophys. – 2019 г.-5– 47 p.
7. Gelaro R., et al. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2)// J. Clim. – 2017.- 5419–5454 p.
8. Rayner N. A., et al. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century // J. Geophys. Res., 108(D14) – 2003.- 4407 p.
9. Andrews D.G., Holton J.R., Leovy C.B. Middle Atmosphere Dynamics// Academic Press, Orlando, FL. – 1987.- 489 p.
10. Shepherd T. G. Transport in the middle atmosphere// J. Meteor. Soc. Japan. – 2007. 85B. P. 165—191.
11. Смышляев С. П., Погорельцев А. И., Галин В. Я., Дробашевская Е. А. Влияние волновой активности на газовый состав стратосферы полярных районов// Геомагнетизм и аэронавигация. – 2016 г. – 102 с.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРИ ВЫПАДЕНИИ ЛЕДЯНЫХ ДОЖДЕЙ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ РОССИИ

Капарис Е.Ю., Волобуева О.В., Дробжева Я.В.

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

Аннотация. Рассматриваются характерные для ледяных дождей метеорологические условия. Для Центрального федерального округа анализируется повторяемость случаев ледяного дождя за период с 2000 по 2023 гг. Описывается пример случая ледяного дождя, затронувшего территорию Центрального округа при прохождении южного циклона 26-27 ноября 2023 года.

Ключевые слова. Ледяной дождь, атмосферные осадки, переохлаждённый дождь, замерзающий дождь, атмосферные явления, Центральный федеральный округ.

METEOROLOGICAL CONDITIONS DURING ICE RAINS IN THE CENTRAL FEDERAL DISTRICT OF RUSSIA

Kaparis E.Y., Volobueva O.V., Drobzheva Ya.V.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St. Petersburg

Annotation. The meteorological conditions characteristic of ice rains are considered. For the Central Federal District, the recurrence of cases of ice rain for the period from 2000 to 2023 is analyzed. An example of a case of ice rain affecting the territory of the Central District during the passage of the southern cyclone on November 26-27, 2023 is described.

Keywords. Ice rain, atmospheric precipitation, supercooled rain, freezing rain, atmospheric phenomena, Central Federal District.

Ледяной дождь – это твёрдые атмосферные осадки, представляющие собой мелкие ледяные прозрачные шарики с диаметром до 3 мм. Они образуются следующим образом: капля выпадает из облака в тёплом слое воздуха и попадает в холодный слой у земли, где начинает замерзать. Капля покрывается ледяной коркой или замерзает полностью. В первом случае при падении на поверхность образовавшаяся корка разбивается, и вода, которая была внутри, замерзает, что приводит к гололёду [1].

Ледяные дожди характерны для Европейской территории России, чаще всего они выпадают в Южном, Приволжском и Северо-Кавказском федеральных округах, а также в Центральном и Северо-Западном округах.

Ледяной дождь связан с другим опасным явлением – гололёдом. Ледяные отложения на проводах могут привести к их обрыву, а гололедица на дорогах к серьёзным автомобильным авариям и перебоям в работе всех видов транспорта. В Центральном округе 25-26 декабря 2010 года произошёл один из самых крупных случаев ледяного дождя. Под тяжестью льда и налипшего снега деревья падали и выворачивались с корнем, повреждали провода и автомобили. В ряде областей, включая Московскую, более 400 тысяч человек остались без электроэнергии. Были обесточены объекты жизнеобеспечения, аэропорты: Домодедово на несколько суток приостановил работу. Несколько сотен человек получили травмы, были человеческие жертвы [2]. Ширина полосы гололёдных явлений перед тёплым фронтом в этом случае достигала 500 км [3]. Ледяной дождь приводит к тяжелым последствиям в разных отраслях, поэтому его исследование актуально в настоящее время.

Для образования ледяного дождя необходим слой тёплого воздуха на высоте до 1-2 км при отрицательной температуре у поверхности или температуре около 0°C. Чаще всего подходящие условия наблюдаются при прохождении тёплого фронта, фронта окклюзии или на тёплом участке холодного фронта с волнами, перед которым находится холодный антициклон [4]. В таких ситуациях происходит адвекция тепла на холодную поверхность.

Ледяной дождь может быть спутан с такими видами осадков, как замерзающий дождь и ледяная крупа. Замерзающие или переохлаждённые осадки попадают на поверхность в жидком состоянии, мгновенно замерзают, образуя лёд. Ледяная крупа в отличие от ледяного дождя имеет непрозрачное ядро.

Характерные для ледяных дождей метеорологические условия перечислены в методическом письме ГГО № 30:

- a) средняя температура воздуха -2°C, как правило в диапазоне от 2°C до -5°C;
- b) относительная влажность воздуха примерно 90%;
- c) атмосферное давление падает в среднем на 4 гПа, реже остаётся без изменений;
- d) средняя скорость ветра от 2 до 7 м/с;
- e) высота нижней границы облачности в пределах от 300 до 500 м, преобладающие формы облаков – разорванно-дождевые, слоисто-дождевые, а также высокослоистые и слоисто-кучевые;
- f) одновременно могут наблюдаться другие твердые, жидкие и смешанные осадки;
- g) обычно продолжительность явления менее часа;
- h) сопутствующие явления: гололёд и гололедица [5].

При рассмотрении ледяного дождя вместе с замерзающими дождём и моросью, можно сказать, что в Центральной России это самое редкое из этих трёх явлений, при этом количество случаев замерзающих осадков уменьшается с запада на восток [6].

Из архива ВНИИГМИ-МЦД были взяты данные по 8-срочным наблюдениям за атмосферными явлениями на метеостанциях Центрального федерального округа с 2000 по 2023 год. Данные были доступны для 31 станции. Для анализа были отобраны сроки, в которые отмечался ледяной дождь. Сначала они были объединены в случаи на отдельных станциях, затем, исходя из дат и синоптической ситуации, они были объединены по соседним станциям.

В результате было получено распределение количества случаев ледяного дождя по месяцам (рисунок 1). На территории Центрального округа это явление наблюдается с октября по апрель, ни одного случая не зафиксировано с мая по сентябрь. Минимальное количество случаев приходится на апрель – 9. Основной период выпадения ледяных

дождей – с ноября по январь. Самое большое число случаев фиксируется в декабре – 59 – в ноябре и январе практически равное количество случаев – 40 и 39 соответственно. В сумме число случаев за 23 года составило 205. Полученное распределение показывает, что в Центральном округе ледяные дожди выпадают в основном поздней осенью и зимой, в это время чаще наблюдаются ситуации, когда на уже холодную подстилающую поверхность могут приходиться тёплые влажные воздушные массы.

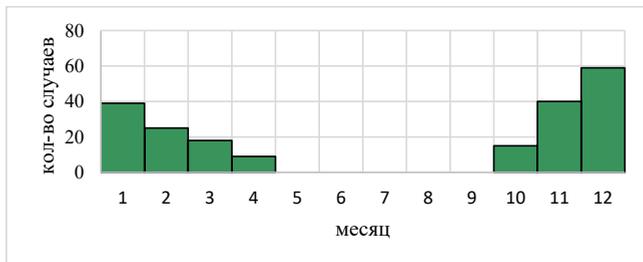


Рисунок 1 – Повторяемость случаев ледяного дождя

Рассмотрим один из случаев ледяного дождя, покрывшего территории нескольких округов, в том числе Центрального. 27 ноября 2023 года в срок 00 UTC на приземной карте погоды (рисунок 2) можно увидеть двухцентровую барическую депрессию над Северной и Восточной Европой, югом и центром России, Чёрным и Каспийским морем. Первый центр – окклюдированный циклон над Великобританией, второй – южный циклон с центром над восточной Украиной, вблизи Азовского моря.

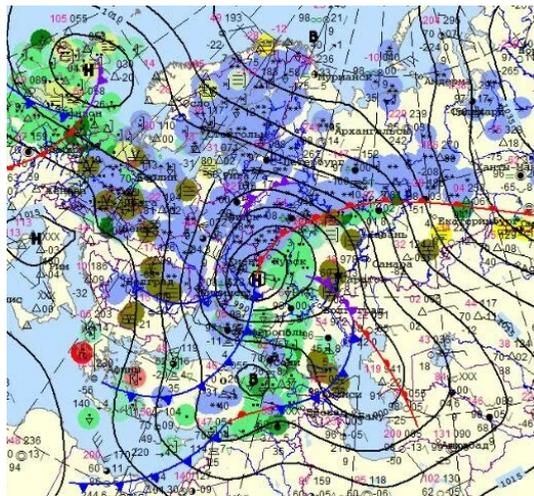


Рисунок 2 – Приземный анализ от 27.11.2023 00 UTC

Циклон, сформированный в районе Италии 25 ноября, получил название «Phi» и 26 ноября вышел на побережье Крыма. При прохождении циклона скорость ветра достигала 30 м/с, а порывы – 40 м/с, что вызвало огромные разрушения. Далее циклон двигался по Европейской территории России на северо-восток, затем, ослабев, на северо-запад. При выходе с моря давление в центре циклона достигало 975 гПа.

Циклон принёс на территорию Центральной России мощные ветра и сильные осадки разных фаз: снег сменялся дождём, а на границе зон могли наблюдаться

замерзающие осадки, ледяная крупа и ледяной дождь. Прохождение тёплого фронта сопровождалось гололёдными явлениями.

Граница осадков проходила в зоне тёплого фронта, это можно увидеть на приземной карте погоды. В этой переходной зоне и наблюдался ледяной дождь. Из доступных в архиве метеостанций он был зафиксирован на четырёх станциях в Центральном округе – в Москве, Плавске (Тульская область), Переславле-Залесском (Ярославская область) и Курске; на одной станции в Приволжском округе – в Перми – и на трёх станциях в Северо-Западном – в Вологде, Великом Устюге (Вологодская область) и Койгородке (Коми).

Узкая зона ледяного дождя протянулась вдоль тёплого фронта с юго-запада на северо-восток и продвигалась в северном направлении. Первый ледяной дождь был зафиксирован на юге Центральной России – в Курске – днём 26 числа, затем в Перми вечером того же дня. Далее зона ледяного дождя продолжала уходить на север – к ночи она подошла к Тульской области, а утром 27 числа ледяной дождь прошёл в Москве. Затем зона ушла в Северо-Западный округ и последний ледяной дождь наблюдался утром 27 ноября в Вологде.

Ледяной дождь выпадал в основном при слабо отрицательной температуре воздуха у поверхности. В Перми наблюдалась температура $0,1^{\circ}\text{C}$, но затем при движении фронта на север температура поверхности фиксировалась все ниже – на станциях в Центральном округе от $-1,7^{\circ}\text{C}$ (Плавск) до $-0,5^{\circ}\text{C}$ (Курск), в Северо-Западном округе – от $-3,1^{\circ}\text{C}$ (Койгородок) до $-7,1^{\circ}\text{C}$ (Великий Устюг). Ветер был преимущественно северо-восточных направлений около 4 м/с, юго-восточный ветер наблюдался в Перми. Влажность воздуха фиксировалась высокая – выше 94%, за исключением самого позднего ледяного дождя утром 27 числа в Вологде и Великом Устюге – влажность составляла 89% и 88% соответственно. Облачность была низкой – с нижней границей от 300 до 600 м – слоистая, слоисто-кучевая, кучевая, к Великому Устюгу нижний край облачности повысился до 600-1000 м. Средняя продолжительность ледяного дождя составила 1 час 11 минут, минимальная – 10 минут (Курск), максимальная – 2 часа 33 минуты (Плавск). Совместно с ним наблюдались замерзающие осадки, ледяная крупа, гололёд. Наблюдаемые метеорологические условия совпадают с перечисленными в методическом письме.

Для анализа высотного распределения температуры были выбраны данные зондирования станций в сроки, ближайшие ко времени прохождения ледяного дождя. Это станции Курск за 26 ноября 12 UTC (явление фиксировалось с 13:40 до 13:50) и Вологда за 27 число 12 UTC (явление фиксировалось с 8:20 до 10:10)

Для этого случая не наблюдалось классической для ледяного дождя инверсии с положительными температурами на высоте. Наблюдалась приподнятая инверсия, температура в ней не достигала значений выше 0°C , но была близка к этому значению. По данным зондирования в Курске инверсия начиналась с высоты 903 м и была толщиной всего 84 м с максимальной температурой $-1,3^{\circ}\text{C}$. Выше температура хоть и понижалась, однако до высоты 2200 м оставалась близкой к 0°C – после значения $-1,9^{\circ}\text{C}$ понижение температуры с высотой становится более ярко выраженным. В Вологде температура начала повышаться с высоты 685 м, толщина инверсии составила 1061 м с максимальной температурой $-0,3^{\circ}\text{C}$ на высоте 1746 м. Таким образом, если учесть, что несмотря на небольшую мощность инверсии в Курске, там имел место слой выше с температурами близкими к 0°C , следовательно, можно сделать вывод: в данном случае ледяного дождя наблюдалась приподнятая инверсия на высоте до километра, затем шел слой воздуха со слабо отрицательной температурой толщиной более километра, где капли в облаках могли находиться в переохлаждённом состоянии.

Таким образом, на основе полученных результатов можно сделать вывод: необходимым условием для выпадения ледяных дождей является адвекция тепла и, соответственно, наличие тёплого слоя воздуха на высоте и холодного слоя у поверхности. Характерными для этого синоптическими ситуациями являются тёплый фронт, фронт окклюзии, тёплая волна на холодном фронте. В Центральном федеральном округе ледяные дожди выпадают в основном с ноября по январь, наибольшее количество случаев за 23 года приходится на декабрь – 59. В эти месяцы наиболее часты ситуации адвекции тёплого воздуха на поверхность с отрицательной температурой. Пример прохождения тёплого фронта южного циклона 26-27 ноября 2023 года иллюстрирует характерные метеорологические условия для выпадения ледяных дождей. В настоящий момент работа по анализу метеорологических условий при выпадении ледяных дождей на Европейской территории России продолжается.

Список литературы

1. Наставление гидрометеорологических станциям и постам. Вып. 3, ч. I. Метеорологические наблюдения на станциях. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 301 с.
2. Ледяной дождь в Москве, Московской области и прилегающих областях центра Европейской территории России 25-26 декабря 2010 года / А.Д. Голубев, А.М. Кабак, Н.А. Никольская [и др.] // Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2013. № 349. С. 214–230. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20351283> (дата обращения 01.03.2025). – Текст: электронный.
3. Атмосферная циркуляция над центром Европейской России в период ледяного дождя в декабре 2010 г. / Е.К. Семенов, Н.Н. Соколихина, И.И. Леонов, Е.В. Соколихина // Метеорология и гидрология. – 2018. – №5. – С. 91-101. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35000827> (дата обращения 01.03.2025). – Текст: электронный.
4. Ледяной дождь на Среднем Урале по данным радиозондирования / Н.А. Калинин, Е.М. Связов, А.А. Поморцева, Е.В. Пищальникова // Избранные труды Международной конференции и школы молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды (07–11 сентября 2020 г., Томск). – Томск, 2020. – с. 283-286. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44205258> (дата обращения 27.02.2025). – Текст: электронный.
5. О метеорологических условиях в период выпадения ледяных дождей: Методическое письмо ГГО № 30 // Методический кабинет Гидрометцентра России: сайт. – URL: <https://method.meteorf.ru/> (дата обращения 27.02.2025). – Текст: электронный.
6. Условия выпадения замерзающих осадков в некоторых аэропортах России и СНГ. IV. Аэропорт Нижний Новгород / Н.П. Шакина, Е.Н. Скриптунова, А.А. Завьялова // Метеорология и гидрология. – 2007. – №7. – С. 25-39. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17957041> (дата обращения 01.03.2025). – Текст: электронный.

АНАЛИЗ УСПЕШНОСТИ ПРОГНОЗОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ПО МОДЕЛЯМ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Никулина А.С., Ефимова Ю.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
zhirnowa.alina2015@yandex.ru

Аннотация. В процессе выполнения научно-исследовательской работы был проведён анализ успешности прогнозов максимальной температуры воздуха полученных с помощью моделей

ICON и ПЛАВ в период с 1 ноября 2024 г. по 31 декабря 2024 г. на Северо-Западе Европейской территории России. В ходе работы были выявлены и проанализированы случаи с ошибочными прогнозами. Отдельно была рассмотрена синоптическая ситуация в день со значительной ошибкой прогноза.

Ключевые слова. Гидродинамические модели, анализ успешности прогнозов, синоптическая ситуация

ANALYSIS OF THE SUCCESS OF FORECASTING AIR TEMPERATURE BY MODELS IN THE NORTH-WEST OF THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA

Nikulina A.S., Efimova Y.V.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Annotation. In the course of the research work, an analysis was carried out of the success of forecasts of maximum air temperature obtained using ICON and SL-AV models in the period from November 1, 2024 to December 31, 2024 in the North-West of the European territory of Russia. In the course of the work, cases with erroneous forecasts were identified and analyzed. The weather situation on days with significant forecast errors was considered separately.

Keywords. Hydrodynamic models, forecast success analysis, synoptic situation

Прогноз температуры воздуха является одной из ключевых задач современной метеорологии, имеющей важное значение для различных сфер экономики. Северо-Запад Европейской территории России характеризуется высокой изменчивостью погодных условий, что делает задачу прогнозирования температуры воздуха особенно сложной. В связи с этим анализ успешности прогнозов максимальной температуры воздуха, полученных с использованием моделей, а также выявление наиболее подходящей модели, приобретает особую актуальность для данного региона.

Целью данной научно-исследовательской работы является анализ успешности прогнозов максимальной температуры воздуха двух прогностических моделей ICON и ПЛАВ за период с 1 ноября 2024 г. по 31 декабря 2024 г. по пунктам: Великий Новгород, Вологда, Петрозаводск, Псков, Санкт-Петербург. А также определение наиболее успешной модели для исследуемой территории.

В исследовании использовались прогностические данные максимальной температуры воздуха заблаговременностью одни сутки и трое суток, полученные по моделям ICON [1] и ПЛАВ [2], а также архив фактических данных температуры воздуха [3].

Для выполнения поставленной цели в работе необходимо было создать архив прогностических данных максимальной температуры воздуха (в срок 12 ч UTC) на сутки и на трое суток по моделям ICON и ПЛАВ для выбранных пунктов. А также необходимо рассчитать и проанализировать среднюю абсолютную ошибку и систематическую ошибку, для выявления ошибочных прогнозов [4].

Согласно Наставлению по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения: РД 52.27.724 – 2019 [5] успешным является прогноз, в котором разница между прогностическим значением температуры воздуха и фактическим значением составляет не более, чем на 3 °С.

Рассмотрим изменение систематической ошибки за период с 1 ноября 2024 г. по 31 декабря 2024 г. по гидродинамическим моделям ICON и ПЛАВ (рис. 1-4)

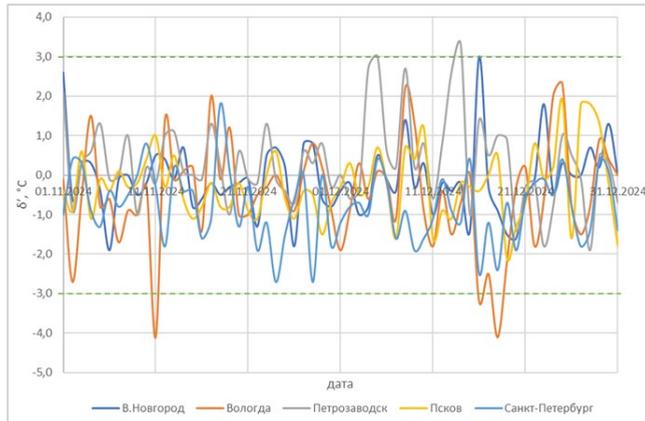


Рисунок 2 - График систематической ошибки прогноза на 24 ч за весь период исследования по модели ICON

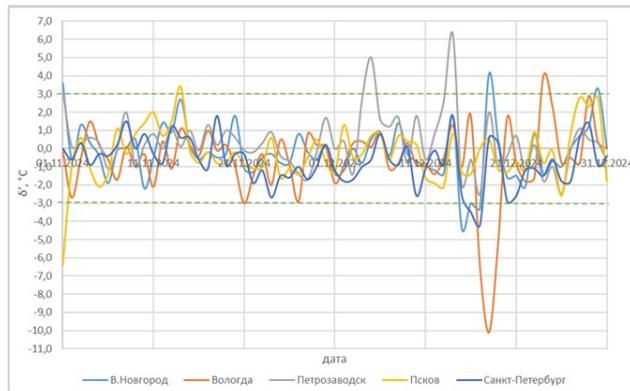


Рисунок 3 - График систематической ошибки прогноза на 72 ч за весь период исследования по модели ICON

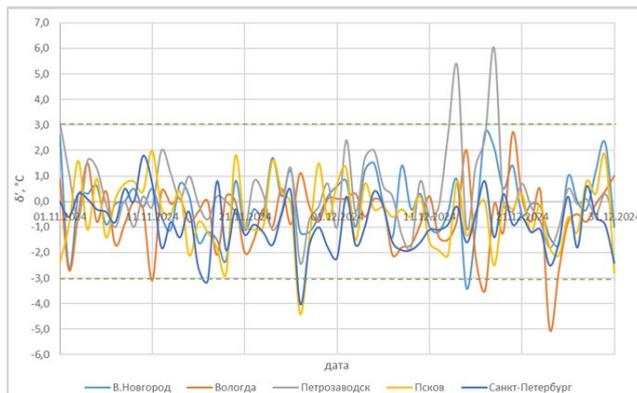


Рисунок 4 - График систематической ошибки прогноза на 24 ч за весь период исследования по модели ПЛАВ

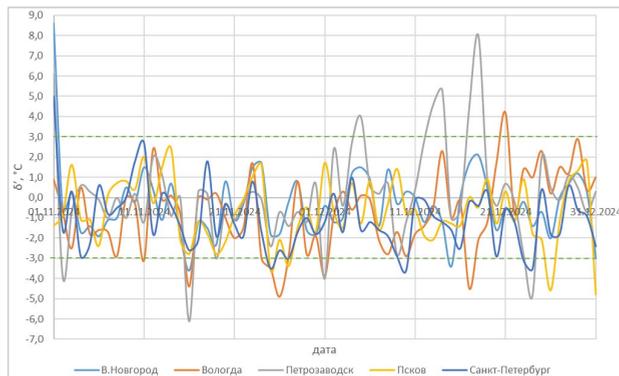


Рисунок 5 - График систематической ошибки прогноза на 72 ч за весь период исследования по модели ПЛАВ

В результате анализа систематической ошибки можно сделать вывод, что в большинстве случаев модели ICON и ПЛАВ дают успешные прогнозы максимальной температуры воздуха.

В основном на графиках (рис. 1-4) для каждой модели наблюдается синхронный ход кривых систематической ошибки, но можно выделить дни, когда для разных городов наблюдались противоположные значения систематической ошибки: 01.11.24 и 18.12.24. Наиболее существенное различие наблюдалось 18.12.24 при прогнозе на 72 ч с помощью гидродинамической модели ICON, в этом случае разность систематической ошибки между городами Петрозаводск и Великий Новгород составила 14,2 °С.

Также наблюдались совместные ошибки моделей ICON и ПЛАВ при прогнозе заблаговременностью 24 ч: 11.11.24 г, 14.12.24, а при прогнозе заблаговременностью 72 ч: 01.11.24, 05.12.24, 14.12.24, 15.12.24, 17.12.24. Например, 14 декабря наблюдалось занижение прогнозируемой температуры воздуха, у модели ICON систематическая ошибка составила: 3,3 °С, а у модели ПЛАВ: 5,3°С при заблаговременности прогноза 24 ч, а при заблаговременности 72 ч систематическая ошибка у модели ICON составила: 6,3 °С, а у модели ПЛАВ: 5,3 °С в одном и том же городе - в Петрозаводске.

При прогнозе на сутки модель ICON занизила температуру в одном случае, а завысила в трех случаях. Модель ПЛАВ занизила прогноз в трех случаях, а завысила в семи. При увеличении заблаговременности прогноза до трех суток модель ICON завысила и занизила прогнозируемую температуру в восьми случаях, а у модели ПЛАВ наблюдалось семь случаев занижения и двадцать завышения.

В ходе научно-исследовательской работы был проанализирован наименее успешный случай прогноза за весь период наблюдения – прогноз максимальной температуры воздуха заблаговременностью 72 часа модели – ICON в городе Вологда, прогноз модели ПЛАВ также был неуспешным, но не максимальным по значению.

Рассмотрим синоптическую ситуацию, которая наблюдалась в этот день над регионом исследования в течении суток 18 декабря 2024 года. Для анализа синоптической ситуации на Северо-Западе Европейкой территории России были использованы карты фактической погоды Гидрометцентра России за период с 1 ноября 2024 года по 31 декабря 2024 года [6].

В срок 00 ч по UTC 18.12.24 над северо-западной и центральной частью России располагалась обширная многоцентровая депрессия с высокими барическими градиентами. Первый центр наблюдался в районе Казани, а второй над островом Новая Земля. Давление в первом центре 983 гПа, а во втором 986 гПа. Регион исследования в

ночные и утренние часы находился под влиянием тыловой части данного циклона. В результате анализ данных по станциям тыловая часть циклона характеризовалась значительными температурными контрастами. В районе Москвы располагался вторичный холодный фронт, но при более детальном рассмотрении северо-западной части циклона, которая оказывала влияние на район исследования, можно отметить значительные контрасты и в этой части. Например, восточнее Санкт-Петербурга температура составляла $-16,8$ °С, в Москве $-7,0$ °С, а в районе Нижнего Новгорода, который располагался в центральной части данного циклона температура составила $-3,6$ °С. Таким образом видно, в тыловой части циклона в области севернее вторичного холодного фронта температурные контрасты составляли около 12 °С, это указывает на то, что возможно проведение дополнительных вторичных холодных фронтов. Данный циклон смещался в юго-восточном направлении и в срок 12 ч UTC его центр находился в районе Самары и исследуемый район оказался в барической седловине. Вологда располагалась на границе тыловой части циклона и передней части седловины, вследствие чего на пункт исследования продолжала оказывать влияние тыловая часть циклона. Петрозаводск находился в центральной части седловины. При анализе поля облачности в Петрозаводске наблюдалась 10 баллов облачности, так как на нее продолжала воздействовать фронтальная облачность тыловой части циклона. При прогнозе по модели ПЛАВ заблаговременностью 72 ч температура воздуха в Петрозаводске оказалась занижена, а в Вологде по модели ICON была завышена.

В результате выполненных исследований в период с 1 ноября 2024 г. по 31 декабря 2024 г. было выявлено, что меньшее количество дней с ошибочными прогнозами, а также меньшая средняя абсолютная ошибка в большинстве случаев (кроме 18.12.2024 г.), была у модели ICON. В общем при ошибочных прогнозах обе модели завышали прогнозируемую температуру воздуха, однако в городе Санкт-Петербурге, в отличие от других городов, наблюдалось заниженные результаты прогнозов.

При прогнозе на сутки обе модели показали хорошие результаты за весь период исследования. Модель ICON ошиблась 4 раза, при этом максимальная ошибка составила $1,1$ °С. Модель ПЛАВ ошиблась 10 раз, максимальная ошибка составила $3,0$ °С. При прогнозе на трое суток модель ICON ошиблась 16 раз за весь период исследования, максимальная ошибка составила $7,1$ °С. Модель ПЛАВ ошиблась 27 раз, максимальная ошибка составила $5,6$ °С.

Для модели ICON прогнозирование температуры воздуха по городу Вологда оказался наиболее трудным. В нем за весь период исследования было отмечено 8 ошибочных прогнозов температуры воздуха, при этом максимальная ошибка составила $7,1$ °С. А для модели ПЛАВ наиболее трудным оказался город Петрозаводск, в котором количество ошибочных прогнозов составило 12, а максимальная ошибка прогноза: $5,0$ °С.

Подводя итоги научно-исследовательской работы, можно прийти к выводу, что наиболее точной моделью для данной территории является ICON.

В дальнейшем предполагается продолжать исследование, с последующим рассмотрением синоптических ситуаций в дни с ошибочными прогнозами.

Список литературы

1. Ventusky.com [Электронный ресурс]URL: <https://www.ventusky.com/?p=57.7;32.8;5&l=temperature-2m> (Дата обращения: 01.11.2024)
2. Карты прогноза на 5 суток по результатам глобальной модели ПЛ-АВ Гидрометцентра России и Института вычислительной математики РАН [Электронный ресурс] – URL: <https://meteoinfo.ru/plav-forc-rus1> (дата обращения 01.11.2024)
3. Архив синоптических карт [Электронный ресурс] – URL:

<https://meteoinfo.ru/mapsynop> (дата обращения 01.11.2024)

4. Киктев Д.Б., Муравьев А.В., Бундель А.Ю. Методические рекомендации по верификации метеорологических прогнозов. М.: Типография АМА ПРЕСС, 2021. – 94 с
5. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения: РД 52.27.724 г. Москва: ФГБУ «Гидрометцентр России», 2019.
6. Архив метеорологических наблюдений [Электронный ресурс] - URL: www.pogodaiklimat.ru (дата обращения 01.11.2024)

ПРИЧИНЫ УЧАЩЕНИЯ МАГНИТНЫХ БУРЬ. ПОЛЯРНОЕ СИЯНИЕ И ПРОБЛЕМА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Кукушкин Д.Д., Зорина Н.А., Яковлева Т.Ю.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
kukushkin.dan@yandex.ru, nikaoff14@mail.ru

Аннотация. В данной статье раскрыта проблема учащённого появления магнитных бурь, причины их возникновения. Особое внимание уделено проблеме солнечной активности, а также роли полярного сияния в данных явлениях.

Ключевые слова. Полярное сияние, магнитная буря, солнечная активность.

INCREASE MAGNETIC STORM REASONS. AURORA BOREALIS AND QUESTION FOR SOLAR ACTIVITY

Kukushkin D.D., Zorina N.A., Yakovleva T.Yu.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St.Petersburg

Annotation. This article reveals the problem of the frequent occurrence of magnetic storms, the reasons for their occurrence. Particular attention is paid to the problem of solar activity, as well as the role of the polar lights in these phenomena.

Keywords. Polar lights, magnetic storm, solar activity.

Многие могли заметить, что последнее время магнитные бури участились. За последние несколько лет, мы всё чаще наблюдаем полярное сияние, и не только в полярных широтах, но и в умеренных. Полярные сияния стали наблюдаться даже в тех районах, где их раньше не видели. В чём же причина?

Долгое время жители севера приписывали разноцветным краскам на небе мифическое значение. Интересно то, что северное сияние из космоса выглядит более четко, кажется, до него можно дотронуться. Чем может быть вызвано данное явление? Какой фактор влияет на него? Предсказать северное сияние нелегко, так как нужно знать форму магнитного поля в коронарном выбросе массы, направление сияния тоже нельзя узнать, пока оно не начнется. На интенсивность и разнообразие цветов в сиянии оказывает влияние солнечная активность. Разные ионы дают разные цвета. Полярное сияние привлекало многих учёных, название эту явлению дал Галилео Галилей и Пьер Гассенди. Полярное сияние завораживает, кажется, что оно близко, на самом деле оно на расстоянии в несколько сотен километров от Земли.

Многие могли заметить, что последнее время магнитные бури участились, а полярные сияния стали наблюдаться даже в тех районах, где их раньше не видели. В чём же причина такого явления? Для начала разберёмся, что же такое полярные сияния и как они связаны с солнечной активностью и возмущением магнитного поля Земли. Полярные сияния – это оптическое атмосферное явление, выражающееся в свечении верхних слоёв атмосферы Земли. Образование полярных сияний связано с солнечной

активностью и состоянием магнитного поля земли. Отмечено, что в периоды наибольшей солнечной активности, наблюдаются наиболее интенсивные полярные сияния. Они встречаются чаще и наблюдаются в более низких широтах. Частицы солнечного ветра достигают Земли и под действием магнитного поля сосредотачиваются около полюсов Земли. Они проникают в верхние слои атмосферы и воздействуют на находящиеся там газы. Газы под влиянием заряженных частиц испускают энергию, которую мы воспринимаем в виде люминесценции.

Проникновение заряженных частиц в атмосферу – это важный процесс, связанный с попаданием заряженных частиц в верхние слои земной атмосферы из космического пространства. Данный процесс играет ключевую роль в образовании магнитосферы и ионосферы. А также оказывает влияние на качественную работу систем навигации и связи.

Раскраска полярного сияния объясняется газовым составом термосферы. В отличие от газового состава атмосферы у поверхности земли, в термосфере преобладающим газом является кислород, второе место по объёмному содержанию занимает азот. Основные спектры видимого излучения атома кислорода соответствуют зелёному и красному цвету. А основные спектры излучения азота красному и фиолетовому цвету. Но невооружённым глазом, мы увидим в основном только зелёный цвет, красный цвет будет еле заметен. Причина этого состоит в том, что максимум чувствительности человеческого глаза приходится на длину волны 555 нм что соответствует зелёной части спектра. Красный же цвет находится на краю спектральной чувствительности человека. Настоящая красота полярных сияний раскрывается с помощью фотоаппарата (рисунки 1, 2).

Почему же последнее время магнитные бури усилились и стали такими частыми? Главной причиной здесь является то, что мы находимся на пике 11-летнего цикла солнечной активности. Одиннадцатилетний цикл солнечной активности или цикл Швабе открыл немецкий учёный Генрих Швабе. Этот цикл является самым изученным и самым ярко выраженным. Сейчас мы переживаем 25 цикл солнечной активности. В 2025 – 2026 годах он должен достигнуть своего пика.

Активность солнца определяется числом Вольфа (W).

Число Вольфа усредняют по месяцам или годам и строят график зависимости величины от времени (рисунок 3).

Но если активность Солнца циклична, то почему же сейчас к этому приковано столько внимания? Этому тоже есть своё объяснение. Мы живём в век цифровых технологий. У каждого есть доступ к информации о происходящих на Земле и космосе явлениях. Информацию о приближающейся магнитной буре мы можем узнать из новостей или соц. сетей. С развитием технологий мы получили возможность наблюдать солнечные пятна и прогнозировать магнитные бури.

Подведём итоги. Магнитные бури также как и полярные сияния имеют прямую связь с активностью Солнца. При этом солнечная активность циклична, об этом свидетельствуют периоды повышения и спада активности. Всё это объясняет обеспокоенность людей, вызванную частыми магнитными бурями, не понимая при этом сути происходящих процессов. Во время магнитных бурь происходит деформация магнитного поля Земли, это приводит к выбросу плазмы из солнечной короны и столкновением её с магнитным полем, в результате чего и возникают полярные сияния и многие другие геомагнитные возмущения.



Рисунок 1 – Полярное сияние. Архангельская область



*Рисунок 2 – Полярное сияние. Псковский район, вблизи дер. Пески.
57.8 градусов, П. Митрофанов 25.09.2023.*

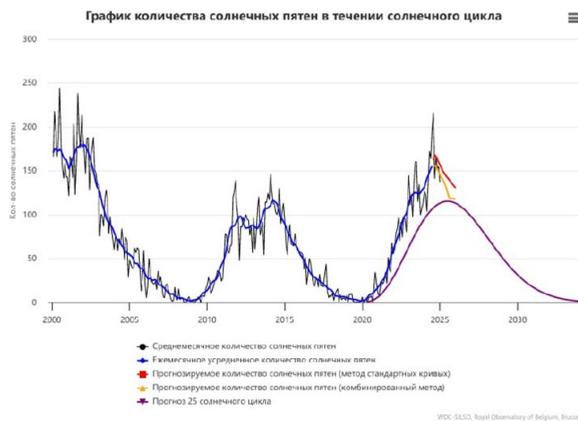


Рисунок 3 – График количества солнечных пятен в течении солнечного цикла

Список литературы

1. <https://www.spaceweatherlive.com/ru/solnechnaya-aktivnost/solnechnyy-cikl.html>
2. <http://solar-climate.com/sc/sactivnost.htm>
3. <https://dzen.ru/a/ZyCeJNAelxiByj0Y?ysclid=m7g121cq9o410514178>
4. <https://conf-solonin.rshu.ru/forma.php>
5. <https://bigenc.ru/>
6. http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-090521.pdf
7. Кашлева Л.В. Атмосферное электричество. Учебное пособие – СПб.: изд. РГГМУ, 2008. – 116 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЗАРОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЮ ВНЕТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ

Калиниченко А.А., Анискина О.Г.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
kalinichenko.antonina2020@yandex.ru

Аннотация. Рассматривается влияние различных атмосферных параметров на зарождение и эволюцию внетропических циклонов, на примере циклона, сформировавшегося в Атлантическом океане у берегов Северной Америки из волны на арктическом фронте 29 августа 2024 года. Исследуется на протяжении всего жизненного цикла циклона изменение тенденции вихря скорости на различных изобарических поверхностях, температурной адвекции, а также динамической неустойчивости как наиболее важных циклогенетических факторов.

Ключевые слова. Зарождение и эволюция циклонов, изменение тенденции вихря скорости, температурная адвекция, динамическая неустойчивость.

RESEARCHING OF FACTORS DETERMINING ON CYCLOGENESIS AND EVOLUTION OF EXTRATROPICAL CYCLONES

Kalinichenko A.A., Aniskina O.G.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St. Petersburg

Annotation. We analyze the influence of various atmospheric parameters on the birth and evolution of extratropical cyclones using the example of a cyclone which formed from a wave on the Arctic front in the Atlantic Ocean near the coast of North America on August 29, 2024. Changes in the velocity vortex tendency on different isobaric surfaces, temperature advection, and dynamic instability as the most important cyclogenetic factors are studied throughout the cyclone's life cycle.

Keywords. Formation and evolution of cyclones, velocity vortex tendency, temperature advection, dynamic instability.

Циклогенез – условия термобарического поля тропосферы, благоприятные для возникновения и развития циклонов [1]. Понимание механизмов зарождения циклонов и дальнейшей их эволюции является очень важной задачей как для повышения качества оперативных прогнозов, так и для исследования долгосрочных вариаций климата, изучения общей циркуляции атмосферы и межширотного обмена воздушных масс. Однако в силу большого количества факторов, влияющих на процесс циклогенеза, на сегодняшний день не существует завершенной физической теории, которая бы полностью описывала процесс зарождения и дальнейшей эволюции циклонов [2]. Также одним из главных недостатков всех существующих на данный момент концептуальных моделей возникновения и эволюции циклонов является отсутствие точных количественных критериев, по которым можно определить возникновение и развитие этих барических образований [3].

Целью работы был поставлен анализ влияния различных атмосферных параметров, а именно изменения тенденции вихря скорости, температурной адвекции, динамической неустойчивости на зарождение и эволюцию циклонов умеренных широт.

Для проведения исследования был выбран циклон, сформировавшийся в Атлантическом океане у берегов Северной Америки из волны на арктическом фронте. Изменение параметров прослеживалось в течении всего жизненного цикла циклона с дискретностью 6 часов от момента зарождения 29 августа 2024 г до его полного заполнения 1 сентября 2024 г. Используя архив спутниковых снимков ИСЗ Terra/MODIS с сайта «NASA Worldview» [7], архив спутниковых снимков с сайта «EUMe Train» [8] и архив синоптических карт Немецкой службы погоды с сайта «wetter3.de» [9], были определены основные этапы жизни циклона.

Для расчета анализируемых метеорологических параметров необходимы исходные данные о геопотенциальной высоте, температуре и скорости ветра. В качестве таких данных были взяты данные анализа модели GFS с разрешением $0,25^{\circ}$ из базы данных Национального центра атмосферных исследований NCAR [10]. Для проведения и оптимизации расчётов был создан программный комплекс на языке высокого уровня Фортран. Полученные поля изучаемых параметров были визуализированы с использованием инструмента OpenGrADS.

Образование волны на арктическом фронте наблюдалось в 12 UTC 29.08.24. Первая замкнутая изобара образовалась в 00 UTC 30.08.24. Окклюзирование произошло в 18 UTC 30.08.24. Наименьшего давления в центре изучаемый циклон достиг в 06 UTC 31.08.24. На 18 UTC 31 августа хорошо видно сокращение тёплого сектора циклона и образование протяженной окклюзии. Заполняться циклон начал в 12 UTC 1.09.24. Жизненный цикл изучаемого циклона представлены на рисунке 1

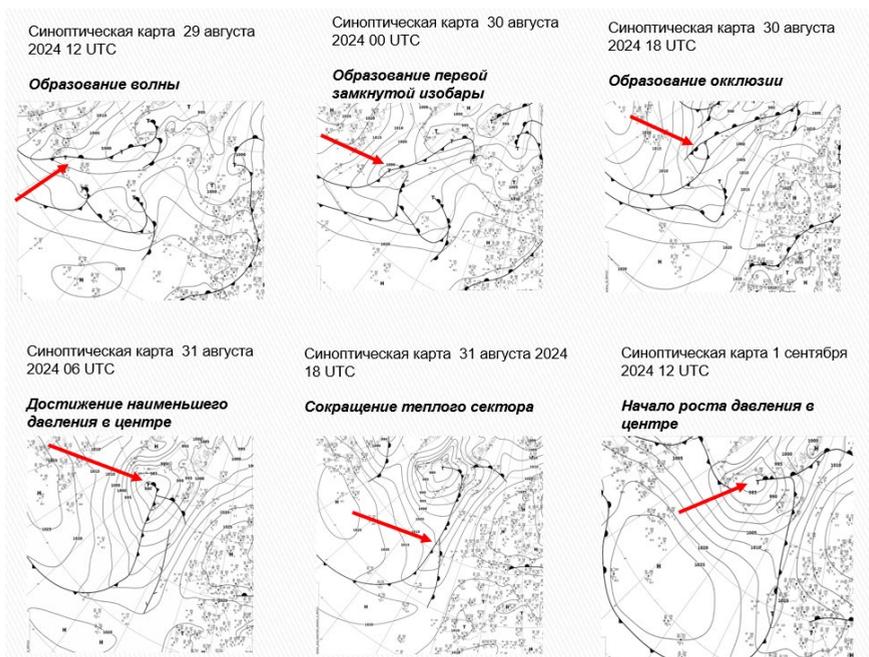


Рисунок 1 – Основные этапы развития изучаемого циклона по данным архива синоптических карт Немецкой службы погоды [9]

Условием образования, а также дальнейшего развития циклона является наличие замкнутой циклонической циркуляции. Поэтому в качестве первого параметра, предположительно влияющего на циклогенез, было рассмотрено изменение тенденции вихря скорости. В сферической системе координат тенденция вихря скорости определяется по следующей формуле:

$$\frac{\partial \Omega_z}{\partial t} = \frac{\partial \left(\frac{1}{a \cos \varphi} \frac{\partial v}{\partial \lambda} - \frac{1}{a} \frac{\partial u}{\partial \varphi} \right)}{\partial t} \quad (1)$$

где

- Ω_z – вертикальная составляющая вихря скорости,
- u – зональная составляющая скорости ветра,
- v – меридиональная составляющая скорости ветра,
- t – время,
- φ – широта,
- λ – долгота
- a – радиус Земли

При значениях $\frac{\partial \Omega_z}{\partial t} > 0$ – циклонический вихрь усиливается, а при значениях $\frac{\partial \Omega_z}{\partial t} < 0$ – ослабевает [4].

Тенденция рассчитывалась как изменение завихренности за шесть часов. Вертикальные разрезы поля тенденции вихря скорости представлены на рисунке 2. Все рассчитанные значения были умножены на 10000 для более наглядной визуализации.

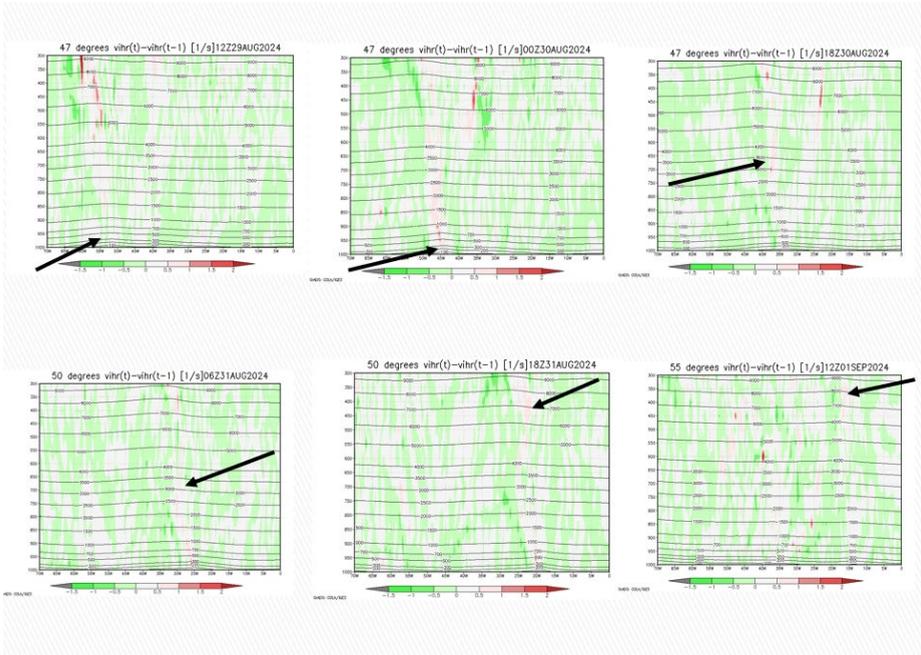


Рисунок 2 – Вертикальный разрез изменения тенденции вихря скорости

На момент появления волны тенденция вихря скорости у поверхности земли имела нулевые значения. Так как образование циклона происходит от поверхности земли, то повышенные значения тенденции в верхних слоях атмосферы вряд ли можно

связать с образованием изучаемого циклона. По мере развития циклона положительная тенденция изменения вихря скорости начинала увеличиваться от поверхности земли и с течением времени распространялась на все более высокие слои, несколько ослабевая по модулю. На момент образования первой замкнутой изобары (стадия молодого циклона) значения тенденции вихря скорости у поверхности земли были максимальными. С образованием окклюзии тенденция вихря скорости начала уменьшаться, причем уменьшение происходило от поверхности земли, на более высоких уровнях оно произошло несколько позже, что указывает на то, что разрушение циклона происходит от поверхности земли. На момент начала заполнения циклона положительные значения тенденции сохранялись лишь в верхней тропосфере.

В качестве второго атмосферного параметра, предположительно влияющего на циклогенез, было рассмотрено изменение приземной температурной адвекции. Циклоны и антициклоны являются результатом меридиональной циркуляции атмосферы, то есть для развития циклона необходимо поддержание притока тепла в южной – юго-восточной части циклона и наличие холодных потоков в северной – северо-западной части. Циклон существует до тех пор, пока внутри него поддерживаются градиенты температуры и влажности [5]. Температурная адвекция в сферической системе координат была определена по следующей формуле:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = u \frac{1}{\cos \varphi} \frac{\partial T}{\partial \lambda} + v \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial \varphi} \quad (2)$$

Полученные поля температурной адвекции на изобарической поверхности 1000 гПа представлены на рисунке 3. Все рассчитанные значения были умножены на 10000 для более наглядной визуализации.

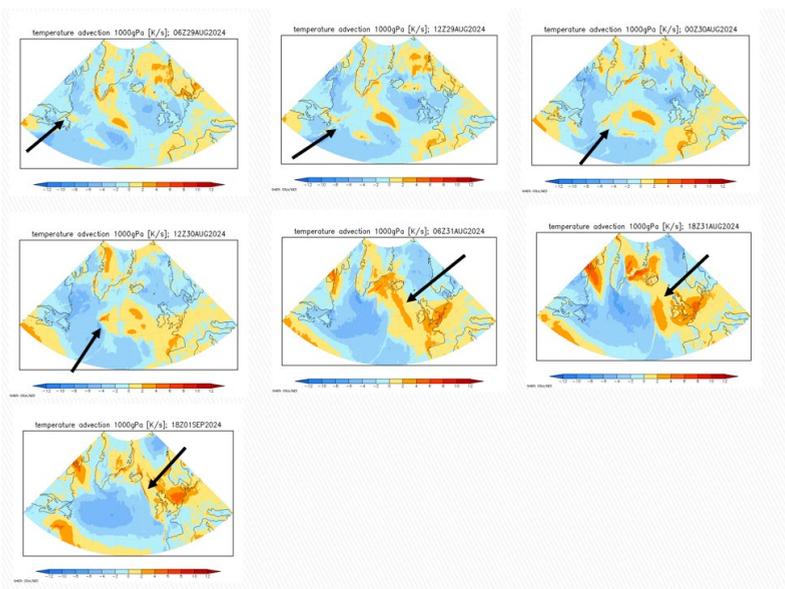


Рисунок 3 – Изменение приземных значений температурной адвекции по мере развития изучаемого циклона

Анализируя полученные поля температурной адвекции, можно сделать вывод, что до появления волны в зоне фронта наблюдалась слабая адвекция тепла, которая

усилилась с появлением волны. Далее по мере развития циклона и оформления теплого сектора адвекция тепла также усиливалась. Выраженный теплый сектор циклона особенно хорошо заметен в момент перед появлением окклюзии. Затем область тепла связанная с циклоном, начала сливаться с той областью, которая располагалась восточнее анализируемого циклона и предположительно была связана с антициклоном, центр которого располагался над Британскими островами. В какой-то момент образовавшаяся протяженная окклюзия начала разделять область с сильными заточками тепла восточнее окклюзии от области с сильной адвекцией холода западнее окклюзии. С началом заполнения циклона температурные контрасты в анализируемой области начали выравниваться.

В качестве третьего параметра была рассмотрена динамическая неустойчивость. Динамическая неустойчивость является одним из необходимых условий возникновения возмущений синоптического масштаба. Она включает в себя как баротропную – два первых члена в правой части уравнения (3), так и бароклинную неустойчивость – третий член в правой части уравнения (3). В средних и высоких широтах баротропными членами можно пренебречь, так как они на порядок меньше бароклинного члена [6]. Поэтому в исследовании при расчёте динамической неустойчивости учитывался только бароклиный фактор. Данный фактор был рассчитан по методике, представленной в учебнике И. Н. Русина, Г. Г. Тараканова «Сверхкраткосрочные прогнозы погоды» [6]:

$$DI = \frac{1}{R} \frac{\partial v}{\partial n} + \frac{\partial^2 v}{\partial p^2} + \frac{l^2}{\sigma} \frac{\partial^2 v}{\partial p^2} \quad (3)$$

$$DI_{850}^{500} = \frac{3 \cdot 10^{-6} (\sin \varphi)^2 \sqrt{v_1^2 + (0,75v_2)^2 - 1,5v_1v_2 \cos |d_1 - d_2|}}{(Z_{500} - Z_{850})(\theta_{500} - \theta_{850})} \quad (4)$$

$$DI_{700}^{300} = \frac{2,6 \cdot 10^{-6} (\sin \varphi)^2 \sqrt{v_2^2 + v_3^2 - 2v_2v_3 \cos |d_2 - d_3|}}{(Z_{300} - Z_{700})(\theta_{300} - \theta_{700})} \quad (5)$$

$$D = \frac{DI_{850}^{500} + DI_{700}^{300}}{2 \cdot 10^{-6}} \quad (6)$$

$$D = \frac{D}{|D|_{кр}} \quad (7)$$

где

- | | |
|-----------|---|
| DI | – динамическая неустойчивость, |
| R | – радиус кривизны линий тока, |
| n | – нормаль к линии тока, направленная вправо от направления течений, |
| v | – скорость, |
| l | – Параметр Кориолиса, |
| p | – давление |
| φ | – широта, |
| d | – направление ветра. |

Образование циклонов, как правило, происходит в условиях динамической неустойчивости. Атмосфера считается динамически неустойчивой при $D > 1$ [6].

Анализируя полученные поля динамической неустойчивости, представленные на рисунке 4, можно заметить, что в срок, предшествующий появлению волны, наблюдались повышенные значения данного параметра, которые постепенно уменьшались до момента возникновения окклюзии, после чего они вновь начали расти до начала стадии заполнения циклона. С началом стадии заполнения наблюдалось уменьшение динамической неустойчивости.

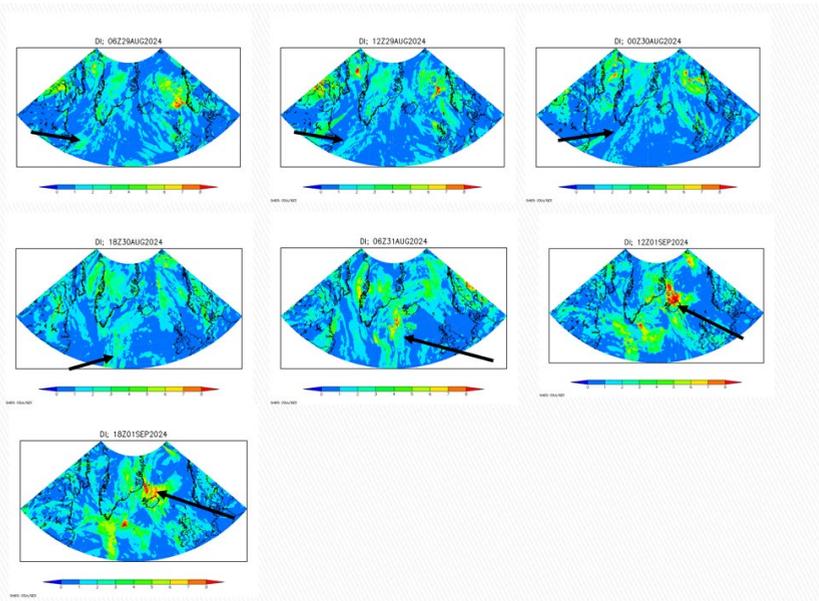


Рисунок 4 – Изменение динамической неустойчивости по мере развития изучаемого циклона

Анализируя полученные результаты, можно сказать, что несмотря на неоднозначное изменение изучаемых параметров по мере зарождения и развития данного циклона, наблюдаемые изменения всех атмосферных характеристик в целом соответствуют теоретическим закономерностям. Поэтому можно предположить, что анализируемые метеорологические параметры действительно влияли на процесс зарождения и эволюции данного циклона. Также в ходе работы было выявлено, что наиболее высокие значения многих атмосферных параметров наблюдаются в период достижения максимальной глубины циклона и окклюдирования. После начала роста давления в центре, значения всех исследуемых метеопараметров уменьшаются. В дальнейшем планируется провести анализ большего количества факторов, предположительно влияющих на циклогенез, увеличить количество исследуемых циклонов для более репрезентативных результатов, а также попробовать определить количественные критерии циклогенеза.

Список литературы

1. Дашко Н.А. Курс лекций по синоптической метеорологии. Владивосток: ДВГУ, 2005. – 523 с.
2. Погосян Х.П. Общая циркуляция атмосферы. Ленинград: Гидрометеиздат, 1972. – 394 с.
3. Степанов В.В. Полярные фронтальные и арктические циклоны в поле облачности – СПб.: ААНИИ – 2022.- 136 с.
4. Зверев А. С. Синоптическая метеорология. Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
5. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология: учебник. Ленинград: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
6. Русин И.Н., Тараканов Г. Г. Сверхкраткосрочные прогнозы погоды – СПб.: изд-во РГТМИ. – 1996.- 308 с.

7. Архив спутниковых снимков: сайт – URL: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/> (дата обращения 28.02.2025).
8. Архив спутниковых снимков: сайт – URL: http://resources.eumetrain.org/ePort_MapViewer/index.html (дата обращения 28.02.2025).
9. Архив синоптических карт: сайт – URL: <https://www.wetter3.de/> (дата обращения 06.12.2024).
10. База данных Национального центра атмосферных исследований NCAR: <https://rda.ucar.edu> (дата обращения 28.02.2025).

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА В Г. КРАСНОЯРСКЕ

Никольская С.Е.

Руководитель: Анискина О.Г.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
suzan_nik.18@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена концентрация загрязняющих примесей в г. Красноярске и проанализирована связь уровня загрязнения с метеорологическими условиями.

Ключевые слова. Антропогенное загрязнение, температура воздуха, инверсия, скорость ветра, PM_{2.5} и PM₁₀.

AIR QUALITY RESEARCH IN KRASNOYARSK

Nikolskaya S.E.

Supervisor: Aniskina O.G.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Abstract. The concentration of pollutants in Krasnoyarsk is considered and the relationship of the pollution level with meteorological conditions is analyzed.

Keywords. Anthropogenic pollution, air temperature, inversion, wind speed, PM_{2.5} and PM₁₀.

Загрязнение атмосферного воздуха является одной из главных причин заболеваний дыхательной системы и других хронических недугов среди населения. В Красноярске, где уровень загрязнения превышает допустимые нормы, необходимо проводить исследования закономерностей изменения качества воздуха. Красноярс расположен на берегах реки Енисей в котловине, где часть города находится в низине, а другая — на сопках. Город окружён возвышенностями Саянских гор, что создает определённые климатические условия и влияет на распределение ветров и температурные режимы, которые, в свою очередь, влияют и на качество воздуха в городе.

В Красноярске часто наблюдаются неблагоприятные метеорологические явления, известные как инверсии. В холодное время года и в начале отопительного сезона верхние слои атмосферы становятся теплее нижних, что приводит к образованию «крышки» из тёплого воздуха над городом. В результате холодный воздух задерживается у поверхности, что способствует увеличению концентрации вредных веществ и токсичных аэрозолей в атмосфере.

Парение от Енисея усугубляет эту проблему. Конденсат действует как «транспортёрщик» загрязняющих веществ: капли влаги поглощают токсичные частицы и формируют туман, который не рассеивается из-за окружающих возвышенностей. Таким образом, загрязнённый воздух не поднимается вверх, а перемещается по приземному слою во всех районах города.

Основные источники загрязнения атмосферы в городах включают предприятия металлургической, теплоэнергетической, строительной, деревообрабатывающей, химической и нефтехимической отраслей, а также коммунальные и производственные котельные. Эти предприятия выбрасывают в атмосферу различные загрязняющие вещества, такие как диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, гидрофториды, сероводород, формальдегид, фенолы и бензапирен. Оксиды углерода и оксиды азота также являются результатом деятельности автотранспорта.

Помимо основных загрязняющих веществ, на качество атмосферного воздуха негативно влияют выбросы специфических веществ. Хотя валовые выбросы таких загрязняющих веществ составляют чуть более 1% от общекраевых выбросов, большая часть из них относится к 1 и 2 классу опасности. Воздух крупных промышленных центров загрязнен специфическими веществами в значительных долях: фтористые соединения (99,9%), бензапирен (95%), хлор (96%) и формальдегид (49%).

В данной работе анализировались данные о индексе качества воздуха AQI, полученные с портала Красноярского научного центра от объединенной системы мониторинга, включающей в себя станции как КНЦ, так и Министерства экологии и рационального природопользования Красноярского края. Портал предоставляет данные с почти 30 пунктов наблюдения, расположенных по всей территории города.

В данном исследовании анализировалось качество воздуха в двух пунктах: Академгородок, Песчанка. Данные пункты были выбраны по причине их расположения, непрерывности и частоты наблюдений.

Песчанка находится к северо-востоку от Академгородка, в долинной области города. То есть она расположена на плоской открытой местности, в то время как Академгородок расположен на хребте. К тому же у этих пунктов есть ещё одно ключевое различие – Песчанка находится рядом с Красноярским алюминиевым заводом. Академгородок же вовсе отдален от всех предприятий города. В исследовании использовались данные системы мониторинга воздуха г. Красноярска, включая информацию о содержании частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} , а также индекс качества воздуха (AQI). Рассматривались ежечасные данные за период с 12 октября 2018 года по 31 декабря 2024 года

Основные результаты:

1. Выявлены различия в суточном ходе концентраций загрязняющих веществ в зимний и летний период:
 1. Максимальные значения концентраций в зимний период превышают летние в 2 раза.
 2. Суточный ход зимних месяцев обратен суточному ходу месяцев теплого периода года.
3. Сделан вывод о неясности связи загрязнения воздуха с основными метеорологическими параметрами.
4. Выявлены месяцы теплого периода года с уровнями загрязнения, превышающими зимние, что может быть связано с лесными пожарами в Красноярском крае.
5. В дальнейшем будет рассмотрена связь загрязнений с количеством осадков и со стратификацией атмосферы.

АНАЛИЗ СИЛЬНЫХ ВЕТРОВ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ РФ

Никитин М.А., Ефимова Ю.В.

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

Аннотация. В процессе выполнения научно-исследовательской работы был проанализирован многолетний ход ветра на 8 станциях, расположенных на Северо-западе РФ, в период с 1966 по 2023 гг.

Ключевые слова. Ветер, порывы, динамика ветра, станции.

ANALYSIS OF STRONG WINDS IN THE NORTH-WEST OF THE RUSSIAN FEDERATION

Nikitin M.A., Efimova Yu.V.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St. Petersburg

Annotation. In the course of the research work, the long-term wind flow at 8 stations located in the North-West of the Russian Federation was analyzed in the period from 1966 to 2023.

Keywords. Wind, gusts, wind dynamics, stations.

Целью данной работы является анализ динамики ветрового режима на Северо-западе РФ за последние 60 лет. Для достижения поставленной цели в работе необходимо получить архив данных по 8-срочным наблюдениям на восьми станциях, расположенных на Северо-западе РФ; проанализировать общий годовой ход ветра, а также динамику ветра на двух самых северных станциях за два равных периода времени (с 1977 по 2000 гг. и с 2001 по 2023 гг.). Отдельной задачей ставится анализ синоптической ситуации, сопутствующей случаю аномально сильного порыва ветра на станциях Териберка и Вайда-Губа 28 февраля 2022 года.

По данным современных исследований на арктических побережьях РФ в последние годы особенно явно наблюдаются изменения климата [1]. В течение года на севере РФ наблюдаются значительные температурные контрасты, которые часто связаны с выходом циклонов с районов арктических морей на северо-запад России. Например, 8 февраля 2025 года на Ямало-Ненецкий автономный округ вышел глубокий арктический циклон, в тыловой части которого наблюдалось нестандартное поле температуры: фиксировался перепад температуры воздуха от -13°C до $+2^{\circ}\text{C}$. Усиление ветра в порывах фиксировалось до 24 м/с. На северо-западе РФ подобный случай наблюдался 12 декабря 2024 года, когда при прохождении холодного фронта штормового циклона в Мурманске наблюдались порывы ветра до 31 м/с [2].

Вследствие этого, исследование сильных и штормовых ветров на Северо-западной части РФ в течение длительного периода является весьма актуальной задачей.

На территории исследования были выбраны 8 станций, меридионально расположенных с юга на север: Санкт-Петербург, Петрозаводск, Паданы, Кемь-порт, Умба, Ковдор, Териберка, Вайда-Губа. В процессе выполнения научно-исследовательской работы, был создан архив данных сильных ветров за период с 1966 по 2023 гг. Полученные данные были отфильтрованы по среднему ветру и порывам (по градации «Сильный ветер» (≥ 15 м/с)) [3]. Затем было рассчитано суммарное количество сроков для всех станций за весь период наблюдений по порывам и средней скорости ветра – получилось 73330 и 14943 сроков соответственно.

Из всех рассмотренных станций, Вайда-Губа и Териберка выделяются больше всего – количество сроков по сильному ветру у этих станций занимает большую часть от общего объема информации, собранной по всем станциям (98,2% данных по порывам и 77,2% данных по среднему ветру).

Также из всего периода наблюдений, на всех станциях можно выделить годы с «особыми» данными, а именно 1966-1976 годы. Их «особенность» заключается в том, что мы предполагаем, что в этот период ряд данных был неоднороден, т.к. данные значительно отличаются от данных с 1977 года. В процессе работы было решено, что для дальнейшего анализа лучше использовать данные, начиная с 1977 года.

Проанализируем режим ветра с 1977 года по 2023 год для каждой станции отдельно:

Количество сроков со средним ветром ≥ 15 м/с: Вайда-Губа – 3004, Териберка – 7129, Ковдор – 0, Умба – 44, Кемь-порт – 38, Паданы – 38, Санкт-Петербург – 0, Петрозаводск – 1.

Количество сроков с порывами ветра: Вайда-Губа – 22019, Териберка – 34620, Ковдор – 1456, Умба – 3632, Кемь-порт – 5559, Паданы – 3380, Санкт-Петербург – 650, Петрозаводск – 1911.

Наблюдается значительный разброс данных по среднему ветру. Можно отдельно выделить станции по отсутствию случаев с сильным ветром – Ковдор, Санкт-Петербург и Петрозаводск. Можно предположить, что на данный факт может влиять городская застройка, географическое положение станции (находится на суше или в прибрежной зоне), местные особенности рельефа, погодные условия.

На рисунке 1 представлен ветровой режим для всех станций за период с 1977 по 2023 гг.

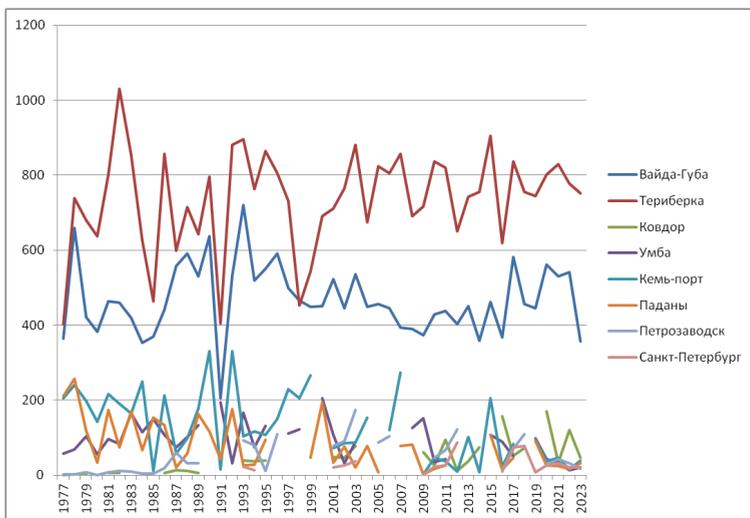


Рисунок 1 – Динамика ветра для всех станций за 1977 – 2023 гг.

Станции Вайда-Губа и Териберка регистрируют больше всего порывов, по сравнению с остальными станциями. Основная причина такого различия данных между станциями – их географическое положение. Вайда-Губа и Териберка являются двумя самыми северными точками. Остальные же станции, которые находятся южнее, регистрируют в разы меньше случаев, не превышая в среднем 150-200 случаев/год.

Из всех исследуемых станций, полным набором данных о порывах ветра за период с 1977 по 2023 год обладают лишь две станции – Вайда-Губа и Териберка. Именно эти станции мы рассмотрим более подробно для нашего анализа.

Для начала разделим период исследования на две части: с 1977 по 2000 гг. (1 период) и с 2001 по 2023 гг. (2 период). Далее проанализируем динамику ветра на обеих станциях. В первый период на обеих станциях наблюдаются значительные колебания количества случаев, особенно в Териберке: от 1031 срока в 1982 году до 463 сроков в 1985 году, в Вайде-Губе: от 205 сроков в 1991 году до 532 сроков в 1992 году. Во втором периоде, значительных амплитуд не наблюдается.

Начиная с 2016 года, ход кривой количества сроков с сильным ветром Вайды-Губы принимает более резкий характер.

На станции Вайда-Губа, среднее количество зарегистрированных сроков с сильным ветром за 1 период составляет 485 случаев, за 2 период – 452 случая. На станции Териберка – 703 и 772 случая соответственно. В Териберке фиксируется рост случаев с сильным ветром.

Разобьём сильные ветра по градациям: 15 – 20 м/с, 21 – 25 м/с, 26 – 30 м/с, 31 – 35 м/с, 36 – 40 м/с, 41 – 45 м/с.

В таблице 1 представлено количество сроков по станциям Териберка и Вайда-Губа с сильными порывами ветра для каждой градации, а также их повторяемость для 1 и 2 периода исследования.

Таблица 1 – Количество сроков с сильным порывом ветра на Вайде-Губе и Териберке за период с 1977 по 2023 гг.

Первый период (1977-2000 гг.)					Первый период (1977-2000 гг.)					
Градации порывов ветра, м/с					Градации порывов ветра, м/с					
15-20	21-25	26-30	31-35	36-40	15-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45
9831	1458	295	39	8	12784	3140	807	110	26	4
11631					16871					
Повторяемость ветра, %					Повторяемость ветра, %					
84,52	12,54	2,54	0,34	0,07	75,77	18,61	4,78	0,65	0,15	0,02
Второй период (2001-2023 гг.)					Второй период (2001-2023 гг.)					
Градации порывов ветра, м/с					Градации порывов ветра, м/с					
15-20	21-25	26-30	31-35	36-40	15-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45
8844	1386	144	14	0	13597	3230	762	135	23	2
10388					17749					
Повторяемость ветра, %					Повторяемость ветра, %					
85,14	13,34	1,39	0,13	0,00	76,61	18,20	4,29	0,76	0,13	0,01

Сравнивая порывы ветра для каждой станции за первый и второй период, можно сделать выводы, что:

- 1) Количество регистрируемых сроков с наблюдавшимся сильным ветром на Вайде-Губе за последние 20 лет снизилось на 10%. При этом частота регистрации порывов ветра свыше 25 м/с уменьшилась в 2-3 раза, а скорость ветра свыше 35 м/с не фиксировалась вовсе.
- 2) В случае с Териберкой ситуация наоборот – количество регистрируемых сроков с наблюдавшимся сильным ветром за последние 20 лет выросло на 5%. В основном стали чаще регистрироваться порывы ветра 15-20 м/с, в остальном – сильных различий нет.

В процессе работы была проанализирована повторяемость сроков с сильными порывами ветра (>20 м/с) по месяцам. Самое высокое количество случаев на обеих станциях регистрируется в зимний период с максимумом в январе: на Териберке – 1775 сроков, на Вайде-Губе – 1055 сроков.

На рисунке 2 представлена гистограмма с повторяемостью сроков с сильными порывами ветра (>20 м/с) по станциям Териберка и Вайда-Губа для каждого месяца.

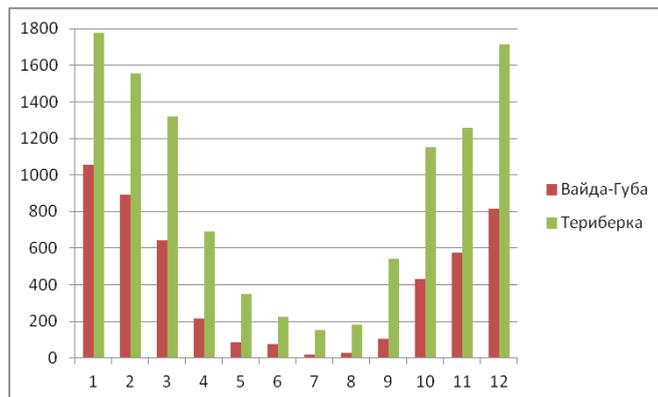


Рисунок 2 – Повторяемость сроков с сильными порывами ветра (>20 м/с) по месяцам для станций Вайда-губа и Териберка

Поскольку Вайда-Губа и Териберка имеют большое количество данных, для дальнейшего анализа будем рассматривать только случаи с порывами ветра свыше 30 м/с. В качестве примера проанализируем синоптические условия 28 февраля 2022 года, когда наблюдался случай с аномально сильным порывом ветра. Для этого воспользуемся дополнительным источником информации – архивом синоптических карт ГМЦ России.

Разберём синоптическую ситуацию, наблюдавшуюся на нашей территории исследования, более подробно.

Данная ситуация связана с зоной взаимодействия двух барических образований: обширного антициклона над Европой и Центральной Россией, а также циклона, центр которого находится над Баренцевым морем.

Над северным ледовитым океаном располагается циклон с центром $P = 995$ гПа, западнее Новой Земли. Анализируемые станции (Териберка и Вайда-Губа) находятся под влиянием его высокоградиентной южной части. В поле циклона фиксируются отрицательные температуры. К примеру, на Шпицбергене зафиксирована температура $-10,3$ °С, а на острове Хейса (архипелаг Земли Франца-Иосифа), расположенного восточнее, температура составляет $-23,6$ °С.

Вся территория Европы и центр России находится под влиянием обширного антициклона, с центром в районе Прибалтики. Гребень от него выходит на северную Атлантику, захватывая север Скандинавии. Данный гребень соответствует западной периферии этого антициклона, по которой на север Скандинавии поступают тёплые воздушные массы, в связи с чем, на севере Норвегии фиксируются положительные температуры (станция Нарвик – температура $+4,6$ °С).

Холодная воздушная масса в тыловой части циклона поступает с территории Северного Ледовитого океана. Территория исследования находится в зоне взаимодействия двух различных воздушных масс, что приводит к усилению барического градиента и, следовательно, усилению ветра. Также, над нашими станциями проходит холодный фронт, с которым связано дополнительное усиление ветра.

Поскольку в этот день наблюдались случаи с аномально сильными порывами ветра (> 30 м/с) на обеих рассматриваемых станциях (Териберке и Вайде-Губе), необходимо сопоставить сроки наблюдений и сравнить, когда именно на этих станциях возникали такие порывы.

В таблице 2 представлено время (сроки), когда на станциях Вайда-Губа и Териберка были зафиксированы случаи аномально сильных порывов ветра (> 30 м/с), а также их интенсивность.

Таблица 2 – Время (сроки), когда регистрировался аномально сильный порыв ветра на станциях Вайде-Губе и Териберке 28 февраля 2022 года

Вайда-Губа						Териберка					
Индекс	Год	Месяц	День	Срок	Порывы	Индекс	Год	Месяц	День	Срок	Порывы
22003	2022	2	28	0	30	22028	2022	2	28	0	34
22003	2022	2	28	3	32	22028	2022	2	28	3	40
						22028	2022	2	28	6	42
						22028	2022	2	28	9	35

Исходя из таблицы, можно сделать выводы:

- 1) Аномально сильные порывы ветра регистрировались на Териберке чаще, чем на Вайде-Губе. Причиной того, что аномально сильные порывы ветра наблюдались на Териберке более длительный период, являлось замедление фронтальной системы холодного фронта.
- 2) Обе станции расположены в области сгущения изобар, что приводит к образованию аномально сильных ветров, однако регистрируемые на Териберке порывы ветра значительно сильнее, чем на Вайде-Губе.
- 3) Орографический фактор – одна из возможных причин усиления ветра в Териберке.

Вывод. Был рассмотрен ветровой режим на Северо-западе России. Для его детального исследования, на этой территории были выбраны восемь метеорологических станций.

В процессе исследования, было выбрано две станции с однородным рядом наблюдений (Териберка и Вайда-Губа). По результатам этого исследования были сделаны следующие заключения:

- 1) В последнее время, количество регистрируемых сроков с сильным ветром в Териберке возрастает;
- 2) Самые сильные ветра на этих станциях наблюдаются в зимнее время, с максимумом в январе;

Была рассмотрена синоптическая ситуация для 28 февраля 2022 года, с аномально сильным ветром. В результате анализа этой ситуации было установлено, что порывы ветра на Териберке регистрировались чаще и были значительно сильнее, чем на Вайде-Губе. Причиной этому послужил холодный фронт, который проходил над нашими станциями.

Список литературы

1. Анализ термического режима Арктического побережья [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2022/article/2018030239>, свободный. (Дата обращения: 16.03.2025)
2. ФГБУ «Мурманское УГМС» [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://kolgimet.ru>, свободный. (Дата обращения: 16.03.2025)
3. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения: РД 52.27.724 – Москва ФГБУ «Гидрометцентр России». 2019. с.62

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕДОПРОДУКТИВНОСТИ ПОЛЫНИИ МЫСА ДАРНЛИ (ЗАЛИВ ПРЮДС)

Бугук Г.М.¹, Молчанов М.С.², Чистяков И.А.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

²Государственный научный центр РФ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург

¹bugukgeorg@mail.ru, ²mms@aari.ru

Аннотация. Приводятся результаты исследования межгодовой изменчивости ледопродуктивности прибрежной полыньи мыса Дарнли в заливе Прюдс (море Содружества, восточная Антарктика) по данным спутниковых наблюдений AMSR-2 и атмосферного реанализа ERA5. Анализируются межгодовые изменения суммарных за период антарктической зимы (с мая по октябрь) объема образованного морского льда, скорости ледопродуктивности и площади полыньи.

Ключевые слова. Антарктика, залив Прюдс, морской лед, полыньи, метеоусловия

INTERANNUAL VARIABILITY OF SEA ICE PRODUCTION IN THE CAPE DARNLEY POLYNYA (PRYDZ BAY)

Buguk G.M.¹, Molchanov M.S.², Chistiakov I.A.²

¹Saint Petersburg State University, St. Petersburg

²Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg

Annotation. Presents the study results of interannual variability of ice productivity of the Cape Darnley coastal polynya in Prydz Bay (Commonwealth Sea, East Antarctica) based on AMSR-2 satellite data and ERA5 atmospheric reanalysis data. Interannual variability in the total volume of sea ice formation, ice productivity rate, and polynya area during the Antarctic winter (from May to October) are analyzed.
Keywords. Antarctica, Prydz Bay, sea ice, polynyas, weather conditions

Формирование антарктической донной воды — холодной плотной воды, которая занимает абиссальный слой мирового океана — является ключевым процессом в глобальной циркуляции океана. Эта водная масса образуется, когда плотная шельфовая вода опускается опускается по материковому склону. Один из четырех известных районов образование плотной шельфовой воды и ее последующее преобразование в донную воду - полынья мыса Дарнли (65°-69° в. д.). [1] Производство донной воды в полынье мыса Дарнли в основном обусловлено потоком соли, высвобождаемой при образовании морского льда на открытой водной поверхности в зимний период, и напрямую зависит от количества образованного льда (ледопродуктивности).

На примере полыньи мыса Дарнли (залив Прюдс, море Содружества, восточная Антарктика) приводятся результаты исследования изменчивости суммарной за зимний период (с мая по октябрь) ледопродуктивности. Площади полыней и данные о сплочённости морского льда были рассчитаны по ледовым картам Института физики окружающей среды Бременского университета (IUP). Сами карты составлялись на основе алгоритма ARTIST Sea Ice (ASI), который анализирует данные яркостной температуры, полученные с радиометра Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 (AMSR2), установленного на спутнике JAXA GCOM-W1. Эти данные предоставляются с пространственным разрешением 3,125 км и интерполируются на полярную стереографическую проекцию в соответствии со стандартами Национального центра данных по снегу и льду (NSIDC). Алгоритм ASI использует главным образом каналы с частотой 89 ГГц в вертикальной и горизонтальной поляризациях для расчёта концентрации льда, а также применяет фильтры погоды и методы коррекции для минимизации влияния атмосферы. Набор данных, доступный в форматах NetCDF, HDF4 и geoTIFF, архивируется на <https://seaice.uni-bremen.de>. Нами были взяты ледовые карты с 01.01.2011 по 31.10.2024. Площади полыней оценивались как площадь открытой воды в зависимости от яркости пикселей.

Для расчёта скорости образования льда была использована формула из работы [2]:

$$F = \frac{-[\sigma e_a T_a^4 - Q_{lw} + \rho_a c_h c_p U_a (T_a - T_w)]}{\rho_i L_f},$$

где:

F	— скорость образования льда	км^3 в ед. времени
σ	— постоянная Стефана-Больцмана	$5.67 \times 10^{-8} \text{ Вт м}^{-2} \text{ К}^{-4}$
e_a	— коэффициент излучения воздуха	0.95
T_a	— температура воздуха на высоте 2 м	
Q_{li}	— исходящее длинноволновое излучение	301 Вт м^{-2}
ρ_a	— плотность воздуха	1.30 кг м^{-3}
C_h	— коэффициент передачи явного тепла	2.0×10^{-3}
C_p	— удельная теплоёмкость воздуха	$1004 \text{ Дж град}^{-1} \text{ кг}^{-1}$
U_a	— скорость ветра	
T_w	— температура поверхности воды	-1.8°C
ρ_i	— плотность льда	$0.95 \times 10^3 \text{ кг м}^{-3}$
L_f	— удельная теплота плавления	$3.34 \times 10^5 \text{ Дж кг}^{-1}$

Температура воздуха и скорость ветра были получены из реанализа ERA5 для точки с географическими координатами $67^\circ 20'$ ю.ш. и $69^\circ 58'$ в.д.

Получены зимние суммарные площади полыньи, объёмы образованного льда, а также аномалии объёма, скорости ледообразования и площади. Эти показатели позволили оценить вклад различных компонентов изучаемой системы в общую ледопродуктивность исследуемой полыньи.

Выделяется два характерных временных интервала: 2014–2016 и 2021–2024 годы. В другие годы объёмы льда оставались близкими к среднему уровню и не демонстрировали значительных флуктуаций. Период 2014–2016 годов характеризуется повышенными относительно среднего значениями объёма льда в 2014 и 2016 годах (около 100 км^3) при снижении до 80 км^3 в 2015 году, что формирует своеобразную ложбину на графике временного ряда. Следующий выделяющийся период 2021–2024 годов начинается с умеренного повышения объёмов в 2021 году, за которым следует резкое падение до минимального значения во всём временном ряду (около 75 км^3) в 2022 году. Затем наблюдается значительный рост до максимального значения в 117 км^3 в 2023 году. В 2024 году объём льда снижается (более 100 км^3), но остаётся выше среднего уровня.

Для оценки вклада различных компонентов изучаемой системы в общую ледопродуктивность рассчитаны аномалии для общей ледопродуктивности и для отдельных компонент. На рисунке 1 показан график аномалий общей ледопродуктивности полыньи мыса Дарнли. 2023 и 2024 гг. демонстрируют повышенную суммарную ледопродуктивность, превышение составляет 26% и 14% соответственно.

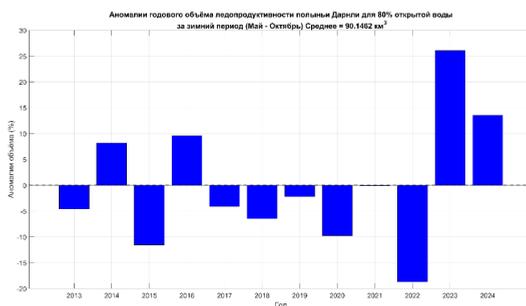


Рисунок 1 – Аномалии объёма образованного льда в полынье мыса Дарнли за зимний период (май – октябрь), выраженные в процентах от среднего значения (90,15 км³)

На рисунке 2 показаны аномалии суммарной за зимний период года площади полыньи. В 2022 году, несмотря на максимальную отрицательную аномалию объёма (-18%), аномалия площади остаётся незначительной (-2%). 2023 и 2024 гг. демонстрируют рекордные значения суммарной за год площади полыньи. Площадь за 2024 год превышает значения 2023 года, что не согласуется с динамикой изменения общей ледопродуктивности.

Выявленная закономерность позволяет предположить, что основной вклад в отрицательную аномалию объёма в 2022 году внёс метеорологический фактор, влияющий на скорость ледообразования. Аномалии скорости ледообразования не превышают $\pm 8\%$. Падение скорости ледообразования на 4-8% усиливает отрицательный вклад в суммарную ледопродуктивность до 10-20%. Однако в 2024 году вклад положительной аномалии суммарной площади полыньи превысил отрицательный вклад аномалии скорости ледообразования, являющийся следствием более мягких метеорологических условий во время существования полыньи. (Рис. 3).



Рисунок 2 – Аномалии площади полыньи мыса Дарвли за зимний период (май – октябрь), выраженные в процентах от среднего значения (632016 км²)

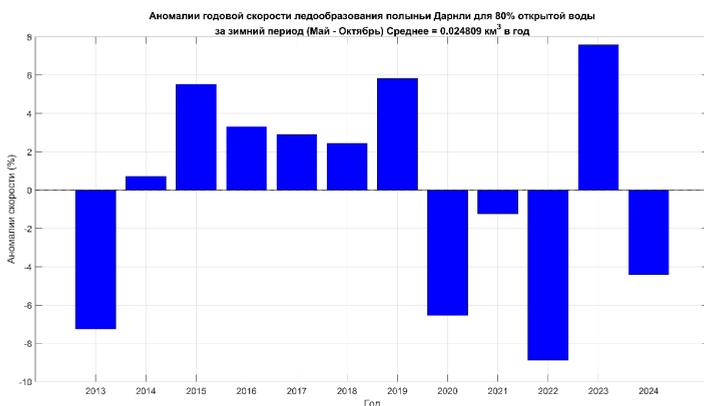


Рисунок 3 – Аномалии скорости ледообразования в полынье мыса Дарвли за зимний период (май – октябрь), выраженные в процентах от среднего значения (0,025 км³ в год)

Анализ суммарной за зимний период ледопродуктивности полыньи мыса Дарнли, выявил периоды значительных аномалий ледообразования. Наибольшие отклонения от среднего уровня наблюдаются в 2014–2016 и 2021–2024 годах, что свидетельствует о сложных взаимодействиях между образованием льда, изменением площади открытой воды и метеорологическими условиями. Особенно примечательно, что экстремальная отрицательная аномалия 2022 года не сопровождалась существенным изменением площади полыньи, что указывает на доминирующее влияние атмосферных факторов, таких как скорость ветра и температура, на темпы ледообразования.

Благодарность. Работа выполнена в рамках прохождения программы подготовки кадров (инженерно-технического состава) ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт» в 2024 - 2025 гг.

Список литературы

1. Ohshima K.I., Fukamachi Y., Williams G.D., Nihashi S, Roquet F., Kitade Y., Tamura T., Hirano D., Herraiz-Borreguero L., Field I., Hindell M., Aoki S., Wakatsuchi M. Antarctic Bottom Water production by intense sea-ice formation in the Cape Darnley polynya // Nature Geoscience. 2013. № 3 (6). С. 235–240.
2. Pease C.H. The size of wind-driven coastal polynyas // Journal of Geophysical Research Atmospheres. 1987. № C7 (92). С. 7049–7059.

ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Добровольский А.В., Восканян К.Л.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
zlobik-dobrik123@mail.ru

Аннотация. В работе представлен тренажер для визуализации данных автоматической метеорологической станции ОАО ПЕЛЕНГ.

Ключевые слова. Тренажер, автоматическая метеорологическая станция, первичный контроль данных, представление данных, визуализация данных.

SIMULATOR FOR VISUALIZATION AUTOMATIC STATION DATA

Dobrovolsky A.V., Voskanyan K.L.

Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg

Annotation. The paper presents a simulator for visualizing data from the automatic meteorological station JSC "PELENG".

Keywords. Simulator, automatic weather station, primary data monitoring, data presentation, data visualization.

Как известно, одним из источников получения метеорологической информации, является сеть метеорологических станций. Для выработки своевременного и качественного прогноза данные должны поступать с высокой периодичностью и иметь большую плотность (по площади охвата). Современные автоматические станции (АМС) позволяют обеспечивать эти требования, в том числе без участия человека [1]. Для представления и визуализации данных АМС используется специальное ПО, а для работы с архивными данными различные пакеты программ, например Excel.

Тренажер для визуализации данных автоматической метеорологической станции, предназначен для представления и дальнейшей обработки обучающимися данных АМС

«ПЕЛЕНГ», установленной на метеорологической площадке первого корпуса РГГМУ. Станция позволяет проводить измерения метеорологических параметров (температуры и влажности воздуха, атмосферного давления, параметров ветра, МДВ, высоты НГО, температуры почвы на разных глубинах, рассеянной радиации, осадков) в непрерывном режиме с высокой дискретностью.

Архив информации, полученный от автоматической метеостанции ПЕЛЕНГ, формируется одним файлом в формате CSV за месяц и содержит информацию по: сроку измерения, атмосферному давлению, метеорологической дальности видимости (МДВ), направлению ветра, скорости ветра, максимальной скорости ветра, температуре, влажности и количеству осадков.

В начале работы тренажера файл с данными АМС в автоматическом режиме разбивается на отдельные каналы, отвечающие за информацию о конкретном параметре (температура, скорость ветра и т.д.) и проводит первичный контроль на наличие разрывов и выбросов.

Далее происходит обработка информации по времени, что необходимо для дальнейшего построения графиков метеовеличин. Часть программы, отвечающая за обработку канала времени показана на рис. 1.

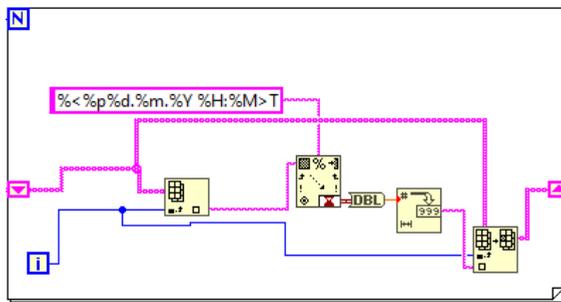


Рисунок 1 – Часть программы тренажера, отвечающая за обработку канала времени

Далее информация по всем каналам, кроме направления ветра, в виде графиков и таблиц отображается на передней панели тренажера.

При построении графика направления ветра всегда возникает проблема перехода через 0 (при флуктуациях около северного направления) и появления разрыва кривой или линии, резко падающей вниз. Например, если ветер в один срок имел направление 350°, а в следующий 10°, то на графике будет большая линия, направленная вниз, хотя на самом деле направление изменилось всего на 20°.

Для решения этой проблемы на задней панели тренажера, написан дополнительный фрагмент программы позволяющий добавить 180°. Несмотря на это анализировать график, в котором находится много переходов через 0° остаётся трудно. Поэтому программная часть тренажера после выявления точек перехода создает 3 дополнительные точки. Первая будет соответствовать точке, которая перешла через ноль, но она будет построена вне графика, вторая точка разрыва и третья которая будет соответствовать точке, которая еще не перешла через ноль, но она будет построена вне графика. Например, если у нас имеются переход через 0° между точками 350° и 10°, то будут созданы 3 точки 370°, точка разрыва и -10°. При рассмотрении такого графика будет казаться, что линия, которая уходит за график вверх в последствии будет выходить внизу и для того, чтобы эти точки не соединились будет находиться точка разрыва (рис. 2).

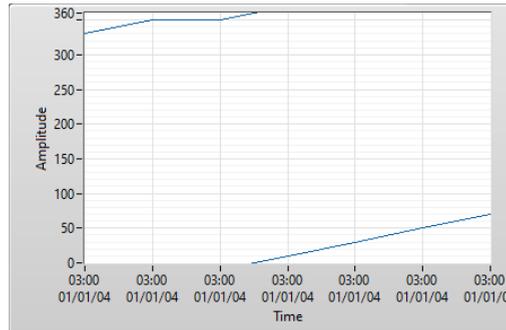


Рисунок 2 – Пример реализации графика направления ветра с переходом через 0°

Теперь рассмотрим переднюю рабочую панель тренажера (рис.3). В верхней части тренажера, для экономии места на передней панели, расположены вкладки, отвечающие за определенный метеорологический параметр. В центре место для построения графиков. В нижней части панель для записи данных в таблицу.

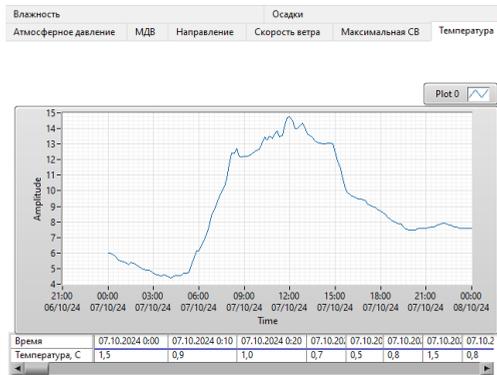


Рисунок 3 – График температуры воздуха за 07.10.24

Тренажер успешно прошел апробацию по визуализации данных станции за семь месяцев (время эксплуатации станции) и может стать отличной альтернативой визуализации данных АМС при отсутствии специального ПО или при удаленной работы с данными, в том числе в условиях дистанционного обучения.

Список литературы

1. Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С. Автоматические метеорологические станции: в 2 т. — Ч. 1. Тактико-технические характеристики: учебное пособие. — СПб.: РГГМУ, 2016. — 170 с.
2. Суранов А.Я. LabVIEW 8.20: Справочник по функциям, ДМК Пресс, 2007

ИЗМЕНЧИВОСТЬ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ ПО ДАННЫМ АВТОМАТИЧЕСКИХ ДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

Жестянных И.В., Восканян К.Л.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
zhiv2001@gmail.com

Аннотация. В работе проведено исследование изменчивости метеорологических параметров, полученных с нескольких автоматических дорожных метеорологических станций.

Ключевые слова. Дорожная метеорологическая станция, метеорологические параметры, температура воздуха, атмосферное давление.

VARIABILITY OF WEATHER PARAMETERS ACCORDING TO AUTOMATIC ROAD STATIONS

Zhestyannikov I.V., Voskanyan K.L.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St.Petersburg

Annotation. The paper investigates the variability of meteorological parameters obtained from several automatic road meteorological stations.

Keywords. Road weather station, meteorological parameters, air temperature, atmospheric pressure.

Появление автоматических метеорологических станций в разных отраслях хозяйственной деятельности позволило значительно увеличить плотность метеорологической сети. Дорожные автоматические станции, установленные на каждом термически неоднородном участке автодороги, позволяют получать большие массивы данных для выработки специальных прогнозов и проведения научных исследований по пространственному изменению метеовеличин [1]. Такие исследования позволяют рассмотреть локальные изменения метеовеличины и выявить возможные закономерности в ее распределении, а также определить оптимальное количество и расположение станций на участке дороги.

Район исследования ограничен участком автомобильной дороги между Волхонским и Пулковским шоссе (рис. 1). На данном участке установлены четыре автоматические дорожные метеорологические станции (АДМС), расстояние между которыми от 3 до 4 км. Общая протяженность участка 11 км.

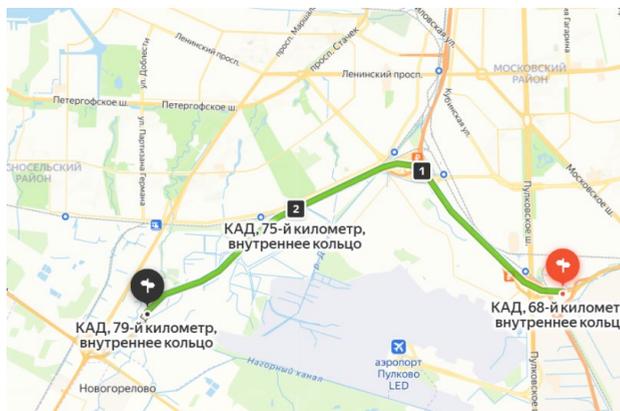


Рисунок 1 – Район исследования

Ход температуры воздуха на четырех станциях имеет много общего, особенно в первой половине сентября (рис. 2). Тем не менее стоит отметить, что в первой половине сентября температура воздуха на 75 км несколько ниже ночью, чем на остальных станциях, а в дневное время наиболее высокие значения фиксируются на 68 км. Во второй половине сентября синхронное изменение значений на 4 АДМС уже не

наблюдается, что может быть вызвано несколькими причинами, например, наличием кучевой облачности с разрывами. Наиболее тесная связь ($r=0,9$) [2] наблюдается между температурой на 72 и 75 км.

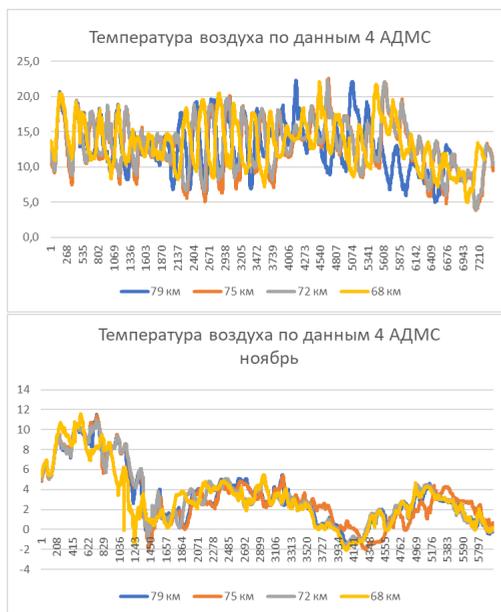


Рисунок 2 – Изменчивость температуры воздуха по данным 4 АДМС

На первый взгляд кажется, что в ноябре данные станций не синхронны, но при дискретности измерений 5 секунд разница по времени в показаниях станций совсем невелика. Связь между станциями (по температуре воздуха) более сильная, чем в сентябре, за счет отсутствия ярко выраженного суточного хода и наличия большого количества облачности [3]. Наименьший коэффициент корреляции составил 0,8 между АДМС на 75 и 68 км.

Изменчивость атмосферного давления в сентябре и ноябре имеет различный характер (рис. 3): если в сентябре наблюдается ярко выраженный антициклон, то в ноябре можно атмосферная циркуляция не так стабильна. Видно, что давление начинает изменяться раньше на АДМС 79 км, затем на 68 км и только после этого на 75 и 72 километрах. Это объясняется влиянием воздушных масс с юга. В ноябре раньше на изменение давления реагирует АДМС на 68 км, а позднее на АДМС 75 км, что говорит о затопке воздуха с юго-востока. Среднее значение атмосферного давления в сентябре составило 1015 гПа, в ноябре – всего 1002гПа. В сентябре. Связь между данными по атмосферному давлению на всех четырех станциях достаточно сильна и значима ($r=0,75-0,98$). В сентябре она наиболее сильна между АДМС на 68, 72 и 75 км, в ноябре – между 68, 72 и 79 км.

Проведенное исследование показывает, что даже на участке автодороги в 3-4 км показания АДМС могут отличаться, хотя и не очень существенно как в теплый период (сентябрь), так и в переходный период (ноябрь). Температура воздуха на одиннадцати километровом участке дороги сильно зависит от наличия отдельных облаков, а атмосферное давление – от направления движения воздушных масс.



Рисунок 3 – Изменчивость атмосферного давления по данным 4 АДМС

Список литературы

1. Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С. Автоматические метеорологические станции: в 2 т.— Ч. 1. Тактико-технические характеристики: учебное пособие. — СПб.: РГГМУ, 2016. — 170 с.
2. Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С. Автоматические метеорологические станции: в 2 т.— Ч. 2. Цифровая обработка данных автоматических метеорологических станций. Практикум. — СПб.: РГГМУ, 2015. — 99 с.
3. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. //Л.: Гидрометеиздат, 1976. - с. 677.

АНАЛИЗ СИНОПТИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ПОЛЯРНОГО ЦИКЛОНА НАД ШПИЦБЕРГЕНОМ И НОРВЕЖСКИМ МОРЕМ

Щербакова Ю.Е., Анискина О.Г., Ефимова Ю.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
oneskoula9@gmail.com

Аннотация. Рассматривается синоптическая ситуация при прохождении полярного циклона над островом Шпицберген и Норвежским морем.

Ключевые слова. Арктика, полярные циклоны, этапы эволюции, время жизни и траектория перемещения полярного циклона, наблюдаемые метеорологические параметры при прохождении полярного мезоциклона.

ANALYSIS OF THE SYNOPTIC SITUATION DURING THE PASSAGE OF THE POLAR CYCLONE OVER SVALBARD AND THE NORWEGIAN SEA

Shcherbakova Y.E., Aniskina O.G., Efimova Y.V.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Annotation. The synoptic situation during the passage of a polar cyclone over the island of Svalbard and the Norwegian Sea is considered.

Keywords. Arctic, polar cyclones, stages of evolution, lifetime and trajectory of the polar cyclone, observed meteorological parameters during the passage of the polar mesocyclone.

Полярные циклоны – это циклоны мезомасштаба с непродолжительным периодом существования, которые чаще всего возникают в зимнее время года между морской поверхностью и морским льдом. За счет того, что полярный циклон является мезомасштабным, пространственная протяженность до 1000 км, то основным источником наблюдения являются спутниковые зондирование [2]. Продолжительность жизни таких циклов невелика и составляет от трех до 36 часов. Довольно большую опасность представляют для прибрежных, морских и воздушных зон за того, что скорость ветра в циклоне может достигать 35 м/с, а также очень интенсивными осадками [2].

Полярный мезомасштабные циклоны развиваются при разных условия: бароклинной и баротропной неустойчивости, а также при конвекции [1]. Механизм бароклинной неустойчивости часто возникает вблизи кромки льда и самого океана и полярные циклоны часто развиваются в глубокой бароклинной атмосфере. По данным исследований при конвекции полярные мезоциклоны могут появляться при наличии северных ветров, кроме того, в ложбинах холода на уровне 500 гПа могут развиваться благоприятные условия для конвекции и полярные циклоны могут располагаться на восточной стороне ложбины [1].

Полярные циклоны делятся на три типа: «короткая» волна, арктическо-фронтальный и cold-low. Тип cold-low, также известен, как «медиканы», который напоминает ураган. Схожесть медикан и полярных циклонов состоит в том, что оба имеют спиралевидный вихрь и теплое ядро, а также возникают за счет контраста температур. Коротковолновый тип, характеризующийся максимумом вторичного завихрения и положительной адвекцией вихря в верхних слоях атмосферы, глубокой или средней бароклинностью и небольшими поверхностными потоками. Арктическо-фронтальный тип, ассоциирующийся с близостью ледовой кромки и характеризующийся неглубокой бароклинностью и сильными поверхностными потоками [1].

На основе полученных данных с помощью спутникового зондирования были выделены три полярных мезоциклона, была определена их траектория прохождения около Шпицбергена и проанализированы погодные условия.

Полярный циклон был обнаружен 23.03.2022 г. в срок за 00 ч (рисунок 1).

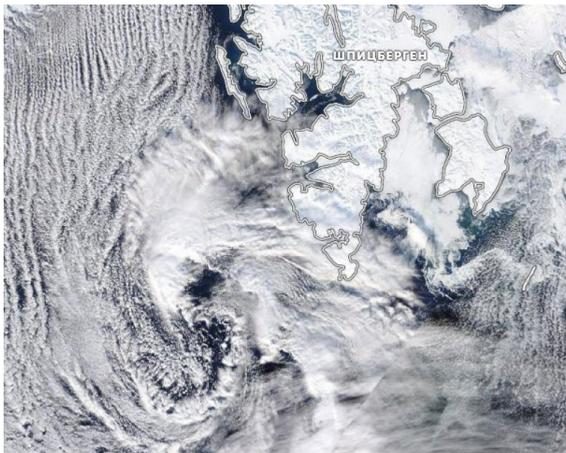


Рисунок 1 – Полярный циклон в срок 00 ч за 23.03.2022 г.

Юго-западнее острова Шпицбергена наблюдается облачный спиралевидный вихрь. В работы были исследованы спутниковые снимки в течение 3 суток после обнаружения вихря. Следует отметить, что полярный мезоциклон существовал меньше суток, так как 24.03 .2022 г в срок 00 ч он не прослеживался.

В результате анализа приземной синоптической карты за данный срок (рисунок 2) можно определить, что область обнаружения мезоциклона находилась в малоградиентном поле барической седловины. Синоптическую ситуацию на территории исследования на момент обнаружения полярного мезоциклона также определял глубокий циклон с центром 71 с.ш и 65 в.д., который располагался над Баренцевым, Карским морями, а также над Обской губой и европейской территорией России. В тыловой части данного циклона наблюдается высокие градиенты давления. В районе Новой Земли и острова Медвежий фиксировалась метель и ливневые осадки, предположительно связанные с прохождением вторичного холода фронта, на острове Шпицберген наблюдалась низовая метель. На западе от места формирования полярного циклона располагается поле высокого давления. Над Исландией наблюдается ложбина с центром с теплым фронтом, который проходит на части северной Атлантики, заходя на Скандинавский полуостров (рисунок 2).

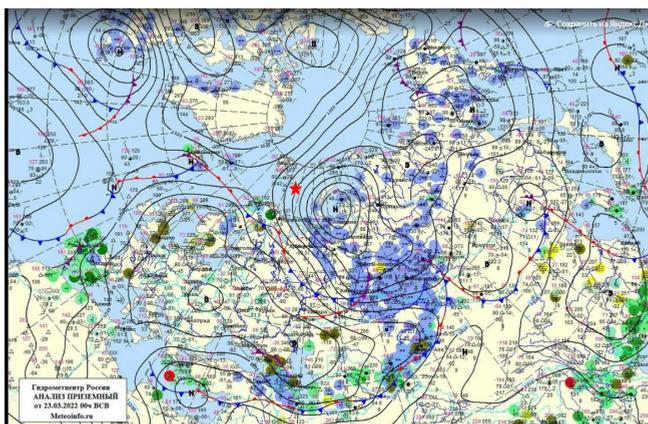


Рисунок 2 – Приземная карта за 23.03.2022 00 ч ВСВ

К работе были привлечены высотные карты погоды. В результате анализа ОТ500/1000 можно сделать вывод о том, что все территория от Шпицбергена до Кольского полуострова находится в зоне больших контрастов температур в слое от 1000 до 500 гПа.

При анализе карты АТ850 в срок обнаружения полярного циклона было выявлено, что центр циклона за 00 часов по спутниковому зондированию (www.zoom earth) находится в зоне взаимодействия слабовыраженной ложбины холода и более выраженного гребня тепла, который захватывает своей вершиной Шпицберген. Данная область характерна для активного циклогенеза. Также на карте ОТ500/1000 наблюдается сгущение изотерм (рисунок 3), а на карте АТ850 видно локальное сгущение изотерм, такое положение изотерм наблюдается при циклогенезе внетропических циклонов.

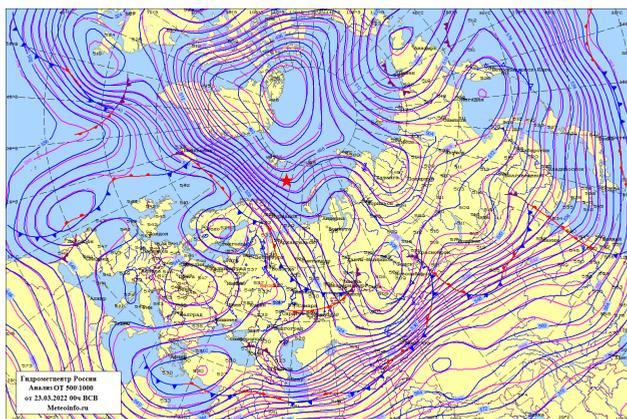


Рисунок 3 – Карта относительной топографии за 23.03.2022 00 ч ВСВ

В результате проведенного синоптического анализа можно предположить, что полярный циклон образовался вблизи вторичного холодного фронта, который проходил через остров Медвежий. На основе полученных данных наиболее вероятным типом образования исследуемого мезовихря является медианный тип (имел спиралевидный тип облачности, зоне зарождения сопутствовали значительные температурные контрасты в слое до 5 км).

Список литературы

1. *Marta Moreno-Ibáñez, René Laprise, Philippe Gachon* Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography [Текст] / Marta Moreno-Ibáñez, René Laprise & Philippe Gachon — . — Informa UK Limited: , 3 марта 2021 — 32 p.
2. *Erik A. Rasmussen, Turner J.* Polar Lows Mesoscale Weather Systems in the Polar Regions [Текст] / Erik A. Rasmussen, John Turner., 2003 — 624 p.

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Кобыляцкий А.А.¹, Топтунова О.Н.^{1,2}, Иванова И.А.¹

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
artemkob98@mail.ru, olgakolp@yandex.ru, ira.nova@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследования типовых синоптических ситуаций, способствующих формированию гололедно-изморозевых отложений на северо-западе России. На основе анализа метеорологических данных за период с января 2019 года по декабрь 2024 года выделены основные атмосферные процессы, приводящие к возникновению опасных явлений, связанных с гололедно-изморозевыми отложениями. Рассмотрены синоптические процессы, температурные режимы и влажностные характеристики, которые способствуют образованию гололеда и изморози. Результаты исследования могут быть использованы для улучшения качества прогнозирования и снижения возможных негативных последствий гололедно-изморозевых явлений в регионе.

Ключевые слова. Гололедно-изморозевые отложения, метеорологические данные, синоптические ситуации, процессы, анализ погодных условий, климатические особенности

ASSESSMENT OF THE FORMATION CONDITIONS OF ICE AND FROST DEPOSITS IN THE LENINGRAD REGION.

Kobylyatsky A.A.¹, Toptunova O.N.^{1,2}, Ivanova I.A.¹

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

² St. Petersburg State University, St. Petersburg

Annotation. The article presents the results of a study on typical synoptic situations contributing to the formation of icy-frost deposits in northwestern Russia. Based on the analysis of meteorological data from January 2019 to December 2024, the main atmospheric processes leading to the occurrence of hazardous phenomena associated with icing have been identified. The study examines the characteristics of air mass circulation, temperature regimes, and humidity conditions that contribute to the formation of ice and frost. A classification of synoptic situations is provided, along with their recurrence and frequency. The results of the research can be used to improve the accuracy of forecasting and mitigate the potential negative impacts of icy-frost phenomena in the region.

Keywords. Icy-frost deposits, meteorological data, synoptic situations, processes, analysis of weather conditions, climatic features

Обледенение в атмосфере в классическом понимании – это отложение льда любого вида на поверхности сооружений, ветвях деревьев, проводах, на покрытиях дорог, аэродромов. В ежедневной оперативной практике синоптики прогнозируют (помимо других метеорологических параметров) атмосферные явления. Гололедно-изморозевые отложения относятся к неблагоприятным атмосферным явлениям от момента их образования и до достижения ими критериев опасного явления, а также входят в комплекс явлений, сочетания которых приводит к образованию опасного метеорологического явления. Количественные критерии приведены в [1].

Определение типовых синоптических условий и выявление количественных предикторов в фазе образования и нарастания является важной проблемой, т.к. в различных регионах есть особенности формирования гололедно-изморозевых отложений, связанные с местными условиями (рельеф местности, наличие крупных водных объектов и т.д.).

Отдельной проблемой является прогноз диаметра отложений, особенно в градации опасного явления.

Цели и методика исследования. С целью повышения качества прогнозирования гололедно-изморозевых отложений в Ленинградской области было проведено исследование, основные результаты которого представлены ниже. На основе анализа архивных данных [2] были выбраны семь метеорологических станций в Ленинградской области, на которых имеются данные о гололедно-изморозевых отложениях за период с 1 января 2019 года по 31 января 2024 года: Выборг, Ломоносов, Сосново, Санкт-Петербург, Лесогорский, Ретюнь и Белогорка.

Анализ типов и повторяемости гололёдно-изморозевых отложений. Был проведён анализ повторяемости гололёдно-изморозевых отложений по типам. Результаты представлены на рисунке 1. Анализ показал, что на выбранных станциях в указанный период чаще всего наблюдались изморозевые отложения (48%), несколько реже — гололёдные отложения (41%). Отложения мокрого снега составили 9% случаев. За исследуемый период изморозевые отложения были зафиксированы 643 раза, гололёдные — 560 раз, отложения мокрого снега — 126 раз, а смешанные отложения — 21 раз.

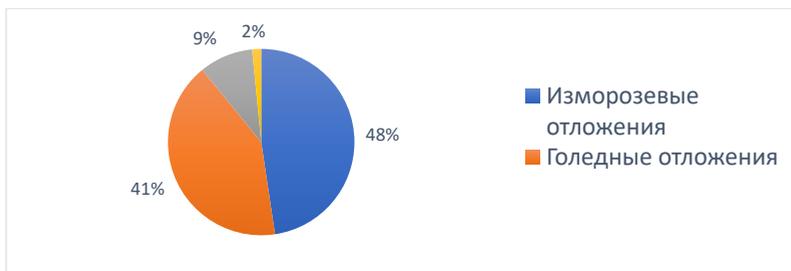


Рисунок 1 – Повторяемость гололёдно-изморозевых отложений в Ленинградской области в период с 01.01.2019 по 31.01.2024 года

Метеорологические параметры при образовании отложений. Были рассмотрены основные метеорологические параметры, наблюдавшиеся в момент образования гололёдно-изморозевых отложений. Ключевыми факторами оказались температура, скорость и направление ветра. На основе данных о ветре были построены карты режимов ветра (рисунки 2 и 3). Анализ карт показал, что образование гололёда и изморози чаще всего происходит при восточных, юго-восточных и южных ветрах, реже — при западных. Разрушение изморози наблюдалось при увеличении скорости ветра. Часто при образовании гололёдно-изморозевых отложений отмечались туманы, дымки и замерзающие осадки.

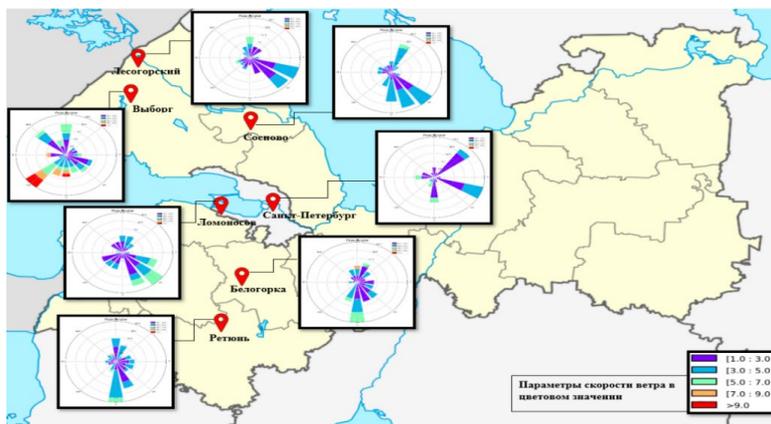


Рисунок 2 – Режим ветра для «Гололедных отложений»

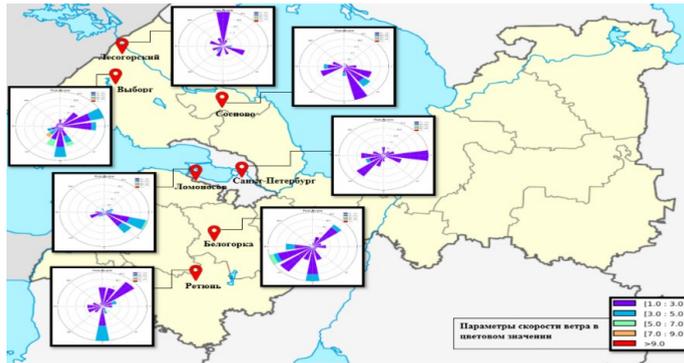


Рисунок 3 – Режим ветра для «Изморозевых отложений»

Для анализа данных о температуре и скорости ветра был использован квантильный метод. Построены графики «ящик с усами», которые позволили определить градации метеорологических величин для различных типов отложений.

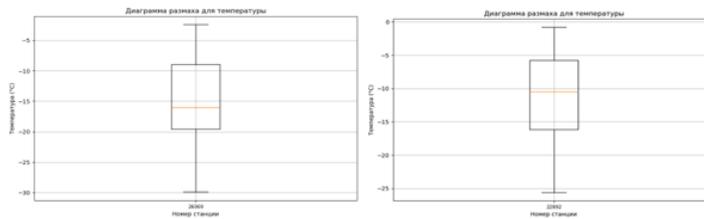


Рисунок 4 – Фрагмент графиков квантильного анализа температур для отложений изморози на станциях Белогорки и Выборга

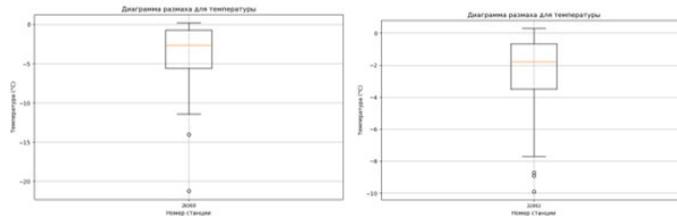


Рисунок 5 – Фрагмент графиков квантильного анализа температур для отложений гололеда на станциях Белогорки и Выборга

Квантильный анализ температуры показал, что наибольшая вероятность возникновения гололеда будет в пределах от -4 до -1 С°, для изморози эти показатели варьируются от -20 до -10 С°.

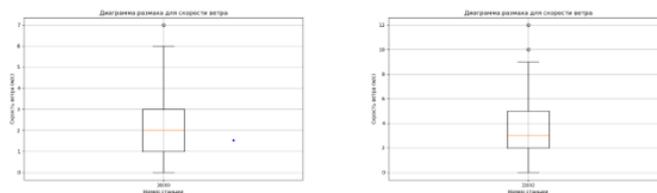


Рисунок 6 – Фрагмент графиков квантильного анализа скорости ветра при отложениях гололеда на станциях Белогорки и Выборга

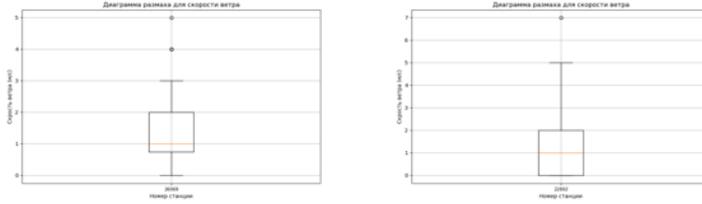


Рисунок 7 – Фрагмент графиков квантильного анализа скорости ветра при отложениях изморози на станциях Белогорки и Выборга

Скорость ветра при образовании гололёда наблюдалась в пределах 1–3 м/с, а для изморози составляла около 0–2 м/с.

Диаметр гололёдно-изморозевых отложений составил:

- Гололёд: от 1,0 до 46,0 мм (температура от -21,2°C до 1,0°C; максимальный диаметр — 46,0 мм).
- Изморозь: от 1,0 до 16,0 мм (температура от -29,9°C до 0,1°C; максимальный диаметр — 16,0 мм).
- Мокрый снег: от 1,0 до 41,0 мм (температура от 0,0°C до 1,0°C; максимальный диаметр — 41,0 мм).

Синоптические условия и вертикальные профили

Были проанализированы синоптические процессы на исследуемых станциях, сопровождающие образование гололёдно-изморозевых отложений и выделены типовые явления по каждому виду отложений, по данным, имеющимся в открытом доступе [5]. В результате была сформирована объединённая таблица, фрагмент которой представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Объединённые характеристики гололёдно-изморозевых отложений

Пункт	Дата	Вид/ Диаметр	Синоптическая ситуация	Температура, Т °С	Дефицит точки росы, t °С	Отн. влажность %	Направление ветра, град.	Скорость ветра, м/с	Облачность, баллы
Ретюнь	03.01.2024	изморозевое отложение, 2 мм	ЮЗ периферия антициклона	-19.6 до -24.6	2.1 – 2.3	87	С, СВ	1	0

Было выявлено, что внутримассовые гололёды образуются при синоптических ситуациях, способствующих возникновению низкой внутримассовой слоистой облачности или тумана. Фронтальные гололёды чаще всего связаны с тёплыми фронтами и тёплыми фронтами окклюзии и возникают при выпадении переохлаждённого дождя или мороси.

Синоптическая ситуация при образовании изморозевых отложений характеризуется, как правило, малоградиентными полями давления, на перифериях или в центральных частях антициклонов.

Для некоторых случаев гололёдно-изморозевых отложений были проанализированы вертикальные профили основных метеорологических параметров по данным аэрологического зондирования на ст.Воейково, полученные из открытого доступа [6]. В ходе анализа выявлено, что в вертикальном профиле часто наблюдалось инверсионное распределение температуры в приземном слое (до 300 м) и на высотах 1-2 км (приподнятые инверсии).

В ходе работы был проведён анализ точности методов прогнозирования гололёдно-изморозевых отложений, а именно, графический метод прогноза кристаллической изморози, приведённый в [7], стр. 110-114.

Проверка метода показала, что точность прогноза кристаллической изморози составляет 90%.

Таким образом, в ходе исследования были определены основные метеорологические характеристики и типовые синоптические ситуации при образовании гололёдно-изморозевых отложений на выбранных станциях Ленинградской области за период 01.01.2019 по 31.01.2024 года. Существенных отклонений по отношению к определённым в научной литературе предикторам не выявлено. Метод прогноза кристаллической изморози показывает высокую оправдываемость в рассматриваемом регионе.

Список литературы

1. «Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения», Москва, ФГБУ «Гидрометцентр России», 2019 г.
2. Сайты: <https://rp5.ru>
3. Аржанова Н.М., Коршунова Н.Н. Мониторинг гололёдно-изморозевых отложений на территории России
4. Леонов И.И. «Структура атмосферы при формировании высокоинтенсивных гололёдно-изморозевых отложений», дисс.
5. Сайт: https://www.wetter3.de/fax_dt.html
6. Сайт: <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
7. Богаткин О.Г., Топтунова О.Н., Волобуева О.В., Иванова И.А. Практикум по авиационной метеорологии – СПб.: Издательско- полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2022. – 113 с.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СКЛАДОК ТРОПОПАУЗЫ

Антонов Т.А.¹, Топтунова О.Н.^{1,2}, Иванова И.А.¹.

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
antimur13@mail.ru, olgakolp@yandex.ru, ira.nova@mail.ru

Аннотация. Тропопауза представляет собой переходный слой между тропосферой и стратосферой, который играет ключевую роль в атмосферных процессах. Ее высота и температура варьируются в зависимости от географической широты и сезона, что делает точное определение ее местоположения важной задачей для метеорологии и климатологии. Складки тропопаузы — это области, где тропопауза "изгибается" или "складывается", что может приводить к интенсивному обмену воздушными массами между тропосферой и стратосферой. Это явление влияет на формирование экстремальных погодных условий, может быть триггером для штормов и ураганов. Кроме того, со складками тропопаузы связывают и появление турбулентности ясного неба.

Ключевые слова. Тропопауза, изэнтропический анализ, складки тропопаузы.

IDENTIFICATION OF TROPOPAUSE FOLDS

Antonov T.A.¹, Toptunova O.N.^{1,2}, Ivanova I.A.¹.

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

² Saint-Petersburg University, St. Petersburg

Annotation. The tropopause is the transition layer between the troposphere and the stratosphere, playing a crucial role in atmospheric processes. Its altitude and temperature vary with latitude and season, making accurate determination of its location an important task for meteorology and climatology.

Tropopause folds are regions where the tropopause "bends" or "folds," which can lead to intense air mass exchange between the troposphere and the stratosphere. This phenomenon influences the formation of extreme weather conditions and can trigger storms and hurricanes. Furthermore, tropopause folds are also associated with the occurrence of clear-air turbulence.

Keywords. Tropopause, isentropic analysis, tropopause fold

Обычно в складке тропопаузы наблюдается вертикальный сдвиг струйного течения в сочетании с конвергенцией воздушных масс. Складки тропопаузы отмечаются изменением высоты тропопаузы и характеризуются возникновением сильной турбулентности. Стратосферный воздух, для которого характерно низкое содержание влаги и высокая потенциальная завихренность, может вторгаться в среднюю или даже нижнюю тропосферу. Хорошими индикаторами складки могут выступать: содержание озона, содержание водяного пара, вихрь Эртеля. Для примера разобран случай складки тропопаузы 9 февраля 2023 года. Входными параметрами в продукт ASII-TF (Advanced Satellite Infrared Imager - Tropospheric Temperature) являются: содержание водяного пара (WV) на длине волны 6,2 мкм, чувствительной к водяному пару верхней тропосферы, параметры температуры, удельной влажности и завихренности, взятые из ЧПП, а также содержание озона, полученное по ИК-каналу на длине волны 9,7 мкм.

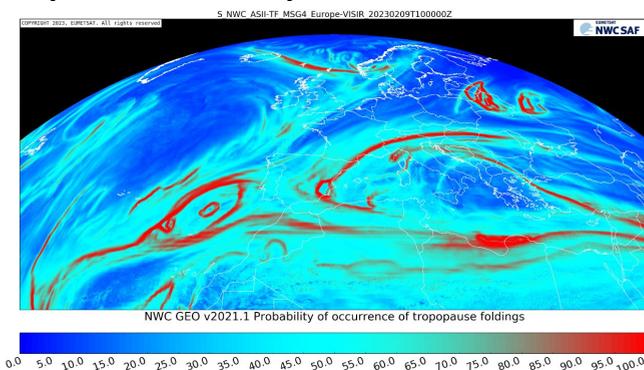


Рисунок 1 – Спутниковый снимок продукта ASII-TF 9 февраля 2023 г. 10:00

Еще одним методом идентификации является изэнтропический анализ. Он позволяет более точно отслеживать вертикальные перемещения воздушных масс и определять границы тропопаузы.

Изэнтропическая поверхность отображает метеорологические параметры на поверхности с постоянной потенциальной температурой. Согласно этому свойству, изэнтропическая поверхность также является поверхностью с постоянной энергией и, следовательно, поверхностью, на которой будут протекать все адиабатические процессы. Так как все сухие адиабатические процессы протекают на одной изэнтропической поверхности, это делает их более совершенными, чем изобарические поверхности; давая возможность проследить более точно движение отдельных участков. Другим следствием того факта, что изэнтропические поверхности являются адиабатическими поверхностями, является то, что на изэнтропических картах можно легко проследить динамику влажности. Поскольку адиабатический процесс гарантирует отсутствие вертикального взаимодействия между соседними изэнтропическими поверхностями, вода содержание пара на данном изэнтропическом уровне должно быть постоянным во время адиабатических процессов. По этой причине давление конденсации, показатель

общего содержания водяного пара в воздушном потоке, должно сохраняться на изэнтропической поверхности во время любого адиабатического процесса. Таким образом, изэнтропические карты могут обеспечить гораздо лучший анализ структуры влажности и ее перемещения, чем изобарические, а следовательно, быть хорошими индикаторами складки тропопаузы.

Уровень 310 К выбран исходя из того, что это приблизительно уровень динамической тропопаузы. На рисунке выше на поверхности 310 К прослеживаются высокие значения вихря Эртеля над Италией, что ведет к образованию складки тропопаузы. Можно отметить, что так изначально реанализ MERRA2, который интерполировался на изэнтропическую поверхность имел худшее пространственное разрешение и в целях оптимизации времени интерполировались только среднесуточные показатели, то в данном конкретном случае спутниковый продукт показывает большую детализацию. Однако это может быть предметом дальнейшего исследования в этой области.

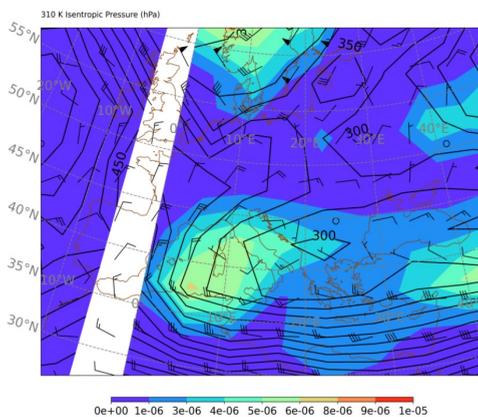


Рисунок 2 – Изэнтропический анализ поверхности 310 К 9 февраля 2023 г. (Цветом отмечено значение вихря Эртеля, изолинии – изобары на поверхности 310 К)

Изэнтропический анализ и продукты ASII-TF отлично дополняют друг друга, уточняют и валидируют друг друга.

Список литературы

1. http://1.www.nwcsaf.org/documents/20182/30813/Aviation_Turbulence_v1.0_no_color.pdf/52fb7ca4-b8c3-4b8e-a124-6534e2e329b0%202.
2. <https://www.nwcsaf.org/web/guest/nec/geo-geostationary-archive>
3. Юсупов Ю.А. Прогноз шквалов и интенсивных осадков с применением термодинамических параметров атмосферы и потенциального вихря Эртеля: автореферат на соискание степени кандидата физико-математических наук, М.- 2021.
4. K. Mohanakumar, 2008 Stratosphere Troposphere Interactions: An Introduction. Springer, Dordrecht, 416. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-8217-7>

РАДИАЦИОННЫЕ ТУМАНЫ В РАЙОНЕ АЭРОПОРТА ВОЛОГДА

Фазылов Т.Н., Канухина А.Ю.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
2605031@mail.ru

Аннотация. В данной статье представлен анализ возникновения радиационных туманов в районе аэропорта Вологда, физико-географические и климатические особенности местности, анализ наблюдений за 5 лет с 2019 по 2024, повторяемость случаев тумана и разбор типичной синоптической ситуации.

Ключевые слова. Радиационный туман, Вологда, синоптические процессы, повторяемость.

RADIATION FOGS AT AIRPORT “VOLOGDA”

Fazylov T.N., Kanukhina A.Y.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St. Petersburg

Annotation. This article presents the analysis of radiation fog formation, the physico-geographical and climatic features of the Vologda region, an analysis of observations over 5 years (2019-2024), the recurrence of fog cases and an analysis of the typical synoptic situation for radiation fog formation.

Keywords. Radiation fog, Vologda, synoptic processes, repeatability.

В 2012 году были прекращены регулярные рейсы из аэропорта Вологда, но относительно недавно, уже с 2013 года аэровокзал постепенно стал восстанавливать свою деятельность. Исходя из этого важно качественно обеспечивать воздушные суда метеорологической информацией, что может повлиять на безопасность полётов. Например, образование туманов влияет на ухудшение видимости.

Туман можно охарактеризовать как атмосферное метеорологическое явление, вызывающее помутнение приземного слоя воздуха из-за наличия в нём взвешенных мельчайших капель воды или ледяных кристаллов, которые ухудшают видимость до значений менее 1000 м [1].

По синоптическим условиям, при которых возникают туманы, они делятся на фронтальные, образование которых связано с термодинамическими процессами в области фронтальных разделов, и внутримассовые. Наиболее часто благоприятные условия для возникновения радиационных туманов создаются в антициклонах, их отрогах, барических гребнях и седловинах, реже и, главным образом, летом - в поле пониженного давления с небольшими барическими градиентами. Радиационный туман в большинстве случаев возникает при штиле или слабом ветре со скоростью до 3 м/с. Для образования тумана благоприятно слабое увеличение скорости ветра с высотой. Такие условия способствуют турбулентному переносу продуктов конденсации от земной поверхности вверх и их поддержанию во взвешенном состоянии в приземном слое воздуха. В процессе перемешивания толщина слоя тумана увеличивается. Если воздух совершенно неподвижен, то перенос влаги обусловлен только молекулярными процессами, и туман может не возникнуть [2].

Радиационный туман образуется над сушей при безоблачном небе и слабом ветре, появляется в результате радиационного охлаждения подстилающей земной поверхности и массы влажного приземного воздуха до точки росы. То есть возникает при ночном охлаждении воздуха. Рассеивается после восхода солнца.

Вертикальная мощность радиационных туманов обычно не превышает 200-300 м. Как правило, образуется в приземном подынверсионном слое. Прогноз радиационного тумана следует разрабатывать в тех случаях, когда ночью ожидается малооблачная или ясная погода со слабым ветром, возникновение приземной инверсии температуры, а вечером отмечается малый дефицит точки росы. Особенно благоприятная ситуация для возникновения радиационного тумана создается, когда наряду с перечисленными условиями во второй половине дня почва увлажняется выпадением дождя. Прогноз основывается на сравнении ожидаемой температуры туманообразования с минимальной температурой воздуха в ночные часы [1].

Аэропорт Вологда, географические координаты контрольной точки аэродрома: 59°16'54"с.ш. и 039°56'41" в.д. Находится в 8 км северо — северо-восточнее г. Вологда. Класс аэродрома – «Г». Летное поле аэродрома представляет собой неправильный многоугольник, вытянутый с северо-запада на юго- восток. Установленные магнитные курсы посадки 151 и 331 градусов. Абсолютная высота аэродрома +118,37 м [3].

Местность в районе аэродрома – равнинная. На северо-западе, севере и северо-востоке на территории, непосредственно прилегающей к аэродрому, располагаются обширные болота. Значительная часть района аэродрома, особенно на юге и севере, покрыта лесами. К западной части района аэродрома примыкает южная оконечность озера Кубенское. С запада на восток по территории района аэродрома протекает река Сухона, в которую впадают реки Вологда, Двиница, Кубена и более мелкие. Вся территория представляет собой большое количество незначительных низменностей и возвышенностей.

Аэродром Вологда расположен в зоне умеренно-континентального климата и по своему географическому положению подвергается воздействию арктических, полярных и в гораздо меньшей мере тропических воздушных масс. Средняя годовая относительная влажность 79%. Здесь проявляется короткое, тёплое и при этом влажное лето, дождливая осень, длительная зима и короткая весна. Холмистость района также вызывает перераспределения влаги и тепла в зависимости от высоты и крутизны склона.

Исходными данными для исследования послужили метеорологические наблюдения, проводившиеся каждые три часа в районе станции Вологда (аэропорт) в период с 2019 по 2024 год. Всего было проанализировано 124 случая возникновения тумана [4].

Таблица 1 – количество случаев возникновения тумана за каждый год в разные периоды

период \ год	2024	2023	2022	2021	2020	2019
весна	0	6	4	4	2	3
лето	10	7	14	14	21	13
осень	6	4	2	3	2	9
общее за год	16	17	20	21	25	25
общее за весь период	124					

Проанализировав данные, можно с уверенностью сказать, что наиболее часто туманы возникают в летний период. Это связано с тем, что в Вологодской области преимущественно влажное лето. В летний период выпадают осадки в среднем от 60 до 70 мм [5]. Так же можно сказать, это свидетельствует тому, что в регионе много болот.

Анализ графика показывает, что с каждым годом уменьшается число возникновения туманов. Так с 2019 по 2024, число туманов сократилось с 25 до 16. Подтверждается и то, что наибольшее число случаев было зарегистрировано преимущественно в летние месяцы (достигало 21 случая), а наименьшее число наблюдалось в весенние и осенние месяцы (от 0 до 10). Благоприятными условиями образования радиационного тумана являются следующие: отсутствие ветра(штиль) или наличие слабых ветров до 3м/с, отсутствие облачности или ясная погода, высокая влажность более 60%, наличие приземной инверсии, увлажнённая подстилающая поверхность.

Рассмотрим синоптическую ситуацию 11.08.2023 03 UTC. Вологда находится в зоне действия антициклона с давлением в центре 1024 гПа. Температура ночью составляла 16...18 °С, ветер ЮЮЗ до 2 м/с, небо ясное, влажность составляла 100%, наблюдался туман [5]. Как можем видеть соблюдены все благоприятные условия для возникновения тумана.

Был проведён анализ наблюдений в период 5 лет, с апреля 2019 по октябрь 2024, рассматривалось тёплое время суток (весна, лето, осень). Наибольшее количество случаев возникновения тумана было в 2020 и 2019: 25 случаев на каждый год. Наименьшее было в 2024 году - 16 случаев. Туманы появлялись преимущественно в ночные и утренние часы. Так же отмечается сокращение в 1,5 раза числа случаев возникновения туманов за последние 5 лет.

Список литературы

1. *Воробьёв В.И.* Синоптическая метеорология. Ленинград Гидрометиздат 1991г., -612 с
2. *Богаткин О.Г.* Информационно-справочная книга авиационного метеоролога. – Санкт-Петербург: 2010 –220 с.
3. Сайт АО «Вологодское авиационное предприятие» – (Электронный ресурс). – URL: <https://avia35.ru/about/docs/>
4. Сайт «rp5» – (Электронный ресурс). – URL: <https://rp5.ru/>
5. Сайт «meteoinfo» – (Электронный ресурс). – URL: <https://meteoinfo.ru/climatecities>
6. Сайт «NASA MERRA 2» – (Электронный ресурс). – URL: https://fluid.nccs.nasa.gov/reanalysis/classic_merra2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УРБАНИЗАЦИИ НА ТЕМПЕРАТУРУ ВОЗДУХА И ТЕПЛОВЫЕ ПОТОКИ В УСЛОВИЯХ МЕГАПОЛИСА

Клецова В.А., Анискина О.Г.

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

Аннотация. В работе исследуется влияние урбанизации на метеорологические параметры в городской среде с использованием мезомасштабной модели WRF-ARW. Проведено численное моделирование для двух сценариев: с учетом параметризации урбанизации и без нее. Для описания урбанизации использовались параметризации Building Environment Parameterization (BEP) и Building Energy Model (BEM). Выполнен сравнительный анализ температурных полей и поверхностных тепловых потоков в районе Санкт-Петербурга.

Ключевые слова. Урбанизация, численное моделирование, WRF-ARW, BEP-BEM, Санкт-Петербург, температура, поверхностные тепловые потоки.

MODELING THE IMPACT OF URBANIZATION ON AIR TEMPERATURE AND HEAT FLUXES IN A MEGACITY

Kletsova V.A., Aniskina O.G.

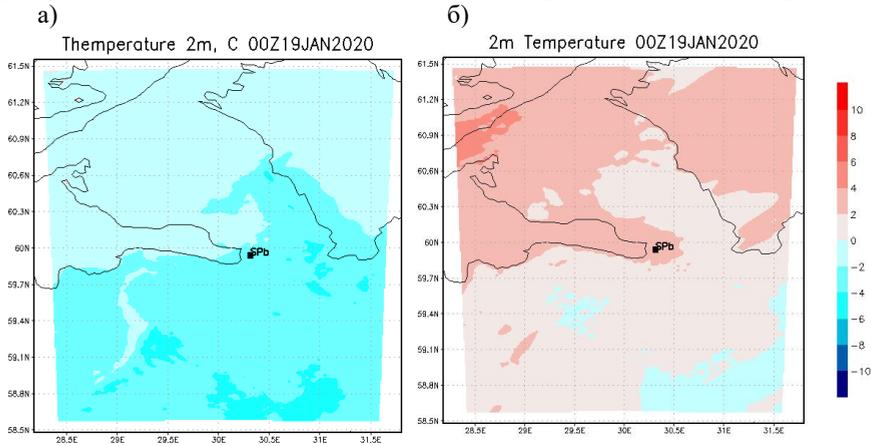
Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St.Petersburg

Annotation. This study investigates the impact of urbanization on meteorological parameters in an urban environment using the mesoscale WRF-ARW model. Numerical simulations were carried out for two scenarios: with and without urbanization parameterization. The Building Environment Parameterization (BEP) and Building Energy Model (BEM) schemes were used to represent urban areas. A comparative analysis of temperature fields and surface heat fluxes was performed for the Saint Petersburg region.

Keywords. Urbanization, numerical modeling, WRF-ARW, BEP-BEM, Saint Petersburg, temperature, ground heat fluxes.

Городская атмосфера является сложной системой, в которой динамика метеорологических параметров, таких как температура, ветер и влажность, значительно отличается от природных условий. Одним из ключевых эффектов, возникающих в городской среде, является эффект «остров тепла». Это явление заключается в

повышение температуры наблюдается не только над городом, но и над прилегающими территориями, в том числе водными объектами, что может быть связано с перераспределением воздушных масс и усилением турбулентного обмена (рисунок 1 б).

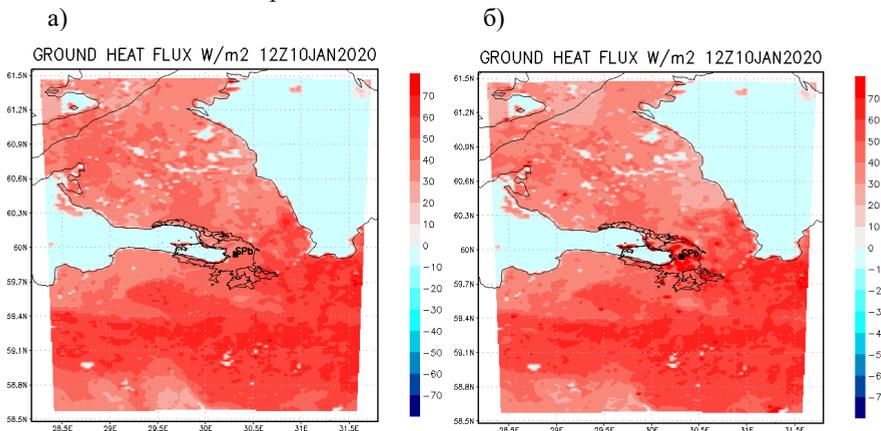


*Рисунок 2 – Прогностические поля температуры воздуха.
а) без учета города, б) с учетом города*

В сценарии без учёта урбанизации температурное поле имеет низкие значения над Санкт-Петербургом, около -4°C . Температурное поле снова демонстрирует равномерность, без выраженных локальных аномалий (рисунок 2 а).

С учётом урбанизации температура воздуха в городской зоне заметно повышается, достигая $+4^{\circ}\text{C}$. Повышенные температуры фиксируются не только в пределах урбанизированной территории, но и на прилегающих территориях, включая юго-западные районы и водные объекты, что может быть связано с особенностями перераспределения тепла и влиянием ветрового режима (рисунок 2 б).

Для более полного понимания причин различий в температурных полях был проведён анализ полей поверхностных тепловых потоков.

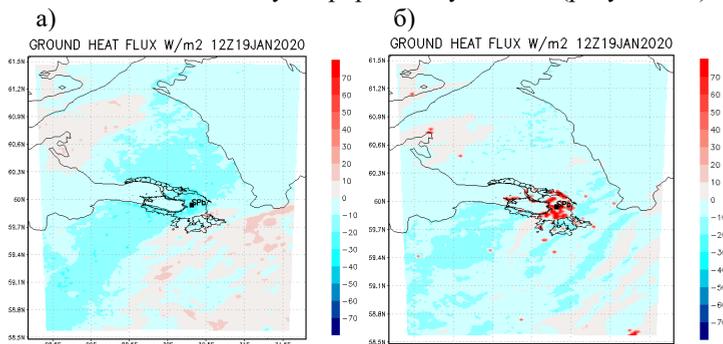


*Рисунок 3 – Прогностические поля поверхностного теплового потока.
а) без учета города, б) с учетом города*

Добавление урбанизации в моделирование приводит к увеличению теплового потока в городской зоне. В районе Санкт-Петербурга наблюдается усиление нагрева поверхности, что подтверждает наличие эффекта острова тепла. Инфраструктура города, включающая плотную застройку, асфальтовые покрытия и другие искусственные поверхности, способствует аккумуляции и последующему выделению тепла, что приводит к увеличению температуры поверхности и теплового потока. Область с высоким тепловым потоком стала шире, а интенсивность нагрева в центральной части города возросла (рисунок 3).

В сценарии без урбанизации преобладают отрицательные значения теплового потока (голубые цвета), что указывает на процессы охлаждения поверхности. В большей части территории наблюдается отрицательный тепловой баланс, характерный для холодного зимнего периода, особенно в природных районах и над водными объектами. Локальные положительные значения (слабые красные области) встречаются в отдельных регионах, но в целом тепловой поток остается низким. В городской зоне не наблюдается значительного увеличения потока по сравнению с окружающей средой (рисунок 4 а).

При включении урбанизации в моделирование ситуация изменяется. В районе города наблюдается резкое увеличение теплового потока, что выражается в появлении ярко-красных участков в центральной части карты. Это свидетельствует о том, что городская среда аккумулирует и выделяет тепло, даже в условиях общего охлаждения окружающей территории. Высокие значения теплового потока связаны с влиянием городской застройки, асфальтовых покрытий и выбросов антропогенного тепла, что формирует остров тепла. В то же время за пределами городской территории тепловой поток остается низким и соответствует природным условиям (рисунок 4 б).



*Рисунок 4 – Прогностические поля поверхностного теплового потока.
а) без учета города, б) с учетом города*

Сравнив температурные поля и поля поверхностных тепловых потоков, можно сделать вывод, что формирование температурных аномалий в условиях урбанизации объясняется не только усилением поверхностных тепловых потоков. Хотя в городской зоне действительно наблюдаются максимальные значения восходящих потоков, ведущих к дополнительному нагреву приземного слоя воздуха, наблюдаемое повышение температуры на значительном расстоянии от урбанизированных территорий, включая водные объекты, не всегда совпадает с зоной положительных потоков.

Это позволяет предположить, что также существенную роль в перераспределении тепла играет изменение ветрового режима при учёте урбанизации. Проведённый ранее анализ ветров в точке, соответствующей Санкт-Петербургу, показал, что при включении параметризации урбанизации скорость ветра возрастает. Увеличение скорости ветра

может способствовать более активному переносу тёплого воздуха за пределы городской территории.

В дальнейшем предполагается рассмотреть другие метеовеличины, что позволит уточнить влияние урбанизации на метеорологические параметры в условиях рассматриваемой территории.

Список литературы

1. *Salamanca, F., and A. Martilli*, 2010: A new building energy model coupled with an urban canopy parameterization for urban climate simulations—part II. Validation with one dimension off-line simulations. *Theor. Appl. Climatol.*, 99, 345–356. doi:10.1007/s00704-009-0143-8.
2. *Martilli, A., Clappier, A., and Rotach, M. W.*, 2002: An urban surface exchange parameterization for mesoscale models. *Boundary-Layer Meteorology*, 104, 261–304. doi:10.1023/A:1016099921195.

ОСОБЕННОСТИ ПОЛЯ ПРИЗЕМНОГО ДАВЛЕНИЯ И ВОЛН ХОЛОДА НАД ЕВРАЗИЕЙ ВО ВРЕМЯ ВСП (РАСЩЕПЛЕНИЕ)

Головко А.Г., Ермакова Т.С.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

Аннотация. В данном исследовании проводился анализ поля приземного давления и волн холода для 6 зим во время внезапного стратосферного потепления (ВСП) с расщеплением циркумполярного вихря в Северном полушарии. В результате анализа можно заключить, что характерное смещение полярных антициклонов наблюдается в следующих регионах: Среднесибирское плоскогорье (4 из 6 зим), Западно-Сибирская равнина (4 из 6 зим), полуостров Таймыр (3 из 6 зим), Республика Саха и Чукотский автономный округ (3 из 6 зим), архипелаг Новая Земля (3 из 6 зим) и архипелаг Северная Земля (2 из 6 зим). За последние годы (в частности, 2017-2018 и 2020-2021) наблюдается тенденция, когда полярные антициклоны не только смещаются на материк, но и достигают более южных широт, до границ Казахстана. Волны холода также фиксировались со значительными значениями ниже климатические нормы, достигая 30,3°C отрицательной аномалии температуры за 6 дней в декабре 2020 года в Игарке и в январе 2001 в Хатанге.

Ключевые слова. Внезапное стратосферное потепление, расщепление циркумполярного вихря, волны холода, синоптический анализ.

FEATURES OF THE SURFACE PRESSURE FIELD AND COLD WAVES OVER EURASIA DURING THE SSWs (SPLITTING)

Golovko A.G., Ermakova T.S.

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

Annotation. In the present work, we examine the surface pressure field and cold waves for 6 winters during the sudden stratospheric warmings (SSWs) with the splitting of the polar vortex. As a result of the analysis, it can be concluded that the characteristic displacement of polar anticyclones is observed in the Central Siberian Plateau (4 out of 6 winters), the West Siberian Plain (4 out of 6 winters), the Taimyr Peninsula (3 out of 6 winters), the Republic of Sakha and the Chukotka Autonomous Region (3 out of 6 winters), the Novaya Zemlya Archipelago (3 of 6 winters) and the Severnaya Zemlya Archipelago (2 of 6 winters). In recent years, in particular, 2017-2018 and 2020-2021, there has been a trend when polar anticyclones not only shift to the mainland but also reach more southern latitudes, including Kazakhstan. Cold waves were also recorded, and their extreme values were always significantly lower than the climatic norm, reaching 30.3°C negative temperature anomaly in 6 days in December 2020 in Igarka and in January 2001 in Khatanga.

Keywords. Sudden stratospheric warming, splitting of the polar vortex, cold waves, synoptic analysis.

Внезапное стратосферное потепление (ВСП) – значительный стратосферный феномен в Северном полушарии в зимнее время, случающейся примерно 6 раз за 10 лет. Зимой полярный стратосферный вихрь представляет собой сильную и холодную циркуляцию с западными ветрами. В течение событий ВСП в зимнее время нормальная западная стратосферная циркуляция разрушается за несколько дней и заменяется на слабые восточные ветра. Это сопровождается полярным потеплением с увеличением температуры на несколько десятков градусов в течение нескольких дней. Такие эффекты распространяются на поверхность Земли, а также в мезосферу и за ее пределы [1, 2].

В данной работе были выделены события ВСП согласно их динамическому различию и проанализированы синоптические ситуации в периоды расщепления циркумполярного вихря. Авторы (White I. P. и др., 2021) при моделировании установили, что в контрольном прогоне свободно распространяющиеся расщепления циркумполярного вихря имеют немедленную баротропную реакцию во всей стратосфере и тропосфере, в то время как при смещении требуется 1-2 недели, прежде чем проявляется реакция в приповерхностном слое [3]. Другие исследования показывают, что поверхностные аномалии, возникающие после расщепления вихря, сильнее влияют на Северную кольцевую моду (СКМ), чем при смещении [4]. Во время расщепления полярного стратосферного вихря в разных частях средних широт происходит похолодание, которое создаёт благоприятные условия для сильной холодной волны у поверхности [5]. Изучая отклик тропосферы для разных типов ВСП поможет улучшить качество среднесрочных прогнозов.

Данное исследование проведено для зим 1984-1985, 2000-2001, 2008-2009, 2009-2010, 2017-2018 и 2020-2021 гг. Более детально рассмотрены зимы 2008-2009 и 2020-2021 гг.

В таблице 1 представлены данные для средней зональной температуры и зональной компоненты ветра, планетарных волн в поле геопотенциальной высоты с волновым числом 1 и 2 для исследуемых зим. Для построения таких графиков (графики не представлены) использовались данные реанализа MERRA-2 [6]. Для определения волн холода были использованы значения среднесуточной температуры с ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» [7] (графики не представлены), средние климатические значения температуры – с «Гидрометцентра России» [8]. При определении волн холода использовалась классификация С.В. Морозовой, где такой волной считается понижение среднесуточной температуры на 5°C и более в течение не менее 2 дней, а перепады температуры на величину больше 10°C классифицируются как интенсивные волны [9].

Таблица 1 – Данные для средней зональной температуры и среднезональной компоненты ветра, планетарных волн в поле геопотенциальной высоты с волновым числом 1 и 2

Год	Зональная температура и ветер	Амплитуда планетарной волны m = 1	Амплитуда планетарной волны m = 2
1984-1985	18.12.1984-01.01.1985, $\Delta t = 70\text{K}$, Обращение ветра до 90 м/с	10-18.12.1984 = 2400, 08.02.1985 = 2400	31.12.1984 = 1500
2000-2001	05.01.2001-02.02.2001, $\Delta t = 35\text{K}$, Обращение ветра до 10 м/с	04.12.2000 = 3000	14-16.12.2000 = 1000
2008-2009	16.01.2009-20.01.2009, $\Delta t = 60\text{K}$, Обращение ветра до 35 м/с	05-15.11.2008 = 1600, 01-16.12.2008 = 2000, 04.10.2009 = 1600	17.01.2009 = 1350
2009-2010	07.01.2010-30.01.2010, $\Delta t = 35\text{K}$, Обращение ветра до 25 м/с	02.12.2009 = 2700	14.12.2009 = 1000
2017-2018	03.02.2018-14.02.2018, $\Delta t = 42\text{K}$, Обращение ветра до 40 м/с	17.01.2018 = 2000, 30.01.2018 = 2200	10.02.2018 = 1050
2020-2021	20.12.2020-02.01.2021, $\Delta t = 45\text{K}$, Обращение ветра до 40 м/с	16-28.12.2020 = 2400	02.01.2021 = 900

В зимний период 2008-2009 гг. резкий скачок температуры в стратосфере составил 30К от 195К до 255К в период с 16.01.2009-20.01.2009 г. Ветер сменил направление с западного на восточное и достиг скорости 10 м/с. В первой декаде ноября 2008 усилилась планетарная волна с волновым числом 1 на высоте 45-57 км и составила 1600 гп.м. Позже с 1 по 16 декабря 2008 она усилилась до 2000 гп.м. и фиксировалась ниже в слое 35-60 км. 4 января 2009 она вновь усилилась до 1600 гп.м на высоте 45-62 км. Максимум усиления планетарной волны с волновым числом 2 приходится на 17.01.2009 г. на высоте 35 – 55 км и составляет 1350 гп.м.

Анализируя синоптическое положение у поверхности земли, стоит отметить, что 15.01.2009 г. (начало потепления в стратосфере) над ЕТР наблюдалось малоградиентное поле давления. Циклон располагался над Уральскими горами (здесь и ниже с давлением в центре 1004 гПа), в районе о. Байкал (1010 гПа), антициклон над г. Магаданом (1013 гПа) и над полюсом область пониженного давления (975 гПа). 19.01.2009 антициклон с о. Гренландия сместился на арх. Новая Земля (1029 гПа), в это время над остальными частями РФ – область низкого давления. В Нарьян-Маре зафиксировано понижение приземной температуры воздуха от значения -14,7°C (24 января 2009) до -32,1°C к 31 января 2009 г. После чего температура повысилась до -6,2°C к 2 февраля 2009. Для Нарьян-Мара среднее климатическое для января составляет -16,7°C. За 5 суток понижение температуры составило 17,4°C (интенсивная волна холода), значение температуры за 31 января 2009 ниже нормы на 15,4°C. В Салехарде было также понижение приземной температуры воздуха от -24,8°C 25 января 2009 до -35,9°C (ниже нормы на 12°C) к 27 января 2009 г, разница составила 11,1°C за 3 дня (интенсивная волна). После температура повысилась до -17,8°C к 31 января 2009 и вновь понизилась до -36,8°C (ниже нормы на 12,9°C) к 1 февраля 2009. Разница составила 19,0°C за 3 дня (интенсивная волна холода). Для Салехарда среднее климатическое для января составляет -23,9°C. 20.01.2009 антициклон смещался южнее на Уральские горы (1045 гПа). 23.01.2009 он располагался в районе Барабинской низменности (1054 гПа), 24.01.2009 – достиг о. Байкал (1040 гПа). Затем он продолжил смещение в юго-восточном направлении, пока не разрушился. 27.01.2009 над полюсом изобары вытянуты от Скандинавии до Берингова пролива, однако над арх. Северная Земля располагается центр полярного антициклона (1039 гПа). В Хатанге произошло понижение приземной температуры воздуха от значения -35,8°C (20 января 2009) до -41,4°C к 22 января 2009 г. Разница составила 5,6°C за 3 дня, можно классифицировать как волну холода. После чего температура повысилась до -29,4°C к 26 января 2009. И затем вновь опустилась до -49,3°C к 31 января 2009 (разница 19,9°C за 6 дней). Такое понижение соответствует интенсивной волне холода. Для Хатанги среднее климатическое для января составляет -19,1°C. Температура 22.01.2009 была ниже нормы на 22,3°C, а 31.01.2009 – на 30,2°C. 29.01.2009 барическое образование сместилось на материк (о. Вайгач), затем объединился с центром антициклона, который смещался с Балтийского моря. 31.01.2009 центр антициклона был локализован над Белым морем (1038 гПа), а другой центр, который смещался с юга России, в районе Челябинска (1040 гПа). В Мурманске приземная температура воздуха понизилась от +0,4°C (2 февраля 2009) до -28,4°C к 7 февраля 2009 г. Понижение за 6 суток на 28°C также соответствует интенсивной волне холода. После чего температура повысилась до -5,8°C к 12 февраля 2009. Среднее климатическое для Мурманска в феврале составляет -9,3°C, падение температуры 07.02.2009 было ниже нормы на 19,1°C. Аналогично для Архангельска: приземная температура воздуха понизилась от -2,9°C (3 февраля 2009) до -30,4°C к 6 февраля 2009 г. После чего температура повысилась до -3,1°C к 10 февраля 2009. Среднее климатическое для Архангельска в феврале составляет -10,7°C. Падение температуры на 27,5°C за 4 дня также относится к интенсивной волне холода, а 06.02.2009 температура была ниже среднего на 19,7°C.

Стоит отметить, что полярные антициклоны пытались проникнуть на территорию Республики Саха и Чукотского автономного округа, но они лишь огибали береговую линию, а в этих субъектах наблюдалась область низкого давления.

Зимой 2020-2021 гг. резкое увеличение среднезональной температуры в стратосфере составило 45К от 198К до 243К в период с 20.12.2020-02.01.2021 г. Зональная компонента ветра сменила направление с западного на восточное, и скорость достигла значений 40 м/с. С 16-28.12.2020 произошло усиление планетарной волны с волновым числом 1 на высоте от 45-58 км и достигло 2400 гп.м. Усиление планетарной волны с волновым числом 2 приходится на 02.01.2021 г. на высоте 45 – 55 км и составляет 900 гп.м.

Синоптическое положение в это время определялось тем, что 20.12.2020 г. (начало потепления) над полюсом наблюдался антициклон с 3 центрами, два из которых над полюсом (1020 гПа) и один – восточнее Тикси (1020 гПа). Ещё один центр антициклона располагался над Казанью (1015 гПа). А над остальным севером РФ – двуцентровая депрессия и также циклон над Омском (995 гПа). 22 декабря началось влияние циклонов с Атлантики, а антициклон смещался к югу и вытягивался вдоль широт с центрами южнее Оренбурга (1040 гПа) и над Алтаем (1040 гПа). Полярный антициклон мало смещался. На следующий день (23.12.2020) полярный антициклон начал вытягиваться в сторону Норильска, в то время как над остальной частью область низкого давления. В Игарке приземная температура воздуха понижалась от -17,0°C 18.12.2020 до -38,9°C 21.12.2020 и составила -47,3°C 23.12.2020. Для Игарки среднее климатическое для декабря составляет -24,9. В течение 6 дней приземная температура понизилась на 30,3°C (интенсивная волна холода), и значение температуры 23.12.2020 ниже среднего климатического на 22,4°C. Так, 24 декабря полярный антициклон начал смещаться еще и в сторону Сыктывкара, где 24.12.2020 температура фиксировалась -8,7°C, а 25.12.2020 уже -16,1°C. Далее она повысилась до -9,1°C к 27.12.2020 и после снова понизилась до -25,3°C 29.12.2020. Для Сыктывкара среднее климатическое для декабря составляет -10,7°C. Соответственно, в течение 3 суток приземная температура понизилась на 16,2°C, а температура 29.12.2020 была ниже нормы на 14,6°C. Через сутки, 25.12.2020 в 12 ВСВ, появился новый центр этого антициклона в районе Сургута (порядка 1035 гПа). 25.12.2020 В Ханты-Мансийске фиксировалась приземная температура воздуха -38,9°C. Далее она повысилась до -15,5°C 28.12.2020. Затем к 02.01.2021 понизилась до -38,4°C. Для Ханты-Мансийска среднее климатическое для декабря составляет -16,6°C. Соответственно, в течение 6 дней приземная температура понизилась на 22,9°C и 02.01.2021 была ниже нормы на 21,8°C, что также относится к интенсивной волне холода. Через 6 часов новый центр сместился до Омска, а полярный центр на Гыданский п-ов (1045 гПа). 26.12.2020 в 12 ВСВ он вытягивается и формируется лишь один центр восточнее Салехарда (1045 гПа). С этого срока можно утверждать, что для декабря 2020 и января 2021 гг. сформировался блокирующий антициклон.

20.12.2020 в Салехарде -12,9°C. А 26.12.2020 приземная температура уже составила -42,7°C. Затем она растет и к 29.12.2020 достигает -27,1°C. И вновь понижается, к 1 января 2020 достигает значения -37,5°C. Для Салехарда среднее климатическое для декабря составляет -19,9°C. За первые 6 дней температура понизилась на 29,8°C, а потом за 3 дня повысилась на 15,6°C. И после снова падает на 10,4°C за 4 дня. Такие изменения в приземной температуре также соответствуют интенсивным волнам холода. Через 6 часов центр продолжает смещаться в восточном направлении и располагается восточнее Сургута (1050 гПа). В этот период (27.12.2020 12 ВСВ) небольшой циклон с Канады уже стал очень глубоким с центром северо-восточнее Великобритании (960 гПа), и циклон над Вологдой (1015 гПа), которые смещаясь на восток, заставляют изобары «полярного» антициклона изгибаться. В результате данная область высокого давления продолжает двигаться на восток. Этот антициклон занимает

площадь от 80° с.ш. до 40° с.ш. Но из-за большой протяженности, а также циклона с запада, антициклон разделяется на 2 части с центрами южнее п-ов Таймыр (1050 гПа) и южнее Красноярска (1050 гПа). Примерно в эти же дни (29.12.2020) сформировался центр антициклона над Верхоянском, который устанавливается и мало смещается. В Тикси происходит понижение приземной температуры с 28.12.2020 с -25,5°С до -37,6°С 31 декабря 2020 г. Затем она растет до значения -24,4°С 2 января 2021 г. Для Тикси среднее климатическое для декабря составляет -28,2°С. Температура понизилась за 3 дня на 12,1°С (интенсивная волна холода), а 31.12.2020 температура была ниже нормы на 9,4°С. 1 января 2021 г. в 12 ВСВ антициклон снова занимает обширную территорию, центр сместился западнее на Западно-Сибирскую равнину (1030 гПа) и появляется новый центр в районе Кызыла (1025 гПа). 2 января практически вся Сибирь и Дальний Восток находились под влиянием этого антициклона, но по-прежнему продолжал свое движение на юг. В Якутске со 2 января 2021 приземная температура воздуха составляла -33,3°С и понизилась до -46,5°С к 4 января, затем повысилась за 3-4 дня до -41,0°С. Для Якутска среднее климатическое для декабря составляет -37,0°С. Так, за 2 дня приземная температура понизилась на 13,2°С (волна холода), а затем повысилась на 5,5°С. И для Хатанги аналогично понизилась температура с -25,5°С 28.12.2020 до -37,6°С 31.12.2020. Потом вновь повысилась до -24,4°С 2.01.2021 г. Для Хатанги среднее климатическое для декабря составляет -29,3°С. Аналогичным образом температура понизилась на 12,1°С за 4 дня (интенсивная волна холода), потом повысилась на 13,2°С. 3 января его центр был локализован восточнее Омска (1065 гПа). 5 января происходит формирование 2 центра. Теперь один расположен между Томском и Сургутом, а второй южнее Красноярска (1060 гПа). На следующий день образуется 3 центр западнее Пекина, который быстро заполнится. 8 января 2021 в 12 ВСВ циклоны с запада сместят центры на юго-восток. И 10 января антициклон будет двигаться на Азию. Однако сформировавшийся 08.01.2021 в 12 ВСВ новый полярный антициклон у арх. Новая Земля (1035 гПа) образует ещё один центр над Нарьян-Маром (1030 гПа). Зафиксировано небольшое понижение температуры в Нарьян-Маре с 9 по 11 января 2021 года с -19,3°С до -28,9°С. Разница составила 9,6°С за 3 дня (волна холода). Для Нарьян-Мара среднее климатическое для января -16,7°С. Температура 11.01.2021 была ниже нормы на 12,2°С. 10 января в 00 ВСВ центр вновь один, но теперь над п-ов Ямал, также сформировался новый центр антициклона над Верхоянском. Полярный антициклон смещается в южном направлении до Архангельска (1035 гПа). В Архангельске зафиксировано 2 последовательных понижения приземной температуры с 7 по 9 января 2021 г. с -8,9°С до -23,7°С (разница 14,8°С), с 10 по 15 января 2021 г. с -20,9°С до -33,3°С (разница 12,4°С). Определяемые как интенсивные волны холода за 3 и 6 суток соответственно. Далее снова повышение температуры до -4,7°С к 19.01.2021 г. (разница 28,6°С). Для Архангельска среднее климатическое для января составляет -11,6°С. Через 6 часов (13.01.2021 в 00 ВСВ) антициклон вытягивается и формируется новый центр несколько южнее Оренбурга (1030 гПа). Затем он вытягивается от Мурманска до Алма-Ата (Казахстан) с центром над Екатеринбург (1035 гПа). Над Оймяконом погоду продолжает определять область высокого давления. Центр этого антициклона затем начнет двигаться на запад через Северный Ледовитый океан, а описанный выше антициклон на юго-восток. Результатом таких перемещений 16.01.2021 в 00 ВСВ станет один обширный антициклон с 3 центрами над арх. Северная Земля (1040 гПа), юго-восточнее Норильска (1035 гПа) и над Кызылом (1055 гПа). Над Хатангой с 15 января 2021 г. приземная температура повышалась от -48,5°С до -33,3°С 18 января 2021 г. Для Хатанги среднее климатическое для января составляет -30,9°С. Аналогично, для Игарки: рост приземной температуры с 15 января 2021 от -41,7°С до -23,2°С к 18 января 2021 г. Для Игарки среднее климатическое для января -27,2°С. В Тикси с 14 января 2021 приземная температура также повышалась от -40,4°С до -24,4°С к 17 января 2021 г. Для Тикси среднее

климатическое для января $-29,5^{\circ}\text{C}$.

Резюмируя все синоптические процессы, происходящие над Евразией в рассмотренные 6 зим при ВСП с расщеплением, можно заключить, что для 1984-1985 гг. полярные антициклоны смещались на территорию Среднесибирского плоскогорья и, в частности Северо-Сибирской низменности (п-ов Таймыр). Для 2000-2001 гг. антициклоны смещались на п-ов Таймыр и на территории Республики Саха и Чукотского автономного округа. Для 2008-2009 гг. полярные антициклоны смещались с о. Гренландия на арх. Новая Земля, также на Уральские горы, затем на Барабинскую низменность и до о. Байкал. Также фиксировался центр полярного антициклона над арх. Северная Земля и смещение происходило в сторону о. Войгач. Однако полярные циклоны не могли проникнуть на Якутию и более восточные регионы. Смещение барических образований зимой 2009-2010 гг. характеризовалось смещением полярных антициклонов на арх. Новая Земля, антициклон над Сибирью смещался до Якутска, наблюдался антициклон над Чукотским а.о. Помимо этого, антициклон со Скандинавии смещался до Казани и затем до Вологды. А центр полярного антициклона – на п-ов Таймыр, затем через север на юг Уральских гор и после – на юг Западно-Сибирской равнины. Зима 2017-2018 гг. характеризовалась антициклональным типом погоды над всей РФ. Полярный антициклон смещался до севера Среднесибирского плоскогорья, затем в сторону Ханты-Мансийска и был вытеснен на юг полярным циклоном. В 2020-2021 гг. наблюдался блокирующий антициклон от 80° с.ш. до 40° с.ш. Полярный антициклон вытягивался в сторону Сыктывкара и Норильска, образовывался новый центр над Сургутом. Также полярный антициклон смещался на Гыданский п-ов с центром над Салехардом. Образовывался центр высокого давления над Верхоянском. И, кроме того, полярный антициклон смещался до Архангельска, а затем вытягивался от Мурманска до Алма-Аты (Казахстан). Центры блокирующего антициклона были локализованы над арх. Северная Земля, юго-восточнее Норильска и над Кызылом.

Обобщая, можно отметить, что во время и после ВСП с расщеплением вихря типичное смещение полярных антициклонов наблюдалось на Среднесибирское плоскогорье (4/6 зим) и Западно-Сибирскую равнину (4/6 зим), п-ов Таймыр (3/6 зим), Республику Саха и Чукотский а.о. (3/6 зим), арх. Новая Земля (3/6 зим) и на арх. Северная Земля (2/6 зим). Очевидна тенденция последних лет (2017-2018 и 2020 и 2021), когда полярные антициклоны не только смещаются на материк, но и достигают более южные районы и даже Казахстан.

В январе 2009 года в Хатанге и Салехарде наблюдались интенсивные волны холода: в Салехарде температура понизилась на $17,4^{\circ}\text{C}$ за 5 суток и $19,0^{\circ}\text{C}$ за 3 дня, а в Хатанге фиксировалась волна холода, так как разница составила $5,6^{\circ}\text{C}$ за 3 дня и интенсивная волна холода - $19,9^{\circ}\text{C}$ за 6 дней. В феврале 2009 интенсивные волны холода в Мурманске характеризуется понижением температуры за 6 суток на 28°C , а в Архангельске - на $27,5^{\circ}\text{C}$ за 4 дня.

За 6 дней в декабре 2020 года в Игарке и в Хатанге в январе 2001 приземная температура понизилась на $30,3^{\circ}\text{C}$, в Сыктывкаре - за 3 суток на $16,2^{\circ}\text{C}$, в Ханты-Мансийске - в течение 6 дней на $22,9^{\circ}\text{C}$ и в Салехарде – за первые 6 дней температура понизилась на $29,8^{\circ}\text{C}$, а потом за 3 дня повысилась на $15,6^{\circ}\text{C}$, а после снова уменьшилась на $10,4^{\circ}\text{C}$ за 4 дня, в Тикси - за 3 дня на $12,1^{\circ}\text{C}$. В Якутске за 2 дня приземная температура понизилась на $13,2^{\circ}\text{C}$ и в Хатанге – она понизилась на $12,1^{\circ}\text{C}$ за 4 дня. В январе для Нарьян-Мара разница среднесуточных приземных температур составила $9,6^{\circ}\text{C}$ за 3 дня, а в Архангельске зафиксировано 2 последовательных понижения на $14,8^{\circ}\text{C}$ за 3 дня и на $12,4^{\circ}\text{C}$ за 6 дней.

Список литературы

1. Baldwin M. P. et al. Sudden stratospheric warmings //Reviews of Geophysics. – 2021. – Т. 59. – №. 1. – С. e2020RG000708.
2. Federal Office of Meteorology and Climatology MeteoSwiss, электронный ресурс: <https://www.meteoswiss.admin.ch/weather/weather-and-climate-from-a-to-z/polar-vortex.html>
3. White I. P. et al. The impact of split and displacement sudden stratospheric warmings on the troposphere //Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2021. – Т. 126. – №. 8. – С. e2020JD033989.
4. Mitchell D. M. et al. The influence of stratospheric vortex displacements and splits on surface climate //Journal of climate. – 2013. – Т. 26. – №. 8. – С. 2668-2682.
5. Lindsey R. Understanding the Arctic polar vortex //Climate. gov–Science and Information for a Climate-Smart nation. – 2021.
6. Данный реанализа MERRA-2, электронный ресурс: https://fluid.nccs.nasa.gov/reanalysis/classic_merra2/?field=precip&level=0®ion=nps&one_click=1&tau=00&track=none&fcst=20010104
7. Электронный ресурс ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», <https://www.meteorf.gov.ru/about/structure/niu/354/>
8. Электронный ресурс: «Гидрометцентр России», <https://meteoinfo.ru/climatcities>
9. Морозова С.В. Прогноз волн тепла и холода для Саратовской области с использованием физико-статистического метода ВФ Мартазиновой" плавающий аналог" //Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. – 2017. – №. 363. – С. 138-159.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЗИМНИЕ РЕЖИМЫ ПОЛЯРНОЙ СТРАТОСФЕРЫ В ЮЖНОМ ПОЛУШАРИИ

Лумпова Н.С., Ермакова Т.С.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
lumpovan72@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены зимние режимы полярной стратосферы Южного полушария. Проанализированы термодинамические характеристики исследуемых лет. Выделены особенности в поведении термодинамических характеристик в годы с ВСП.
Ключевые слова. Южное полушарие, полярная стратосфера, ВСП, планетарные волны, квази-десятидневная волна.

THERMODYNAMIC WINTER REGIMES OF THE POLAR STRATOSPHERE IN THE SOUTHERN HEMISPHERE

Lumpova N.S., Ermakova T.S.

Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg

Annotation. The winter regimes of the polar stratosphere of the Southern Hemisphere are considered. Thermodynamic characteristics of the years under study are analyzed. Features in the behavior of thermodynamic characteristics in years with SSW are highlighted.
Keywords. Southern Hemisphere, polar stratosphere, SSW, planetary waves, quasi-ten-day wave.

Термодинамические процессы в стратосфере, как правило, очень неспешны и прогнозируемы, но иногда зимний режим полярной стратосферы нарушается. Ослабевают западные ветры, увеличивается температура стратосферы, деформируется

циркумполярный вихрь. Так возникает внезапное стратосферное потепление.

Причина возникновения внезапного стратосферного потепления (далее ВСП) заключается в усилении амплитуд планетарных волн, способных вызвать разрушение циркумполярного вихря.

В Северном полушарии из-за большей генерации планетарных волн возникновение ВСП происходит чаще, чем в Южном. Поэтому термодинамические зимние режимы в Южном полушарии более устойчивы. Однако с момента наблюдения за стратосферой Южного полушария были зафиксированы два события ВСП в 2002 и 2019 гг.

Для проведения сравнительного анализа термодинамических характеристик зимних режимов Южного полушария были выбраны зимы с ВСП, 2002 и 2019, зимы, когда не было ВСП, но наблюдались одинаковые фазы тропических осцилляций в зимы с ВСП, 1995 и 2004, и зимы, взятые случайным образом, с отличными от двух лет с ВСП фазами тропических осцилляций, 2007 и 2018. Также, не менее интересной была зима 2024 года, когда температура стратосферы в отдельные дни была аномально высокой, циркумполярный вихрь имел тенденцию к вытягиванию, поэтому 2024 год тоже был взят для сравнительного анализа.

Первый этап анализа термодинамических характеристик состоял в оценке среднезональной температуры на уровне 10 гПа, осредненной по долготам и по широтному поясу от -77.5° и до -87.5° ю.ш., и среднезонального ветра на уровне 10 гПа на южной широте -65° . На рисунке 1 приведено распределение среднезональной температуры для семи исследуемых лет. Сразу можно отметить, что годы с ВСП, имеют несколько отличный ход от остальных лет. Событие ВСП в 2002 и 2019 гг. произошло в сентябре, а увеличение температуры в момент начала ВСП составило до 40 К.

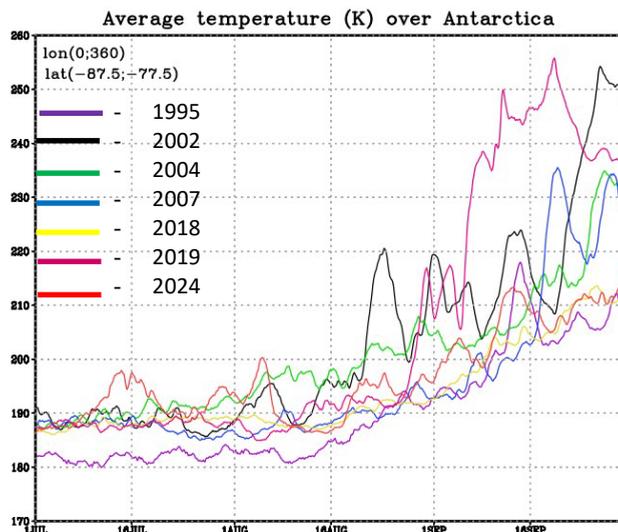


Рисунок 1 – Распределение среднезональной температуры на уровне 10 гПа

Распределение среднезонального ветра представлено на рисунке 2. В 2002 году во время ВСП произошло обращение зональной компоненты ветра. Такое ВСП принято называть мажорным. В 2019 году во время ВСП скорость зональной компоненты ветра значительно уменьшилась, однако, направление ветра не изменилось. Такое ВСП называют минорным.

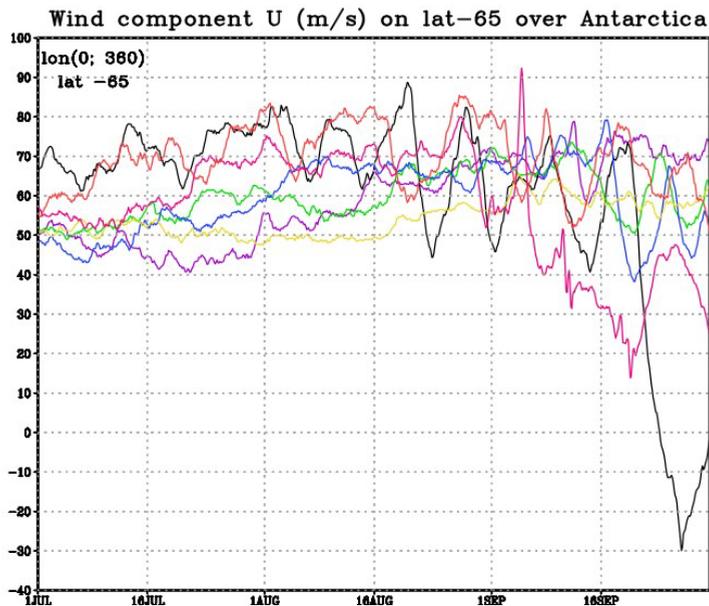


Рисунок 2 – Распределение среднезонального ветра на уровне 10 гПа

Следующим этапом в работе был анализ амплитуд планетарных волн в поле геопотенциальной высоты с волновыми числами 1, 2, 3 на южной широте -60° для 2002, 2019 гг. до события ВСП, в момент его максимального развития и после ВСП.

На рисунке 3 представлено высотное – временное распределение амплитуды планетарной волны с волновым числом 1, 2, 3 для 2002, 2019 гг.

Усиление первой гармоники в обоих случаях произошло за 2-3 недели до наступления события ВСП. Усиление второй гармоники до ВСП было незначительным. В момент развития ВСП в 2002 году отмечалось усиление третьей гармоники. Примечательно, подобное усиление третьей гармоники весьма несвойственно для ВСП в Северном полушарии.

Другие исследуемые годы, за исключением 2024, не демонстрируют характерного для лет с ВСП поведения амплитуд планетарных волн. Зима 2024 года стала в истории стратосферы Южного полушария одной из самых аномально теплых. Усиление первой, второй, третьей гармоник отмечалось уже с середины зимы (графики не представлены).

Известно, что планетарные волны с периодом от трех и до шестнадцати суток оказывают существенное влияние на глобальную циркуляцию атмосферы, поэтому заключительным этапом в работе было выявление закономерностей в поведении квази-десятидневной волны в зимние режимы исследуемых лет.

На рисунке 4 и 5 представлено высотное-широтное распределение амплитуды (м/с) квази-десятидневной волны с волновым числом 1 в поле зональной компоненты ветра для 2002 и 2019 гг. соответственно.

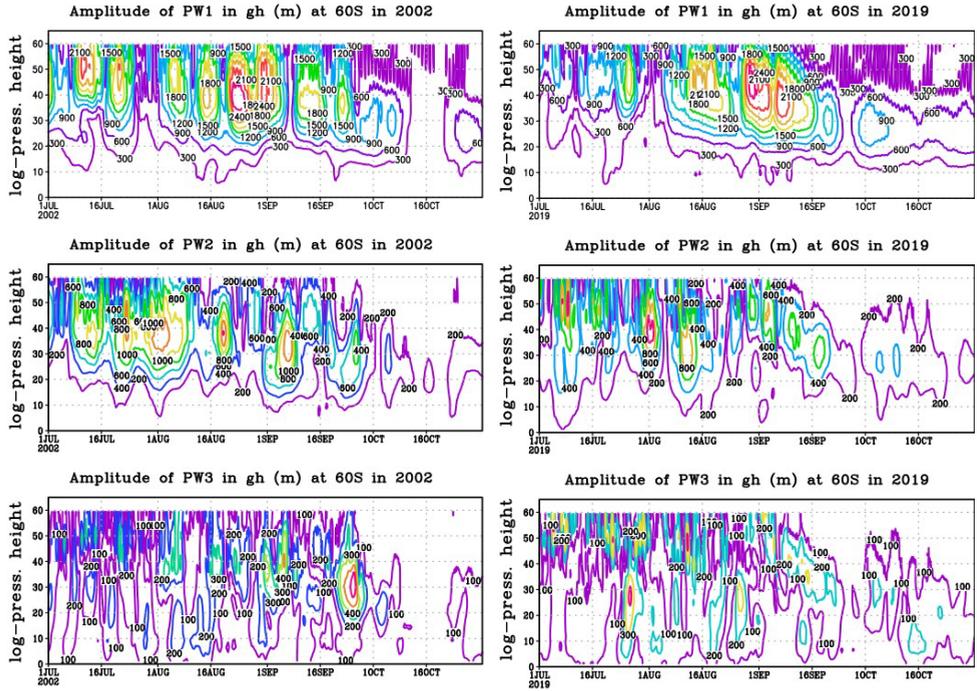


Рисунок 3 – Выотно – временное распределение амплитуды планетарной волны с волновым числом 1 (верхняя панель), с волновым числом 2 (средняя панель), с волновым числом 3 (нижняя панель) для 2002 года (слева) и 2019 (справа)

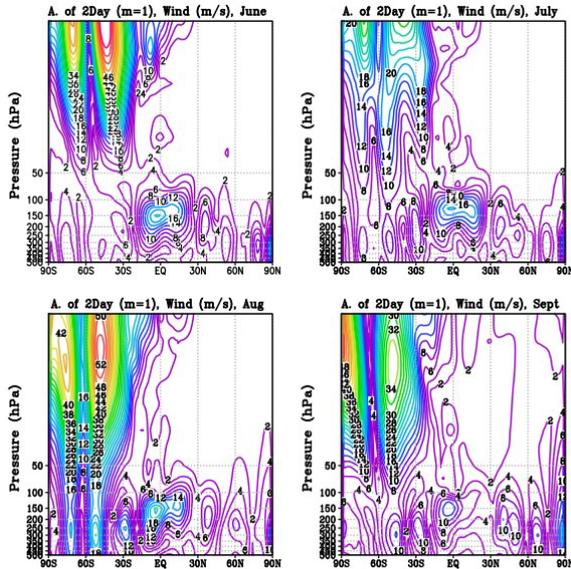


Рисунок 4 – Выотно-широтное распределение амплитуды (м/с) квази-десятидневной волны с волновым числом 1 в поле зональной компоненты ветра, 2002

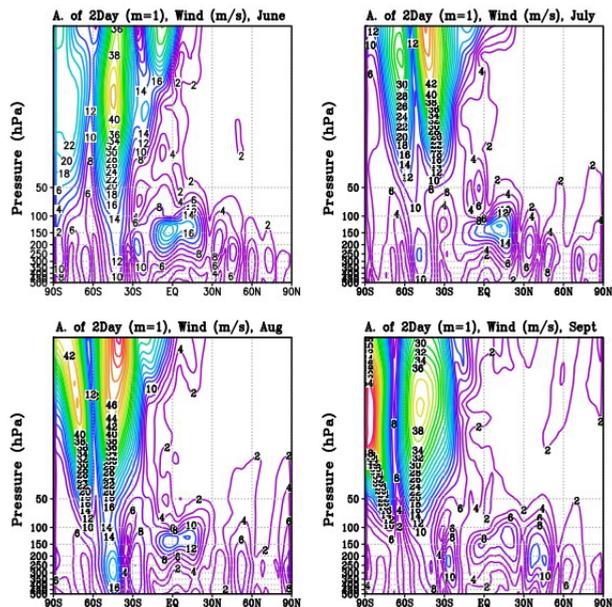


Рисунок 5 – Высотно-широтное распределение амплитуды (м/с) квази-десятидневной волны с волновым числом 1 в поле зональной компоненты ветра, 2019

Усиление квази-десятидневной волны с волновым числом 1 в поле зональной компоненты ветра в обоих случаях наблюдается во все зимние месяцы, исключение составил июль 2002 года. В поле меридиональной компоненты ветра также наблюдалось усиление волны в обеих зимах (результаты не приводятся).

Остальные исследуемые годы такой результат не показали. Некоторые зимы в отдельные месяцы демонстрировали усиление квази-десятидневной волны в поле зональной и меридиональной компонент ветра, однако эти усиления по значениям амплитуды были значительно меньше, чем в годы с ВСП.

По результатам работы выяснилось, что термодинамические зимние режимы полярной стратосферы Южного полушария весьма устойчивы, то есть циркумполярный вихрь редко подвергается деформации, смещению, вытягиванию. В годы, когда происходило событие ВСП, отмечались рост температуры в стратосфере и уменьшение скорости среднезональной компоненты ветра, а также усиление первой гармоники планетарной волны за 2-3 недели до наступления ВСП и усиление квази-десятидневной волны в зимние месяцы. Однако усиление первой гармоники планетарной волны за 2-3 недели до ВСП не может быть предиктором события ВСП, поскольку в годы, когда не было события ВСП, тоже отмечалось усиление первой гармоники планетарной волны.

СИНОПТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ПРИВОДЯЩИЕ К НИЗКОЙ ВИДИМОСТИ В РАЙОНЕ АЭРОДРОМА ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКИЙ (ЕЛИЗОВО)

Поночевная А.Р., Волобуева О.В.

Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург
nastena.ponochevnaya789@mail.ru

Аннотация. Ухудшение видимости на аэродроме обуславливается разными причинами. К ним относятся природные факторы, такие как туман, метель и осадки различного происхождения, а также антропогенные факторы, например, загрязнение воздуха. Особое внимание следует уделять условиям, при которых возможно образование низкой видимости, изучать их влияние на жизнедеятельность человека, а также на обеспечение полетов авиации.

Ключевые слова. Петропавловск-Камчатский, низкая видимость, дальность видимости, атмосферный фронт.

SYNOPTIC FACTORS LEADING TO LOW VISIBILITY IN THE AREA OF AIRPORT PETROPAVLOVSK-KAMCHATSKY (ELIZOVO)

Ponochevnaya A.R., Volobuyeva O.V.

Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg

Annotation. Visibility deterioration at the airport is caused by various factors. It includes natural factors, such as fog, snowstorms and precipitation of different origins, as well as anthropogenic one, such as air pollution. Special attention should be given to the conditions in which low visibility occurs and its impact on human activities and also on ensuring aviation flights.

Keywords. Petropavlovsk-Kamchatsky, low visibility, visibility range, atmosphere front.

Прибрежные районы Дальнего Востока считаются одним из наиболее зависимых от метеорологических условий районов, полуостров Камчатка не является исключением. Столица Камчатского края, город Петропавловск-Камчатский, располагается в юго-восточной части полуострова и находится на побережье Тихого океана. Климат города умеренный, с элементами муссонного и морского. Сложные погодные условия оказывают огромное влияние на такие отрасли, как транспорт, энергетика, туризм, а также для многих других сфер. Деятельность аэродрома, главным образом, определяется облачностью и видимостью, а именно ее дальностью. Метель, снежный поземок (низовая метель), ливневый дождь, туман и дымка, - все эти явления влияют на значения дальности видимости, а также могут являться причиной довольно низких ее показателей в течение всего года и в любое время суток. В свою очередь, это влияет на работу аэродрома, вплоть до возможного его закрытия по метеорологическим условиям.

В данной работе будут рассмотрены синоптические условия формирования низкой видимости в районе аэродрома Петропавловск-Камчатский за период 2020-2024 гг., а также будет проведен анализ повторяемости явлений и степень их влияния на работу аэродрома. За минимальное значение дальности видимости взято значение минимума погоды на исследуемом аэродроме – 800 м [1].

Всего за рассматриваемый период было зарегистрировано 257 случаев [2], когда дальность видимости достигала значений ниже 800 м. Из них 115 случаев появления тумана (FG) в районе аэродрома (45%), 92 случая выпадения ливневого снега (SHSN) - 36%, 33 низовых метели (BLSN) - 13%, 6 случаев дождя (RA) - 2%. Также стоит отметить такие явления, как морось (DZ) и дымка (BR) (7 (3%) и 4 случаев (1%) соответственно), они наблюдались совместно с вышеуказанными явлениями.

На рисунке 1 представлен годовой ход тумана, ливневого снега и низовой метели. Туманы в исследуемом регионе наблюдались в течение всего года, максимум в летние месяцы – 33 случая (в июле), минимум наблюдался в зимний период - 2 (февраль). Ливневый снег и низовая метель наблюдались только в зимний период (на Камчатке это период с октября по март). Интересно, что в феврале, у обоих явлений, зафиксировано меньше случаев, чем в январе и марте (11 случаев ливневого снега, 5 случаев низовой метели).

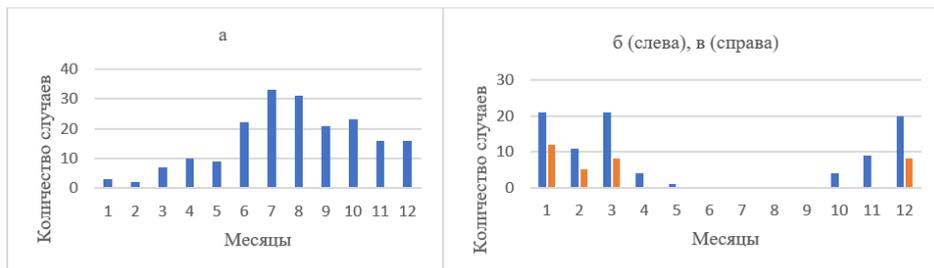


Рисунок 9 – Годовой ход тумана (а), ливневого снега (б) и низовой метели (в) за период с 2020 по 2024 гг.

Для анализа синоптической обстановки используются карты ГМЦ России, а также метеорологические сводки фактической погоды по аэродрому Петропавловск-Камчатский (METAR), по которым можно определить явление, ухудшающее видимость, а также ее преобладающее и минимальное значения, продолжительность явления погоды и сопутствующие метеорологические характеристики, такие как скорость и направление приземного ветра, высота нижней границы облачности и степень покрытия неба облаками. Синоптическая обстановка, обуславливающая то или иное явление определяется по приземным картам погоды.

Наибольшее количество туманов наблюдалось при прохождении теплого фронта (19%), в малоградиентном поле повышенного давления (15%) и в зоне действия антициклона (13%).

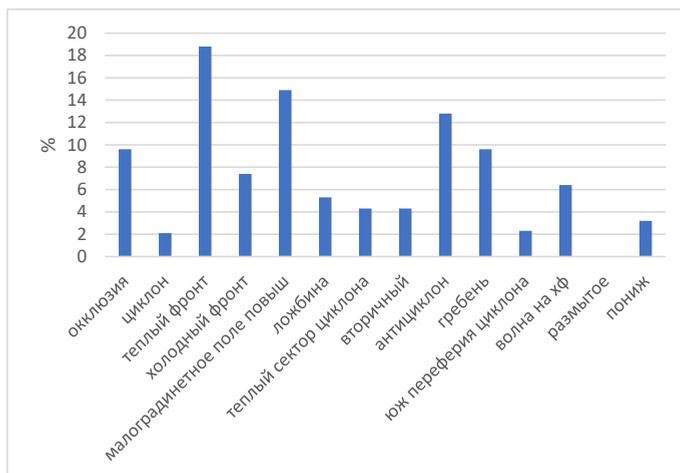


Рисунок 2 – Повторяемость синоптических обстановок при туманах

Ливневый снег, в основном, наблюдался при прохождении теплого фронта (44,4%) и фронта окклюзии (33,3%).

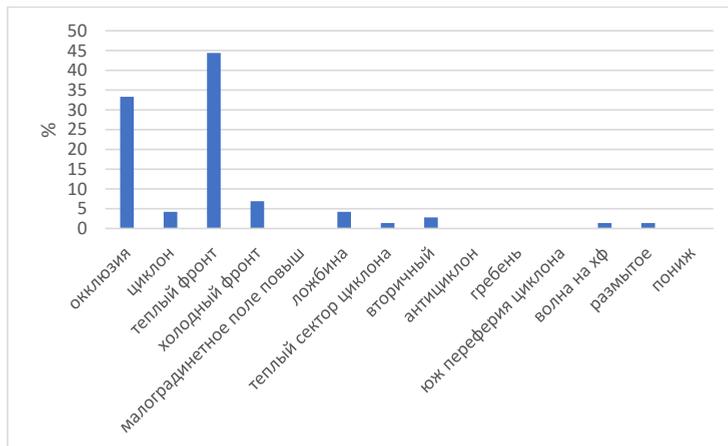


Рисунок 3 – Повторяемость синоптических обстановок при ливневом снеге

Наибольшее число случаев низовой метели также наблюдалось при прохождении теплового фронта (38%) и фронта окклюзии (38%).

Рассмотрим подробнее наиболее типовую синоптическую ситуацию для каждого из случаев.

25 июня 2024 г. с 15 до 21 UTC на аэродроме Петропавловск-Камчатский были зафиксированы значения дальности видимости и высоты нижней границы облачности ниже минимумов погоды. Ниже представлена первая метеорологическая сводка фактической погоды на аэродроме METAR [3] с значениями ниже 800 м и 30 м соответственно.

METAR UHPP 251500Z VRB01MPS 4300 0250N PRFG OVC001 06/06 Q1010 R34L/CLRD60 NOSIG RMK QBB050 QFE754/1005=

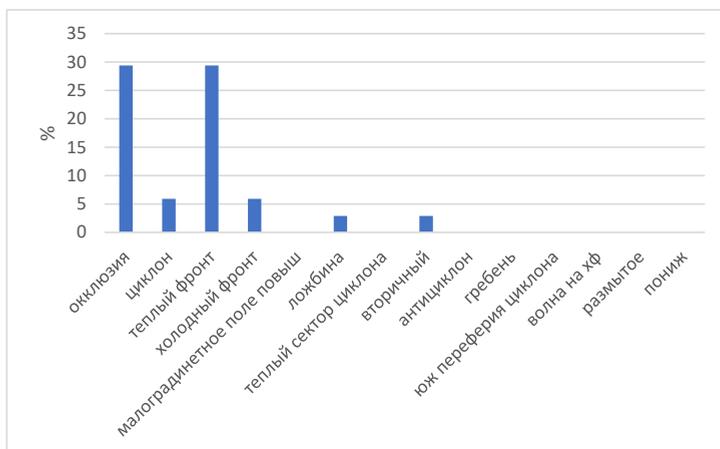


Рисунок 4 – Повторяемость синоптических обстановок при низовой метели

С 22 июня над Камчатским краем господствовал антициклон, затем, к юго-западной части полуострова подошел циклон, движущийся от материковой части Евразии. Над регионом образовалось поле повышенного давления. Такая синоптическая обстановка наблюдалась почти двое суток (25 декабря 12 UTC – 27 декабря 00 UTC).

Туман покрывал зону аэродрома в течение всей ночи, на протяжении всего срока был слабый ветер (1-2 м/с), вертикальная видимость, временами составляла 60 м, то есть невозможно было определить наличие облачности над аэродромом. Все вышеперечисленное является благоприятными условиями для наличия радиационного тумана, что наиболее типично для туманов в данном регионе в данное время года.

Основными синоптическими ситуациями, благоприятными для низовой метели являются зоны высоких барических градиентов, тыл циклона, а также прохождение атмосферных фронтов. Рассмотрим явление низовой метели при прохождении теплого фронта циклона. 02 января 2023 г. низовая метель продолжалась 6.5 ч с 03:30 UTC.

METAR UHPP 020600Z 11011G16MPS 0650 0550N R16/0550N +SHSN BLSN BKN009 OVC020CB M00/M01 Q0988 R16R/350131 NOSIG RMK MT OBSC QFE738/0984=

Приземная скорость ветра составляла 6-11 м/с, с порывами ветра до 16 м/с. При прохождении линии фронта на аэродроме наблюдалось усиление ветра, минимальное значение дальности видимости составляло 550 м, облачность опускалась до 150 м. Скорость смещения атмосферного фронта составляла 20 км/ч. Над аэродромом была зафиксирована кучево-дождевая облачность, сопровождаемая ливневыми осадками, которая опасна для полетов авиации. Стоит отметить, что анализ всех случаев низкой видимости на аэродроме Петропавловск-Камчатский показал, что низовая метель часто наблюдается совместно с ливневым снегом.

Ливневый снег часто отмечается при прохождении фронта окклюзии. Так 5 декабря 2024 г. окклюдированный циклон оказывал свое влияние на южную часть полуострова Камчатка, сам фронт окклюзии проходил над городами Петропавловск-Камчатский и Елизово. Погода начала ухудшаться 4 декабря в 11:49 UTC. Фронт окклюзии стационарировал над регионом на протяжении суток. Ливневый снег наблюдался над аэродромом до 13:47 UTC, меняя свою интенсивность. Значения дальности видимости варьировались от 550 м до 9000 м (значение на ВПП), при этом на протяжении нескольких часов (4 декабря 11:31 UTC - 13:00 UTC; 4 декабря 23.13 UTC - 5 декабря 02:30 UTC) дальность видимости была ниже минимума аэродрома.

METAR UHPP 041200Z 36003MPS 0600 0550SE R34/0550N +SHSN VV009 M03/M04 Q1007 R34L/190060 NOSIG RMK QFE752/1003=

При этом ветер был слабый (2-4 м/с), северного направления, несколько раз отмечался сдвиг ветра, высота нижней границы облачности находилась на уровне 400-500 м, степень покрытия неба 5-8 октантов. При этом наблюдалась сплошная кучево-дождевая облачность.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что, в большинстве случаев, низкие значения дальности видимости наблюдаются при таких явлениях, как туман, ливневый снег и низовая метель. Низовая метель и ливневый снег, как правило, наблюдаются при прохождении теплого фронта и фронта окклюзии. Как показал анализ, низовая метель сопровождается выпадением осадков - ливневым снегом. Туман (в том числе замерзающий) может образовываться при многих синоптических обстановках, но с соблюдением благоприятных условий для развития. Чаще всего он наблюдается при прохождении теплого атмосферного фронта, в малоградиентном поле повышенного давления, а также в зоне действия антициклона. Летом число случаев низкой видимости на аэродроме преобладает. Происходит это за счет теплых влажных морских воздушных масс, которые подступают к берегам Камчатки, соответственно, образуя туман в районе аэродрома.

Список литературы

1. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. – М.: ФГБУ «Гидрометцентр России». – 2019. – С. 66;
2. Meteoinfo.ru [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://meteoinfo.ru/news/1-2009-10-01-09-03-06/4882-23032012-1-r->, свободный;
3. Ogimet.com [Электронный ресурс] – Режим доступа: *Ogimet home page*, свободный. <https://ogimet.com/index.phtml.en>

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ НИЗКОЙ ОБЛАЧНОСТИ В АЭРОПОРТУ ГОРОДА ВОЛОГДА

Валиулова А.А., Канухина А.Ю.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
asia.close988@gmail.com

Аннотация. В данной статье представлен анализ синоптических процессов, приводящих к образованию низкой облачности в районе аэропорта города Вологды в период с 2020 по 2025 год. Были выявлены временные закономерности появления низкой облачности, исследованы сопутствующие метеорологические условия и проведена типизация синоптических процессов. Выявлено влияние термических, синоптических и орографических факторов на формирование низкой облачности.

Ключевые слова. Низкая облачность, Вологда, синоптические процессы, повторяемость.

CONDITIONS OF LOW CLOUD CEILING FORMATION AT AIRPORT “VOLOGDA”

Valiulova A.A., Kanukhina A.Y.

Russian State Hydrometeorological University (RSU), St.Petersburg

Annotation. The article presents an analysis of the synoptic processes leading to the formation of low clouds at the Vologda airport area in the period from 2020 to 2025. Temporal patterns of low cloud cover have been identified, corresponding meteorological conditions have been investigated and synoptic processes have been typified. The influence of thermal, synoptic and orographic factors on the formation of low clouds has been revealed.

Keywords. Low clouds, Vologda, synoptic processes, repeatability.

Наличие низкой облачности, высота ее нижней границы являются, наряду с горизонтальной видимостью в атмосфере, наиболее важными характеристиками погоды, ограничивающими регулярное функционирование авиации. Особенно велико влияние облачности на осуществление взлета и посадки воздушных судов. Взлет производится визуально при обязательном сохранении прямолинейности разбега и соблюдении мер безопасности. В отсутствие условий для визуального взлета воздушное судно должно быть оборудовано аппаратурой, которая позволяла бы видеть ВПП, закрытую облачностью, туманом или сильными осадками. Еще большее влияние низкая облачность оказывает на посадку воздушных судов. Посадка в сложных метеорологических условиях является наиболее трудным участком полета [3]. Многие летные происшествия случаются при посадке в условиях плохой видимости и низкой облачности. Поэтому к точности прогноза наличия низкой облачности, предъявляются высокие требования.

Целью данной работы является типизация синоптических процессов, приводящих к образованию низкой облачности в районе аэропорта города Вологды. Для достижения

этой цели были поставлены такие задачи, как выявление временных закономерностей появления низкой облачности, исследование метеорологических условий, сопутствующих образованию облачности, и типизация синоптических процессов, приводящих к образованию низкой облачности.

Умеренно-континентальный климат, которым характеризуется Вологодская область, проявляется в коротком, теплом, но влажном лете, продолжительной и дождливой осени, длительной многоснежной холодной зиме и короткой весне. В течение целого года область подвержена перемещению циклонов арктического фронта. Зачастую порывы тропического или арктического воздуха приводят к аномальным изменениям температуры за сезон и погоды в целом. Холмистость района также вызывает перераспределения влаги и тепла в зависимости от высоты и крутизны склона.

Рельеф области напрямую связан с её ледниковой историей. Начиная с востока, наблюдаются волнистые и увалистые моренные равнины, подверженные тогда водными потоками, к западу свежие формы рельефа валдайских оледенений. Вся территория представляет собой большое количество незначительных низменностей и возвышенностей. Преобладает холмистый характер рельефа.

У города Вологда имеется 3 аэропорта, один из них «Вологда». Лётное поле аэропорта «Вологда» имеет форму неправильного многоугольника с наибольшими размерами 2140x300 метров. На аэродроме имеется искусственная взлётно-посадочная полоса размером 1501x42 метров, класса "В" с искусственным покрытием. Установленные магнитные курсы посадки 150 и 330 градусов. Превышение аэродрома + 118,37 м. Светосигнальное оборудование: для обеспечения полётов ВС ГА с МКп=150° и МКп=230° оборудована комплексом светосигнального оборудования ОМИ М-2 (системой визуальной индикации глиссады PAPI).

Исходными данными для исследования послужили метеорологические наблюдения, проводившиеся каждые три часа на метеорологической станции Вологда (аэропорт) в период с 2020 по 2025 год. Всего было проанализировано 523 случая образования низкой облачности с высотой нижней границы 300 метров и менее [5].

Основным видом низкой облачности в районе аэропорта Вологды являются слоистые туманообразные (St neb.), разорванно-слоистые (St fr.) и слоисто-кучевые (Sc). Часто слоистые туманообразные облака наблюдаются в сочетании с разорванно-слоистыми. Нередко наблюдаются осадки в виде снега или дождя со снегом (206 случаев). Также отмечается морось (114 случаев). В отдельные дни отмечаются туман/замерзающий туман/сильная мгла (31 случай) и снежная низовая метель (13 случаев).

Повторяемость низкой облачности в аэропорту «Вологда» имеет четко выраженный годовой ход с максимумом в январе (20,5% от общего числа рассмотренных случаев) и минимумом в июне (менее 1% от общего числа рассмотренных случаев). Столь значительная повторяемость низкой облачности в холодное полугодие обусловлена взаимосвязанным влиянием термических, синоптических и орографических факторов [1].

Во-первых, в результате интенсивного радиационного выхолаживания земной поверхности в ночные и утренние часы формируются приземные инверсии температуры, которые препятствуют вертикальному перемешиванию воздуха и способствуют конденсации водяного пара у земли, приводя к образованию низкой облачности.

Во-вторых, в холодный период наблюдается более частая циклоническая активность, приносящая с собой атмосферные фронты и зоны повышенной облачности (многослойность и большая плотность облаков). Преобладание адвекции холодного воздуха над относительно более теплой поверхностью также способствует образованию тумана и низкой облачности.

В-третьих, орографические особенности создают благоприятные условия для образования низкой облачности в районе аэропорта Вологды. Холмистый рельеф приводит к перераспределению влаги и тепла. Холмы и низменности могут создавать микроклиматические зоны, где происходит аккумуляция холодного воздуха в низинах. Это, в свою очередь, способствует образованию приземных инверсий, препятствующих вертикальному перемешиванию воздуха и способствующих конденсации влаги у земли. Преобладание небольших низменностей и возвышенностей усиливает вышеупомянутый эффект. Низменности служат ловушками для холодного и влажного воздуха, а возвышенности могут влиять на ветровой режим.

Анализ повторяемости низких облаков показывает, что в большинстве случаев низкая облачность наблюдается в утренние часы, а рассеивание происходит преимущественно с 12 до 21 часов (Табл. 1). Обобщим выводы для каждого времени года и возможные причины разброса значений.

Зима (январь). Пик повторяемости низкой облачности приходится на утро (6:00-9:00). Преобладают устойчивые инверсии, длительное выхолаживание, короткий световой день.

Весна (апрель). Суточный ход выражен слабо. Отметим увеличение поступления солнечной радиации и случаев развития конвекции. Колебания температуры и влажности в течение суток менее выражены.

Лето (июль). Низкая облачность наблюдается редко, но пик приходится на утренние часы.

Осень (октябрь). Появляется утренний пик (6:00-9:00), как и зимой, но выражен слабее. Постепенное увеличение повторяемости в течение дня.

В районе аэропорта «Вологда» низкая облачность в разные года наблюдается при разных направлениях ветра. Однако, чаще всего при ветрах южной четверти (Ю, ЮЗ, ЮВ). Скорость ветра, как правило, невелика и составляет около 4-5 м/с.

Таблица 1 – Повторяемость облаков с ВНГО ≤300 м в различные часы суток

Время	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0	11	1	6	4	3	1	7	0	5	4	12	4
3	13	2	7	6	3	1	2	0	9	5	11	4
6	15	11	7	5	3	2	4	6	10	10	7	7
9	24	9	4	7	0	0	5	6	8	12	11	11
12	9	8	1	6	2	0	1	1	4	5	12	10
15	14	7	2	3	0	0	0	1	4	6	11	7
18	12	8	2	5	0	0	0	3	6	6	15	5
21	9	2	7	5	1	1	2	4	4	2	7	4

При развитии низкой облачности в дневные часы дефицит точки росы у Земли (D_3) чаще всего колеблется в пределах от 0 до 2°C. В случаях, когда D_3 не менее 3°C, низкая облачность наблюдается редко (Табл. 2).

Таблица 2 – Повторяемость значений дефицита точки росы у поверхности Земли при наличии низкой облачности.

$D_3, ^\circ\text{C}$	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0-2	98	42	33	38	11	4	14	20	46	43	85	50
$2 < D_3 \leq 3$	9	6	1	3	0	0	1	0	2	3	0	2
$3 < D_3 \leq 4$	0	0	1	0	0	1	0	0	2	3	0	0
>4	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0

При исследовании синоптических процессов, способствующих появлению низкой облачности, рассматривался период с января по февраль 2025 года, когда наблюдалась низкая облачность. Основываясь на данных, можно сказать, что в январе и феврале 2025 года в районе Вологды преобладали условия, благоприятствующие образованию низкой облачности: высокая влажность, малый дефицит точки росы, осадки в различных формах и умеренный ветер [2].

Рассмотрим синоптическую ситуацию 29 января 2025 года. В этот день температура воздуха составляла 1...3 С, ветер юго-восточной со скоростью 2 м/с, наблюдались слоистые туманообразные облако с ВНГО 200 м, местами туман/ледяной туман. На синоптической карте за 00:00 UTC (рис. 1) видно, что теплый фронт, вызванный двухцентральной депрессией, проходит над Вологдой. Облака покрывали более половины неба, наблюдался слабый непрерывный снег и диаметр отложения при гололеде составлял 4 мм.

К 12:00 UTC депрессия развилась и стала трехцентральной, а теплый фронт немного сдвинулся в северо-восточном направлении. На спутниковом снимке, сделанном в ИК-канале, за 22:31 по МСК (рис. 2), прослеживается обширная зона облачности над европейской частью России с более плотной облачностью в районе фронта.

Проведенный анализ позволил выявить ключевые факторы, определяющие условия образования низкой облачности в районе аэропорта «Вологда», за период с 2020-2025 гг. Анализ метеорологических данных и синоптических ситуаций подтвердил решающее влияние термических, синоптических и орографических факторов на формирование низкой облачности, которая, согласно полученным данным, чаще всего представлена слоистой и слоисто-кучевой формами.

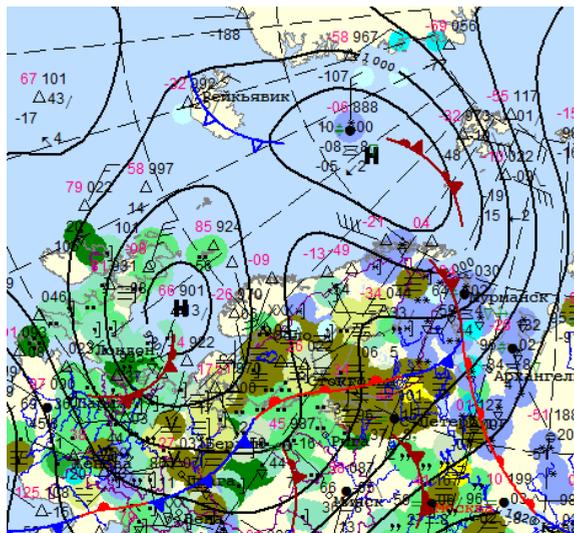


Рисунок 1 – Синоптическая карта за 29.01.2025 00 UTC

Установлено, что повторяемость низкой облачности имеет четко выраженный годовой ход с максимумом в январе и минимумом в июне, что объясняется сезонными изменениями в радиационном балансе, циклонической активностью, колебаниями влажности воздуха и развитием конвективных процессов. В холодное полугодие, преобладание приземных инверсий, связанное с интенсивным радиационным

выхолаживанием, является одним из основных факторов, способствующих образованию низкой облачности.

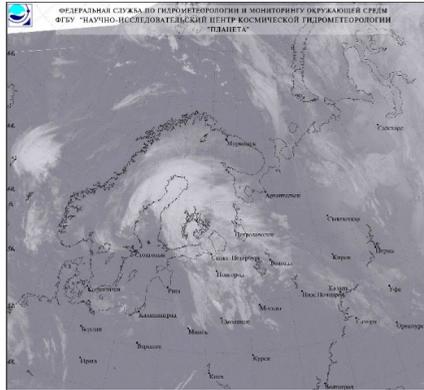


Рисунок 2 – Спутниковый снимок (ИК) за 22:31 по МСК

В случаях прохождения теплого фронта, восходящее скольжение теплого, влажного воздуха по поверхности холодного воздуха перед фронтом, а также насыщение воздуха водяным паром, создают благоприятные условия для конденсации и формирования слоистой облачности, что подтверждается конкретным примером, описанным в данной работе.

Список литературы

1. *Матвеев Л.Т.* Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Издание второе, переработанное дополненное. Гидрометеоиздат, Ленинград 1984г., - 751с
2. *Богаткин О.Г.* Информационно-справочная книга авиационного метеоролога. – Санкт-Петербург: 2010 –220 с.
3. *Шакина Н.П., Иванова А.Р.* Прогнозирование метеорологических условий для авиации. – М.: Триада лтд, 2016. – 312 с.
4. Сайт ФГБУ «Гидрометцентр России» – (Электронный ресурс). – URL: <https://meteoinfo.ru/>
5. Сайт «rp5» – (Электронный ресурс). – URL: <https://rp5.ru/>

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СИЛЬНЫХ ОСАДКОВ В ИСПАНИИ ОСЕНЬЮ 2024 ГОДА

Суслина Е.Я.¹, Иванова И.А.¹, Топтунова О.Н.^{1,2}

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
suslinaeliza10@mail.ru ira.nova@mail.ru olgakolp@yandex.ru

Аннотация. В работе проведён анализ синоптических условий, сложившихся в регионе Средиземного моря и Атлантики в конце октября – начале ноября 2024 г. Рассматривается циклонический вихрь, в средней и верхней тропосфере характеризующийся холодным ядром, располагавшийся над Испанией и ставший причиной разрушительных наводнений в октябре 2024 г.

Ключевые слова. Холодная капля, конвекция, сильные осадки, наводнения

ANALYSIS OF CONDITIONS FOR THE OCCURRENCE OF HEAVY PRECIPITATION IN SPAIN IN THE FALL OF 2024

Suslina E.Ya.¹, Ivanova I.A.¹, Toptunova O.N.^{1,2}

¹Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

²St. Petersburg State University, St. Petersburg

Annotation. The paper analyzes the synoptic conditions that developed in the Mediterranean and Atlantic regions in late October – early November 2024. It considers a cyclonic vortex characterized by a cold core in the middle and upper troposphere, located over Spain and causing devastating floods in October 2024.

Keywords. Cold drop, convection, Cut-Off, Cold-Core Cyclone, heavy rains, floods, gota fría.

В конце октября – начале ноября 2024 года на юго-востоке Испании произошли масштабные наводнения, вызванные проливными дождями. Это одно из самых смертоносных стихийных бедствий в истории Испании, с более чем 220 погибшими и тысячами пропавших без вести. Наводнения были вызваны явлением, известным как «холодная капля» (*gota fría*), которое привело к выпадению рекордного количества осадков. В некоторых районах за 8 часов выпало до 500 мм осадков, что эквивалентно годовому количеству. Испанское метеорологическое агентство (АЕМЕТ) объявило красный уровень тревоги в южных и восточных регионах страны [1].

На рисунке 1 приведён спутниковый снимок, совмещённый с радиолокационными данными [2]. На снимке тёмно-синим цветом показаны области с высокой интенсивностью осадков 29 октября в 08:00 UTC, которые в основном затронули Валенсию и её провинцию. Синие области указывают на то, что интенсивность осадков в регионе Валенсия превышала 50 мм/ч.

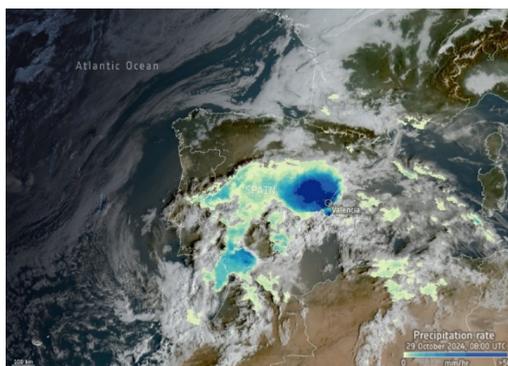


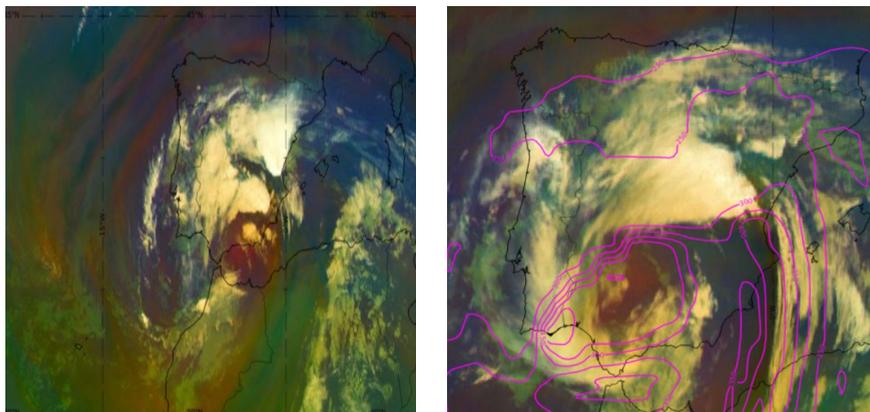
Рисунок 1 – Спутниковое изображение, совмещённое с радиолокационными данными [2]

На рисунке 2а представлен спутниковый продукт (Airmass MSG), который показывает (фиолетовый цвет) наличие холодного воздуха на больших высотах [3].

Циклоны с интенсивными осадками формируются в Испании ежегодно, этому способствует гористый рельеф территории, и близость теплого Средиземного моря. При этом, чем теплее море, тем сильнее шторма. Однако такая интенсивность даже для Испании стала уникальной. Причиной формирования столь сильных осадков послужил циклон «холодная капля», это явление связано с вторжением холодного воздуха в верхних слоях атмосферы, который взаимодействует с тёплым и влажным воздухом у поверхности, что приводит к интенсивной конвекции и сильным ливням. Это отсеченный циклон на высоких уровнях, или как его называют на испанском языке «DANA» [4].

На рисунке 2 б) изображение совмещено с изолиниями высоты тропопаузы (гПа) и видно, что особенностью этого циклона, в котором, при взаимодействии с

субтропическим струйным течением, образовалось высотное ядро холода можно назвать образование «складки тропопаузы». Это изолированное ядро холода послужило триггером для интенсивной конвекции. Отроги гор в регионе Валенсия сыграли ключевую роль в усилении осадков. Влажный воздух с Средиземного моря, поднимаясь по склонам, охлаждался, что приводило к конденсации и выпадению осадков. Этот процесс, известный как орографическое усиление, способствовал формированию локальных максимумов осадков в предгорных районах.



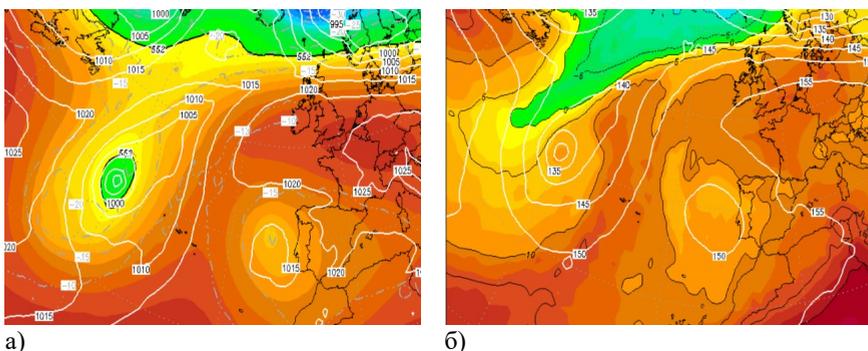
а) 29 октября 18:00 UTC

б) 30 октября 00:00 UTC

Рисунок 2 – Спутниковый продукт Airmass MSG [3]

Циклон был высоким, прослеживался до 200 гПа и малоподвижным. Поэтому неустойчивая погода влияла на один и тот же регион в течение нескольких дней.

В Атлантике в этот период наблюдалась необычная синоптическая ситуация. Интенсивная адвекция тепла, наблюдавшаяся в тёплом секторе малоподвижного циклона и адвекция холода в его тыловой части, привели к формированию разнонаправленных потоков и образованию существенных горизонтальных градиентов температуры. На рисунке 3 представлена синоптическая ситуация за 01 ноября 00:00 UTC.



а)

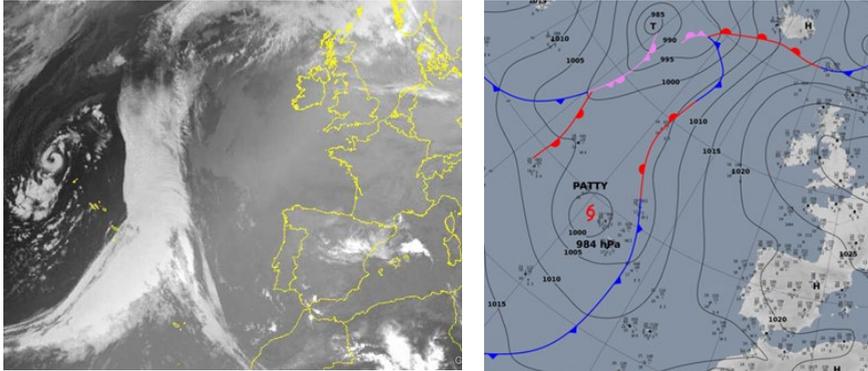
б)

Рисунок 3 – 01 ноября 00:00 UTC

а) Совмещённая карта давления на уровне моря (белые линии) и геопотенциала поверхности 500 гПа (цветные линии) б) Карта барической топографии поверхности 850 гПа (белые линии) и изотермы (цветное поле) [5]

Наводнения 2024 года стали частью тенденции увеличения частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений в Средиземноморье, что связано с изменением климата. Увеличение температуры поверхности Средиземного моря и Мирового океана, в целом, способствует накоплению тепловой энергии и более интенсивному испарению и, как следствие, увеличению влагосодержания в атмосфере.

В результате, в тыловой части Атлантического циклона образовался тропический циклон, в нетипичном месте для таких образований. На рисунке 4 приведён спутниковый снимок и приземная карта с фронтальным анализом.



а) Рисунок 4 – а) Спутниковый снимок за 8.30 UTC 02 ноября б) Приземная карта за 00 UTC 03 ноября [5]

Метеорологические условия, приведшие к наводнениям в Испании, были обусловлены сочетанием отсечённого циклона (ядра холода по высотам), орографического усиления и высокой влажности воздуха и высокой температуры поверхности моря.

Такие события подчеркивают необходимость улучшения систем мониторинга и прогнозирования экстремальных погодных явлений, особенно в условиях изменения климата.

Список литературы

1. user.eumetsat.int/s3/eup-strap-media/valencia_radar_373a942433.pdf
2. www.rmets.org/metmatters/cut-lows-cold-drops-and-dana
3. eumetrain.org
4. meteoinfo.ru/novosti/99-pogoda-v-mire/20601-silnye-livni-vyzvali-razrushitelnye-navodneniya-v-ispani
5. www.wetterzentrale.de/reanalysis.php?map

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ВЫСОТЫ ТРОПОПАУЗЫ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Волозина И.А., Войтенко У.В., Иванова И.А., Топтунова О.Н.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
irina.volozina26@gmail.com, uvoytenko_5@mail.ru, ira.nova@mail.ru, olgakolp@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследования средней высоты тропопаузы на территории Российской Федерации на основе анализа данных аэрологического зондирования за период с 01.06.1978г. по 31.12.2023г. Рассмотрен сезонный ход средней высоты тропопаузы, построены линейные тренды, оценена их значимость. Результаты исследования могут быть

использованы для оценки климатических изменений и являться дополнением статистических характеристик тропопаузы.

Ключевые слова. Тропопауза, средняя высота, климатические изменения, характеристики тропопаузы, аэрологические данные.

ASSESSMENT OF CHANGES IN TROPOPAUSE HEIGHT ON THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION

Volozina I.A., Voitenko U.V, Ivanova I.A., Toptunova O.N.
Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St. Petersburg

Annotation. The article presents the results of a study of the average tropopause height in the Russian Federation based on the analysis of aerological sounding data for the period from 01.06.1978 to 31.12.2023. The seasonal variation of the average tropopause height is considered, linear trends are constructed, and their significance is assessed. The results of the study can be used to assess climate change and complement the statistical characteristics of the tropopause.

Keywords. Tropopause, climate changes, tropopause characteristics, average height, aerological data.

Тропопауза представляет собой переходную зону между атмосферными слоями, границы которого часто не видны отчетливо. Поэтому тропопаузой обычно называют не переходный слой, а верхнюю границу тропосферы, которая согласно критерию Всемирной метеорологической организации (ВМО), определяется как уровень, на котором вертикальный градиент температуры убывает до $0,2 \text{ C}^\circ/100 \text{ м}$ или ниже и остается столь же низким по крайней мере в вышележащем слое толщиной 2 километра. Определяемая таким образом тропопауза по указанному критерию ВМО, называется термической тропопаузой. Довольно часто радиозондирование обнаруживает несколько уровней, удовлетворяющих данному критерию, в таких случаях говорят о множественности тропопауз [1].

Тропопауза является мощным задерживающим слоем, препятствующим вертикальному переносу аэрозолей и водяного пара. Точная информация о характеристиках тропопаузы и ее многолетних изменениях требуется для решения многих научных и прикладных проблем. В частности, тропопауза может служить хорошим индикатором изменений климатической системы. Прогноз высоты тропопаузы является обязательной частью оперативного метеорологического обеспечения авиации.

Исследование изменения высоты тропопаузы является актуальной задачей.

Для работы были использованы данные, находящиеся в открытом доступе на сайте ФГБУ “ВНИИГМИ-МЦД” [2].

Массив статистических характеристик тропопаузы получен по данным наблюдений на 12 аэрологических станций ГСНК на территории РФ за период 01.06.1978 по 31.12.2023. Для расчета характеристик тропопаузы использовались данные массива АЭРОСТАС, который включает текущие данные радиозондовых наблюдений, собираемые в ФГБУ “ВНИИГМИ-МЦД” по глобальной сети станций. При определении характеристик тропосферы проводилась проверка соответствия данных на уровне тропопаузы критерию ВМО, согласно которому тропопауза и её характер определяются по значениям и изменению вертикального градиента температуры. Границей, разделяющей полярную и тропическую тропопаузы, была принята высота 14 км. Все случаи с высотой нижней границы тропопаузы до 14 км относились к полярной тропопаузе, 14 км и выше – к тропической. Расчеты проводились с использованием профессионального статистического пакета SAS [2].

Для работы были отобраны следующие характеристики высоты тропопаузы за каждый месяц каждого года за период 06.1978-12.2023: среднее значение, стандартное

отклонение (СКО). Нужно отметить, что не на всех станциях имеются полные массивы, отмечаются пропуски данных. Станция Омск (28695) имеет ряд данных только с 2019 г., и была исключена из дальнейшего анализа.

Таким образом, был сформирован массив данных для анализа высоты тропопаузы на станциях аэрологического зондирования Архангельск (22543), Абакан-Хакасская (29862), Ивдель (23921), Киренск (30230), Нижний Новгород (27459), Охотск (31088), Оренбург (35121), Остров Диксон (20674), Петропавловск-Камчатский (32540), Туруханск (23472), Верхоянск (24366).

Приведём основные этапы работы и полученные выводы.

Для каждой станции была сформирована таблица с характеристиками высоты тропопаузы в каждом месяце по календарным сезонам года (зимние, весенние, летние и осенние месяцы). Построены графики хода средней высоты тропопаузы с определением тренда (линейный) и оценкой на значимость по F-статистике Фишера.

В таблице 1 представлен фрагмент сформированной таблицы для станции Нижний Новгород.

Таблица 1 (фрагмент) - Нижний Новгород. Средняя высота тропопаузы и СКО в зимние месяцы

Год	Декабрь		Январь		Февраль	
	Высота	СКО	Высота	СКО	Высота	СКО
1979	9,24	1,08	10,68	0,96	9,6	1,2
1980	10,44	1,56	10,2	1,08	10,8	0,72
1981	10,08	0,84	10,68	0,96	10,2	0,96
1982	10,56	1,32	9,96	1,32	9,84	0,96
1983	10,08	1,32	9,6	1,2	9,72	1,08
1984	10,2	1,44	9,72	1,2	10,68	0,84
1985	10,32	1,2	10,32	0,96	9,48	0,6
1986	9,84	1,32	9,72	0,84	9,6	1,2

На рисунке 1 в графическом виде представлен ход высоты тропопаузы и линейный тренд для февраля.

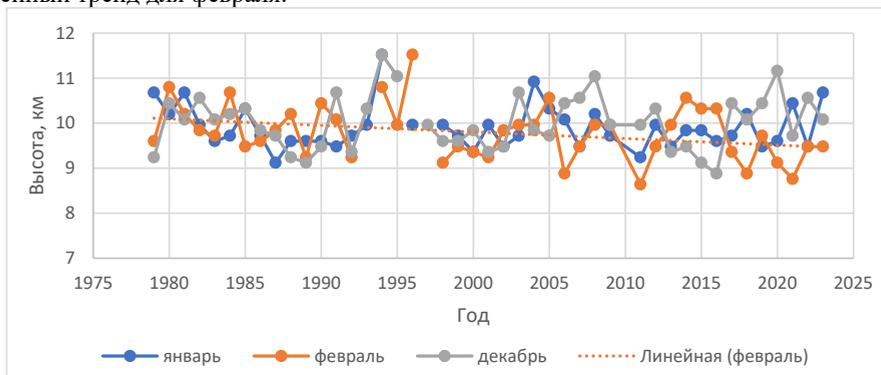


Рисунок 1 – Нижний Новгород. Средняя высота тропопаузы и линейный тренд (февраль)

Из анализа данных, представленных в полной таблице 1 можно сделать вывод, что на станции Нижний Новгород средняя высота тропопаузы в зимние месяцы менялась значительно - от 8,8 км до 11,5 км, СКО в среднем, составляет 1 км. Линейный тренд

наиболее выражен в феврале: наблюдается снижение средней высоты тропопаузы. Тренд незначимый.

В весенние месяцы средняя высота тропопаузы составляла в марте 8,5-10,5 км, в апреле и в мае 9,1-11,3 км, СКО в среднем, 1 км, наибольшие значения в марте. Линейный тренд не выявил тенденции к изменению средней высоты.

В летние месяцы средняя высота тропопаузы находилась, в основном в интервале 10-12 км, СКО чаще до 1 км. Линейные тренды незначимы, существенных изменений в последние годы не отмечено.

В сентябре и в октябре средняя высота тропопаузы составляла 10-11 км, в ноябре 9,5-10,5 км, СКО около 1 км, наибольшие значения отмечены в октябре. Линейные тренды не определили тенденции к изменению за исследуемый период.

Аналогичный анализ был проведён по всем станциям.

На станции Остров Диксон в зимние и весенние месяцы средняя высота тропопаузы составляла 7,5-9,5 км. Наблюдается тренд на повышение в последние годы. Значимый в декабре. Наибольших значений (9,5-10,5 км) средняя высота тропопаузы достигает в июле и в августе, в последние годы наблюдается тренд на повышение. Значимый тренд наблюдается в мае, представлен на рисунке 2. В сентябре средняя высота тропопаузы 9,5-10 км, в октябре и ноябре 8,5-9,5 км. Отмечается тренд на повышение, незначимый.

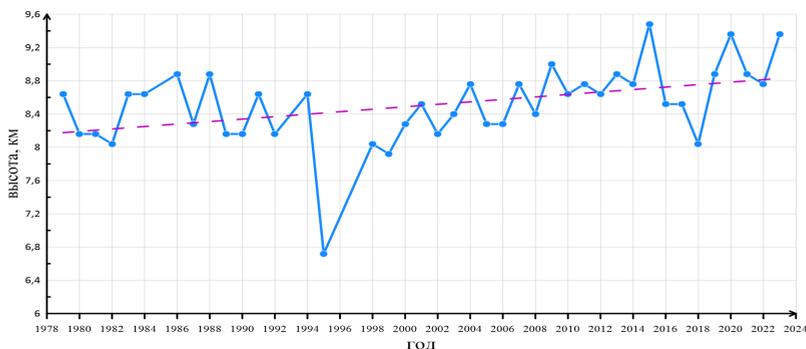


Рисунок 2 – Остров Диксон. Средняя высота тропопаузы в мае и линейный тренд

На станции Туруханск в зимние и весенние месяцы средняя высота тропопаузы составляет 8,5-9,5 км, наблюдается тренд на снижение, незначимый. Максимальных значений средняя высота тропопаузы достигает в июле и в августе (10,5-11,5 км), наблюдается тренд на снижение, незначимый. В сентябре значения близки к летним, в октябре и ноябре наблюдается снижение средней высоты до 8,5-9,5 км. Линейный тренд на снижение за исследуемый период, незначимый.

В Верхоянске зимой и в начале весны средняя высота тропопаузы 8-9 км, наблюдается незначимый тренд на повышение. В конце весны высота тропопаузы повышается и достигает максимальных значений (10,5-11,0 км) в августе. В эти месяцы также, незначимый тренд на повышение. С сентября наблюдается снижение высоты до значений 8,5-9,5 км в ноябре, отмечается значимый тренд на повышение в октябре.

На станции Петропавловск-Камчатский средняя высота тропопаузы в зимние месяцы составляла 8-9 км. Тренд не определяется. Весной высота тропопаузы постепенно повышалась до 9-10 км в мае, отмечается незначимый тренд на повышение. Максимальных значений (10,5-11,5 км) высота тропопаузы достигает к июлю и августу.

В июне отмечается значимый тренд на повышение. В сентябре значения близки к летним, затем идёт постепенное снижение и в ноябре средняя высота тропопаузы составляет 8,5-9,5 км. Значимый тренд на повышение в сентябре.

В Оренбурге зимой и в начале весны средняя высота тропопаузы составляет 9,5-10,5 км. Значимый тренд на повышение в январе. В конце весны заметно повышение средних значений, который достигают максимума летом (10,5-11,5 км). Значимый тренд на повышение в августе. Осенью средняя высота тропопаузы понижается и в ноябре составляет 10-11 км, незначимый тренд на повышение в октябре.

Для Архангельска средние значения высоты тропопаузы зимой и весной находятся в пределах 9-10 км, тренды не определяются. В летние месяцы наблюдаются максимальные значения за год (10-11 км), незначимый тренд на повышение в августе. К ноябрю высота тропопаузы снижается до 9,5-10 км, значимый тренд на повышение в сентябре.

В Абакане зимой высота тропопаузы, в среднем 9,5-10 км, тренд на снижение в январе, незначимый. К маю тропопауза повышается примерно на 0,5 км, летом достигает максимума, в августе 11 км, линейные тренды не определяются. Осенью средняя высота тропопаузы составляет 10,5-11 км, тренды не выделены.

В Ивделе в зимние месяцы тропопауза находится в среднем, на высоте 9,5-10 км, незначимый тренд на повышение в январе. Весной тропопауза незначительно повышается, достигает максимума в летние месяцы (10,5-11,5 км), осень понижается и в ноябре составляет 9,5-10,5 км, тренды незначимы.

На станции Киренск зимой и в начале весны тропопауза на высоте 8,5-9,5 км, наблюдается незначимый тренд на повышение в январе. В конце весны средняя высота тропопаузы составляет 9,5-10,0 км, тренды не значимы. Летом тропопауза поднимается до высоты 10,5-11,5 км, незначимый тренд на повышение в июле. В сентябре отмечаются высокие значения тропопаузы, далее идёт снижение, в ноябре средняя высота тропопаузы составляет 9,0-9,5 км, тренды незначимы.

В Охотске зимой тропопауза на уровне 8-9 км, тренды незначимы. Весной средняя высота тропопаузы повышается и достигает в мае 9,5-10,5 км, в этом месяце отмечается значимый тренд на повышение. Максимум летом (11,5-12,0 км), значимый тренд на повышение в июле. Осенью высота тропопаузы понижается и составляет, в среднем, 8-9 км в ноябре, тренд на повышение значимый в октябре.

Таким образом, на всех рассматриваемых станциях прослеживается выраженный годовой ход средней высоты тропопаузы с минимумом в зимний период и максимумом в летний. Минимальные средние значения отмечены на станции Остров Диксон.

На 5 % уровне значимости по F-статистике Фишера значимые тренды на повышение наблюдаются в Охотске (май, июль, октябрь), в Петропавловске-Камчатском (июнь, сентябрь), в Верхоянске (октябрь), на Острове Диксон (декабрь, май), в Оренбурге (январь, август), в Архангельске (сентябрь).

Список литературы

1. Козлова А.Ф., Стерин А.М. Исследование многолетней изменчивости параметров тропопаузы над территорией РФ по радиозондовым данным.- Труды ВНИИГМИ МЦД, выпуск 191, Обнинск, 2023.
2. <http://meteo.ru/data/tropopause/>

СТУДЕНЧЕСКАЯ СЕКЦИЯ 2

ПЕРВЫЕ ШАГИ В НАУКЕ

ХАРАКТЕРИСТИКА ХОЛОДНЫХ СЕЗОНОВ ГОРОДА ЧЕРЕПОВЦА ВОЛОГДСКОЙ ОБЛАСТИ

Ламанов П.Д.

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

Аннотация. В статье представлены результаты наблюдений зимних климатических характеристик для города Череповца Вологодской области за период с 2015 г. по 2023 г. Дана их сравнительная характеристика с учетом официальных данных.

Ключевые слова. Климат, погода, анализ, мониторинг, температура, расчет, региональные изменения.

CHARACTERISTICS OF COLD SEASONS OF THE CITY OF CHEREPTSAV IN THE VOLOGDA REGION

Lamanov P.D.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St. Petersburg

Annotation. The article presents the results of observations of winter climatic characteristics for the city of Cherepovets, Vologda region for the period from 2015 to 2023. Their comparative characteristics are given taking into account official data.

Key words. Climate, weather, analysis, monitoring, temperature, calculation, regional changes.

Проблема, связанная с климатическими изменениями и их последствиями, является одной из важных и наиболее рассматриваемых в современной науке. Её актуальность связана с климатическими изменениями, которые наблюдаются в различных регионах мира. Кроме того, значимость изучения и прогнозирования климатических изменений регламентируется и нормативных документах Российской Федерации: в Климатической доктрине Российской Федерации (2009) [4], в Стратегическом прогнозе изменений климата Российской Федерации на период 2010-2015 гг. и их влияния на отрасли экономики России [6] и в «Стратегии экологической безопасности России до 2025 г.» [7] подчеркнута важность анализа причин, последствий и прогнозных сценариев глобальных изменений климата как на планетарном, так и на региональном уровнях.

Климат является одним из ключевых факторов, определяющих условия жизни и деятельности человека. Он влияет на множество аспектов, включая сельское хозяйство, туризм, здоровье населения и даже экономическое развитие региона. В этом контексте особое внимание заслуживает изучение климатических характеристик холодных сезонов, которые играют важную роль в жизни городов и населенных пунктов.

Данная работа посвящена анализу характеристик холодных сезонов в Череповце, с акцентом на период с поздней осени (конец октября) по конец февраля (начало марта), когда наблюдаются наиболее низкие значения температуры воздуха.

Актуальность исследования климатических особенностей города Череповца Вологодской области обусловлена не только его географическим положением, но и

значением, которое холодные сезоны имеют для местного населения и экономики региона. В условиях глобальных климатических изменений, понимание местных климатических условий становится особенно важным для планирования различных видов деятельности.

Климат Череповца формируется под влиянием множества факторов, таких как географическое расположение, рельеф и воздействие близлежащих водоемов. Город располагается в умеренно-континентальной климатической зоне, что определяет ярко выраженные сезонные изменения. Географические особенности Череповца также оказывают значительное влияние на его развитие. Город располагается на северо-восточных склонах Валдайской возвышенности, что оказывает значительное влияние на его климатические условия. Череповец находится на высоте приблизительно 120 метров над уровнем моря, что также сказывается на его климате. Регион, в котором находится город, обладает умеренно континентальным климатом, отличающимся холодными зимами и теплыми летами. Средняя температура в январе составляет приблизительно $-10,0^{\circ}\text{C}$, тогда как в июле она может достигать $+20,0^{\circ}\text{C}$. Осадки выпадают в течение всего года относительно равномерно, в зимний период – это снег, снежная крупа, реже – дождь и ледяной дождь [1, 5].

Климатические исследования демонстрируют, что погода в Череповце отличается значительным разнообразием. Высокая влажность, в сочетании с изменчивыми температурными режимами в зимний и летний периоды, создает многообразие природных процессов и усложняет метеорологический анализ данного региона. Особенность зимнего сезона заключается в том, что зима в Череповце довольно продолжительна, обычно начинается в конце октября – ноября и длится до конца марта, а иногда и до середины апреля. Практически всю зиму город покрыт снегом, который лежит достаточно долго и образует устойчивый снежный покров. Зимой воздух в Череповце обычно сухой, что может создавать дополнительный дискомфорт при сильных морозах. Нередки сильные ветра, особенно на открытых участках и на берегу реки Шексны, а также со стороны рыбинского водохранилища, что делает погоду ещё более суровой. Кроме того, зимой световой день очень короткий, что может влиять на настроение и самочувствие, так же немаловажно то, что в Череповце холодный сезон представляет собой время, когда жизнедеятельность региона наиболее зависит от транспортных процессов и состояния здоровья населения [2, 3].

В рамках данной работы рассмотрены несколько ключевых аспектов, касающихся холодных сезонов в Череповце на основе собственных наблюдений и официальных данных метеонаблюдений Гидрометцентра Российской Федерации.

По официальным данным Гидрометцентра Российской Федерации и по Вологодской области холодные сезоны в Череповце включают в себя позднюю осень и зиму, которые характеризуются низкими температурами, обильными осадками и значительным воздействием северных атмосферных процессов. Эти сезоны охватывают период с октября по март, при этом зимний период занимает наибольшую часть этого времени, начиная с конца октября, ноября и заканчивая концом марта, началом апреля.

Поздняя осень, как правило, отмечается резким снижением температуры, что связано с переходом от теплого к холодному сезону. Средняя температура октября составляет около $5,0 - 7,0^{\circ}\text{C}$, однако к концу месяца наблюдается ощутимое похолодание, когда температура опускается до $0,0 - 3,0^{\circ}\text{C}$. Ноябрь становится переходным месяцем: средняя температура часто колеблется от $-3,0^{\circ}\text{C}$ до $0,0^{\circ}\text{C}$, при этом ночные заморозки становятся обычным явлением. Осадки в виде дождя чаще сменяются снегом, а количество солнечных часов уменьшается. Влажность воздуха в позднюю осень может достигать 85 – 90%, что значительно усиливает ощущение холода.

Зимний период в Череповце, начиная с декабря, становится наиболее холодным временем года. Средняя температура декабря колеблется от $-7,0^{\circ}\text{C}$ до $-10,0^{\circ}\text{C}$, а январь, в свою очередь, является самым морозным месяцем, характеризующимся средней температурой около $-12,0^{\circ}\text{C}$ до $-15,0^{\circ}\text{C}$. В это время года наиболее часто фиксируются сильные морозы, когда дневные температуры могут опускаться ниже $-25,0^{\circ}\text{C}$ и с пиковыми минимумами до $-30,0^{\circ}\text{C}$ и ниже в январе.

Январь и февраль, несмотря на низкие температуры, могут быть периодами с ясной погодой, что способствует образованию инверсий и ухудшению качества воздуха. Февраль, как правило, немного теплее января, средние температуры поднимаются до $-10,0^{\circ}\text{C}$. Однако продолжительность снежного покрова в течение всех зимних месяцев может достигать 150-180 дней, что создает условия для активных зимних видов спорта и отдыха.

Зимний период в Череповце характеризуется особыми условиями, влияющими на уровень загрязнения воздуха. Низкие температуры и атмосферные явления формируют предпосылки для ухудшения качества воздуха. Одним из ключевых факторов, способствующих росту загрязнения, является инверсия температурного режима, которая часто является характерной для зимних месяцев.

Температурная инверсия возникает, когда теплый воздух задерживается на уровне нижних слоев атмосферы, а холодный – остается на поверхности земли. Это приводит к ограничению вертикального перемешивания атмосферы, создавая условия для накопления загрязняющих веществ. Данная ситуация особенно неблагоприятна для нашего промышленного города, где концентрация выбросов от промышленных предприятий и транспортных средств значительно выше, чем на территории сельских районов. В холодный период года увеличивается использование отопительных систем, что приводит к повышенным выбросам от котельных отопления. Сильные морозы также приводят к увеличению времени, в течение которого воздух остается загрязненным. В условиях низкой температуры скорость распада загрязняющих веществ остается низкой, что создает дорогостоящую проблему для местных органов власти, отвечающих за состояние экологической ситуации в городе. Воздействие низких температур приводит к тому, что смог может длительное время удерживаться в городе, создавая условия для потенциальной угрозы здоровью населения.

В дополнение к проблемам со здоровьем, загрязнение воздуха зимой также негативно влияет на экологическую ситуацию в регионе. Увеличение концентрации вредных веществ приводит к ухудшению состояния растительного покрова и экосистемы в целом.

Дорожная ситуация также страдает от плохих условий видимости, что является следствием смога и зимних осадков. Ухудшение видимости увеличивает вероятность дорожно-транспортных происшествий, создавая дополнительные проблемы для жителей города. Для смягчения ситуации необходимо более активное управление выбросами, оптимизация транспортных маршрутов и внедрение технологий, способствующих снижению загрязнения в зимние месяцы.

Осадки зимнего сезона, как правило, проявляются в виде снега, который может образовывать устойчивый слой толщиной до 50 см. В соответствии с метеорологическими данными, наибольшее количество осадков фиксируется в декабре и январе. Ветер в холодные сезоны часто усиливается, особенно во время вторжений арктических масс, что усиливает атмосферное охлаждение. Западные и юго-западные ветра могут приносить более теплый воздух, что приводит к колебаниям атмосферного давления и перемещениям фронтов [2, 3].

По результатам наблюдений среднегодовая температура в Череповце за период с 2015 по 2023 годы составила $-3,2^{\circ}\text{C}$, среднее отклонение за этот период составляют

4,6°C. Зимние месяцы характеризуются средними температурами в пределах -0,4°C до -12,0°C. Самыми холодными месяцами за рассматриваемый период были январь 2016 г., февраль и декабрь, 2021 г., средняя температура составила -15,0°C. Самыми теплыми были за этот период – декабрь 2019 г. – февраль 2020 г., температура в эти месяцы не опускалась ниже -5,0°C и именно в этот же период не сформировался устойчивый снежный покров. В данный период не наблюдалось сильно холодных зим с пиковыми понижениями температуры, при этом стоит отметить, что период декабрь 2023 г. – январь 2024 г. был с пиковыми понижениями температур до -33,0°C и в этот же период был сформирован устойчивый снежный покров.

Количество осадков в холодное время года также значительно варьируется. Основная часть зимних осадков выпадает в виде снега. В среднем по официальным данным Череповец получает около 120-160 мм, как правило, самым снежным является январь [2, 3].

По результатам наблюдений за осадками в Череповце за период с 2015 по 2023 годы можно выделить следующие особенности: самый снежный месяц январь, в среднем количество снежных дней в месяц составляет от 9 до 20 дней. В 2016 году высота снежного покрова преобладала по количеству осадков, и именно этот год по наблюдениям был из категории наиболее холодных.

На особенности климата города Череповца в зимний период оказывает влияние промышленная зона, что весьма ощутимо влияет на микроклимат города Череповца. Загазованность усиливает «парниковый» эффект. Температура воздуха в дневное время в городе выше, чем в пригородах, зимой эти контрасты могут достигать 10 и более градусов.

Исследование холодных сезонов в городе Череповце Вологодской области подтвердило, что зимний период характеризуется значительными колебаниями температур и уровнем осадков. Эти климатические условия оказывают важное влияние на жизнь населения и функционирование городской инфраструктуры. Важно учитывать эти данные для разработки рекомендаций по улучшению системы зимнего содержания дорог, планированию городской инфраструктуры и повышению устойчивости к изменениям климата.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение воздействия холодных сезонов на здоровье населения и адаптационные стратегии, необходимые для обеспечения безопасности и комфорта жителей в условиях суровых зим.

В целом, климат Череповца зависит не только от сезонных изменений, но и от изменений атмосферного давления и перемещения воздушных масс. Зимние холода, скорее всего, находятся под влиянием арктических фронтов. Такой мультифакторный характер климатических условий формирует особенности жизни городского населения, определяет характер промышленных и сельскохозяйственных процессов в регионе.

Список литературы

1. Воробьев Г.А., Гаркуша В.И., Семенов Д.Ф., Уханов В.П., Шевелев Н.Н., Шестакова Л.Г. Природа родного края: очерки природы Череповецкого района. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.booksite.ru/fulltext/2ch/ere/pov/ets/30.htm> (дата обращения: 24.12.2024).
2. Гидрометцентр России. Климатические данные по регионам страны. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.meteorf.ru> (дата обращения: 30.12.2024).
3. Гидрометцентр Вологодской области. [Электронный ресурс]. URL: <http://vcgms.ru/> (дата обращения: 30.12.2024).
4. Климатическая доктрина Российской Федерации. Распоряжение Президента Российской Федерации от 17.12.2009 г. № 861-рп. [Электронный ресурс]. URL:

<https://meteoinfo.ru/climatedoctrine> (дата обращения: 06.01.2025).

5. Недосека Е. В., Карбаинов Н. И. «Умирание» или «новая жизнь» моногородов (на примере социально-экономической адаптации жителей монопрофильных поселений Северо-Запада России) [Электронный ресурс] // Арктика и Север. – 2020. – №. 41. – С. 163-181. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/umiranje-ili-novaya-zhizn-monogorodov-na-primere-sotsialno-ekonomicheskoy-adaptatsii-zhiteley-monoprofilnyh-poseleniy-severozapada> (дата обращения: 24.12.2024).

6. Стратегический прогноз изменений климата Российской Федерации на период 2010-2015 гг. и их влияния на отрасли экономики России – Росгидромет – 2005. – 28 с.

7. Стратегия экологической безопасности Российской Федерации до 2025 года. Указ Президента Российской Федерации от 19 апреля 2017 г. № 176. [Электронный ресурс]. URL: <https://centerpolit.org/national-security/strategiya-ekologicheskoy-bezopasnosti-rossiyskoy-federacii-do-2025-goda/> (дата обращения: 06.01.2025).

НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗВИТИЯ АВИАЦИОННОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ КАК НАУКИ

Айрапетова И.Г., Яковлева Т.Ю.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
irina3562225@gmail.com

Аннотация. Рассматривается вопрос о необходимости развития авиационной метеорологии, как перспективной науки для обеспечения безопасности полетов, создание необходимых условий для научной и практической деятельности метеорологов, трудности и нехватка технического оборудования в современных условиях.

Ключевые слова. Метеорология, авиация.

THE NEED TO DEVELOP AERONAUTICAL METEOROLOGY AS A SCIENCE

Airapetova.I.G., Yakovleva T.Yu.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Annotation. The issue need to develop Aviation meteorology as a promising science to ensure flight safety and create the necessary conditions for the scientific and practical activities of meteorologists, difficulties and lack of technical equipment in modern conditions is considered.

Keywords. Meteorology, aviation.

Авиационная метеорология является одной из приоритетных областей прикладной метеорологии. В наше время невозможно представить работу авиации без синоптиков. Именно грамотная работа авиационных синоптиков может обеспечить надежную, стабильную и безопасную работу авиации. Грамотное и профессиональное прогнозирование влияет на безопасность полетов. Поэтому можно с уверенностью говорить, что и правильное планирование полетов, и работа экипажа, и минимизация финансовых расходов в авиации находятся в руках метеорологов. А главное – от них зависит самое важное – это безопасность пассажиров и лётного экипажа.

Но для того, чтобы сотрудник метеорологической службы аэропорта мог грамотно выполнять свою работу, ему необходимо минимально иметь знания в аэродинамике, понимать процессы взлета, полета и посадки самолета, а также знать строение воздушного судна.

В развитии авиационной метеорологии можно выделить три этапа.

Первый этап 1921-1940 гг.: создание специальной метеорологической службы, создание метеорологических станций, обеспечивающих только авиацию, авиационной метеорологической службы гражданской (АМСГ), а также создание Главной авиаметеорологической станции (ГАМС). В Советском Союзе была создана опорная сеть метеорологических станций. Авиационная метеорология в это время стала пользоваться уважением у летного экипажа, а доверие летчиков завоевать очень сложно.

Второй этап 1940-1960 гг.: развитие авиационной метеорологии характеризуется широким распространением и применением для обеспечения авиации карт барической топографии, проведение воздушной разведки погоды, созданием специальных прогностических центров, а также созданием системы прямых авиационных связей (СПАС).

Третий этап с 1960 г. по настоящее время: для метеорологического обеспечения авиации используется информация, получаемая с искусственных спутников Земли, информация специальных метеорологических радиолокационных станций (МРЛ), создаются новые автоматические и записывающие приборы для метеорологических наблюдений на аэродроме и т. д.

Сейчас авиация России перевозит ежегодно большое количество пассажиров, а также участвует и в других сферах деятельности. Среди них сельскохозяйственная и медицинская авиация. Доставляет грузы и почту. В СССР был один перевозчик "Аэрофлот", созданный 9 февраля 1923 г., в день, который сейчас считается Днем Авиации, в наше время появилось много авиаперевозчиков и много авиакомпаний. Конечно, вместе с этим у каждой авиакомпании свои потребности и свои пожелания, так как авиапредприятия хотят сделать перелеты пассажиров максимально комфортными.

Метеорологическое обеспечение полетов простым делом не назовешь [1, 2]. Всегда при обеспечении полетов имелись свои трудности. Если сгруппировать все эти трудности, то можно выделить следующие группы:

1. Отставание метеослужбы от запросов практики.

Примером тому служат полеты пассажирского самолета ТУ-104, с которым первое время происходили летные происшествия с тяжелыми последствиями. Ни ученые, ни летчики не могли понять, в чем дело. Оказалось, что ТУ-104 выполнял полет на высотах 10000-12000 м, а к тому времени метеоусловия на этих высотах не были до конца изучены. При полетах на этом эшелоне самолет попадал в периферию струйного течения, где наблюдается сильная турбулентность, вызывающая сильную болтанку самолета, и экипажи не всегда успешно справлялись с данной перегрузкой. После проведения специального исследования и внесения ряда изменений в конструкцию самолета, а также уменьшения примерно на 1000 м предельной безопасной высоты полета, эта проблема была снята.

Первый в мире транспортный сверхзвуковой самолет ТУ-144 поднялся в воздух 31 декабря 1968 г. Этот самолет летел со скоростью в 2 раза превышающую скорость звука, и на высоте 16000-20000 м метеорологические исследования этого слоя атмосферы также несколько отстали от запросов практики. Только потом метеорологи нашли в стратосфере и струйные течения, и турбулентность, и резкие потепления, и озон, что не было изучено к моменту ввода в эксплуатацию самолета.

Еще одна трудность в этой группе: увеличение скорости полета привело к тому, что информация о погоде, даже передаваемая по системе прямых авиационных связей (СПАС), стала запаздывать. Это привело к переходу от СПАС к автоматизированной системе передачи данных (АСПД).

Также несет проблемы отсутствие хороших приборов для измерения видимости, высоты нижней границы облаков и относительной влажности – тех параметров атмосферы, которые оказывают существенное влияние на авиации данного направления.

2. Особое внимание необходимо уделить обледенению воздушных судов.

Обледенением называется отложение льда на обтекаемых частях самолетов и вертолетов, а также на силовых установках и внешних деталях специального оборудования самолета. У многих воздушных судов внешние датчики, такие, как датчики угла атаки, датчики давления и другие, очень чувствительные и становятся уязвимыми под действием перепадов температуры. Из-за отложения ледовой корки на этих деталях и датчиках могут измениться показания на приборах экипажа. Очень часто это приводит к экстренным посадкам и уходам на запасной аэродром. Существенные обледенения могут приводить также к катастрофам. Своевременное и качественное проведение антиобледенительной подготовки самолетов, которое зависит от максимально точного прогноза метеорологических служб авиации, могут значительно предотвратить нежелательные последствия, сохранить безопасность полетов, свести к минимуму финансовые потери и сохранить репутации авиакомпаний.

К обледенению самолетов могут привести:

- непосредственное оседание льда, снега или града на поверхности самолета.
- замерзание капель облака или дождя при соприкосновении с поверхностью воздушного судна.
- сублимация водяного пара на поверхности самолета.

На рисунке 1 представлены внешние датчики самолета Airbus A320, большинство из которых очень уязвимы. Если воздушное судно долгое время простояло в аэропорту в холодное время года и процедура антиобледенения была проведена не качественно или метеорологическая сводка по погоде была представлена некорректно и датчики не были очищены от слоя льда, это может привести к катастрофе. В отдельных случаях, когда антиобледенительная процедура не эффективна, самолет необходимо очищать щетками.

Примером служит случай с самолетом Airbus 321 Neo в 2021 г. в Магадане. Самолет выполнял рейс Магадан-Новосибирск. Перед этим он несколько часов простоял в аэропорту. Перед вылетом с крыши кабины самолетов снег не был очищен и при включении обогрева снег начал таять. Стекающая жидкость набежала и образовала ледяной нарост перед трубкой Пито, которая используется в авиации в качестве приемника воздушного давления (ПВД) для определения высоты и скорости полета самолета. Из-за образовавшейся корки льда перед трубкой Пито эти показатели были недостоверны. После взлета у самолета отказал автопилот, был нарушен угол атаки и самолет стал уходить в сваливание. Пилоты смогли выровнять самолет и приземлиться на запасном аэродроме.



Рисунок 1 – Внешние датчики самолета

3. Своевременное информирование руководящего, командного и летного состава, работников наземной технической службы авиации и представляет собой метеорологическое обеспечение полетов. Это обеспечение организует Росгидромет РФ. Метеорологическое обеспечение осуществляется в соответствии с "Положением о метеорологическом обеспечении гражданской авиации", "Наставлением по метеорологическому обеспечению гражданской авиации", "Нормами годности к эксплуатации аэродромов" и другими нормативными документами. Ответственность за качество обеспечения несет Росгидромет. Органами Росгидромета, которые осуществляют метеорологическое обеспечение гражданской авиации в аэропортах, являются Главный авиационный метеорологический центр (ГАМЦ), зональные авиаметеорологические центры (ЗАМЦ), авиаметеорологические центры (АМЦ), авиаметеорологические станции гражданские (АМСГ) 1, 2, 3, 4 разрядов, оперативные группы (ОГ) и авиационные метеорологические посты (АМП). Оперативные органы Росгидромета, расположенные на аэродроме, отвечают за: правильность ведения метеорологической документации; четкое оформление и своевременную передачу телеграмм; исправное содержание метеорологических приборов и т.д.

Для решения всех этих задач необходимы квалифицированные специалисты, хорошее техоборудование, помещения и т.д. И здесь часто возникают проблемы, т.к. сегодня на многих аэродромах между авиапредприятием и АМСГ существуют коммерческие отношения. Порой даже помещение для АМСГ авиапредприятие сдает в аренду. Не говоря уже о том, что помещения небольшие, техника устаревшая. Работать, а тем более проводить какие-нибудь исследования, в таких условиях сложно. Очень бы хотелось, чтобы отношение к этим вопросам было более серьезное, а условия для сотрудников метеорологической службы были комфортнее.

4. Метеорологические условия играют решающую роль также в проектировании и строительстве аэропортов. При разработке генерального плана аэродрома опираются чаще на наиболее неблагоприятные метеороусловия взлета и посадки самолетов и повторяемости "погоды". На основании показаний метеорологической службы и длительных наблюдений, можно планировать сроки службы аэродромов. Важно также учитывать географическое положение аэропортов и аэродромов. Гидрометеорологические условия имеют большое влияние на эксплуатационное состояние аэродромов. Физико-географические характеристики района аэродрома – важная часть описания, которое содержит оценку влияния орографических особенностей местности на формирование условий погоды и климата в районе аэродрома.

5. Есть еще один очень важный фактор, который влияет на эксплуатацию самолетов, аэропортов и планирование рейсов. Это особенно касается регионов России не только со сложными метеорологическими условиями, но и геофизическими и сейсмологическими. Это в первую очередь касается Камчатского края и Сахалина. Так как единственным связующим звеном с этими регионами остается пока авиация, очень важно учитывать многие нюансы погодных и сейсмических условий в этих местах. Сюда можно отнести и Горно-Алтайский край. Извержения действующих вулканов Камчатки, большой выброс вулканического пепла, нестабильная сейсмическая обстановка влияет на планирование рейсов в аэропортах этих регионов. При строительстве аэродромов в этих краях необходимо взаимодействовать и с метеорологической службой, и с геофизической, и сейсмологической. Учитывать показания геологов, геофизиков и сейсмологов об активности литосферных плит в этих регионах, сейсмологической обстановки. Метеорология тесно связана с геофизикой, геологией и сейсмологией. Только совместные действия ученых в этих сферах могут дать результаты для дальнейшего развития науки, потому как все в природе взаимосвязано.

Для специалистов в области метеорологии важно знать, как обледенение и другие погодные явления влияют на полет, насколько они опасны и как с ними бороться. Наша задача заключается в изучении метеорологических и синоптических условий и разработке методов прогнозов. Профессионализм синоптика в сфере авиации зависит прежде всего от того, насколько он будет понимать, какие последствия могут иметь ошибки в прогнозах, что в его руках прежде всего жизнь пассажиров и летного экипажа. Конечно существует такое понятие, как человеческий фактор и всем нам свойственно ошибаться и мы не роботы, хотя даже и техника порой ломается. Но все же нам надо всегда помнить, что в руках авиационного синоптика жизнь людей. От максимальной точности прогнозов зависит финансовая, материальная стабильность авиации и авиакомпаний. А это, в свою очередь, сыграет большую роль в востребованности специалистов в области метеорологии. А метеорология, в том числе авиационная метеорология, получит возможность развиваться. На основании многих исследований следует, что дальнейшее продвижение авиационной метеорологии, как науки, необходимо.

Список литературы

1. *Богаткин О.Г.* Авиационная метеорология. Учебник. – СПб: Изд. РГГМУ. 2005. – 328 с.
2. *Яковлев А.М.* Авиационная метеорология. Учебник – М.: Изд. «Транспорт» 1971. – 248 с.

ВЛИЯНИЕ МЕТЕОУСЛОВИЙ НА ЖИВОТНЫХ

Терентьев К.П., Ступишина О.М.

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

Аннотация. Обзорная статья, включающая в себя материалы из различных интернет ресурсов, учебных пособий и статей. Рассматривается влияние различных метеоусловий на животных, включая как наземные, так и водные экосистемы.

Ключевые слова. Животные, влияние метеоусловий, поведение животных, млекопитающие, птицы, пресмыкающиеся, рыбы, насекомые.

THE INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS ON ANIMALS

Terentev K.P., Stupishina O.M.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St. Petersburg

Annotation. A review article that includes materials from various online resources, textbooks, and articles. The influence of various weather conditions on animals, including both terrestrial and aquatic ecosystems, is considered.

Keywords. Animals, influence of weather conditions, animals behavior, mammals, birds, reptiles, fishes, insects.

Помимо людей, нашу планету населяет многочисленное разнообразие животных, многократно превышающее человеческую популяцию. Они играют жизненно важную роль в экосистемах, выполняя функции опыления растений, разложения органических веществ и контроль популяций. Животный мир, населяющий нашу планету, поражает своим разнообразием (рисунок 1).



Рисунок 1 – Схема царства животных

Млекопитающие. Основным метеопараметром, влияющим не только на млекопитающих, но и на все классы, представленные ниже, является атмосферное давление. Так, с помощью более развитых органов чувств, они могут улавливать его изменение. Вследствие этого может меняться привычное поведение животного. Оно может испытывать дискомфорт, будет стараться укрыться, больше отдыхать. Подобные признаки могут указать нам на скорую ненастную погоду.

Например, ухо кошки, как у любого хищника, очень чувствительно и ее барабанная перепонка отлично улавливает не только звуки, но и перепады атмосферного давления. При сильном его изменении от обычного, кошка даже испытывает дискомфорт в ухе, вроде того, что испытывает человек при взлете и посадке самолета. Поэтому, когда мы видим умывающуюся кошку, на самом деле, она пытается уменьшить неприятные ощущения в ушах. Изменение атмосферного давления имеет прямое влияние у кошек на работу пищеварительного тракта, а в частности – желудка. Животное на фоне этих процессов пытается найти траву, чтобы пожевать ее или же пьет больше воды [1].

Температура и влажность тоже играют роль. Температура, может определять сезонность поведения. Например, в неблагоприятный сезон, некоторые животные впадают в спячку. В благоприятный сезон у животных может начаться брачный период. При резких повышениях температуры могут проявляться некоторые аффективные расстройства. Животное может не есть, не пить, иметь вялый вид.

В воздухе с большим содержанием водяных паров практически невозможна теплоотдача путем испарения, поэтому повышенная влажность, высокая температура и малая подвижность воздуха затрудняют теплоотдачу и вызывают перегревание организма (тепловой удар) [2].

При низкой температуре и высокой влажности воздуха животное выделяет большое количество тепла, так как теплоемкость влажного воздуха в 10 раз больше, чем теплоемкость сухого воздуха. Это вызывает охлаждение и простудные заболевания животных. Повышенная влажность угнетает обмен веществ и окислительно-восстановительные процессы, снижает резистентность организма. У животных, содержащихся в холодное время года в помещениях с высокой влажностью, часто отмечаются такие заболевания, как ринит, бронхит, воспаление легких, мастит (у коров), желудочно-кишечные заболевания (у молодняка). Высокая влажность способствует сохранению микроорганизмов в помещении, в том числе патогенной и грибковой микрофлоры, которая часто служит причиной возникновения кожных заболеваний - стригущего лишая, экземы, чесотки и др. [3].

Птицы. Физиологические особенности помогают птицам чувствовать изменение погоды. Птицы тонко чувствуют изменение атмосферного давления из-за полых «пневматических» костей, не имеющих костного мозга. Другая причина — полые внутри перья, очины (стержи) которых сидят внутри кожи птиц, представляя собой своеобразные барометры-анероиды. Давление внутри стержней пера меняется, оказывая влияние на нервные окончания, потому птицы изменение погоды буквально «чувствуют кожей» [4].

Также погодные условия влияют на миграцию птиц. Погода и климат имеют стимулирующее и модулирующее значение для миграционных процессов. Метеорологические факторы зачастую играют роль триггера для начала миграций. Они могут замедлить или остановить мигрантов, заставить их отклониться от курса, приземлиться, иногда приводят к летальному исходу. Например, массивные дождевые фронты блокируют миграцию. У птиц существует тенденция избегать миграционных перелетов под воздействием холодных воздушных масс, в то же время есть определенные погодные условия, когда миграция усиливается. Так, осенняя массовая миграция в высоких широтах северного полушария сопутствует перемещению зоны низкого давления антициклонами. Весной массовые пролеты птиц происходят в условиях мягкой погоды, когда приближается фронт низкого давления. Мигранты преимущественно реагируют на местные изменения погоды - ветра или температуру, в большей степени, чем на синоптические условия [5].

Также существует связь миграций и солнечных бурь. Весной и осенью количество мигрирующих птиц падает на 9-17% из-за космических штормов. Труднее всего пернатым приходится в осенний период, поскольку к плохой космической погоде добавляются сложные метеоусловия на Земле. Исследователи также обнаружили, что во время осенних геомагнитных возмущений мигрирующие птицы чаще дрейфуют по ветру, вместо того чтобы прилагать большие усилия для борьбы со встречными потоками воздуха.

Пресмыкающиеся. Говоря о влиянии метеоусловий на рептилий, интереснее всего рассматривать влияние температуры.

Высокие температуры на рептилий оказывают пагубное влияние, поскольку они от перегрева могли бы погибнуть через несколько минут. Но, пресмыкающиеся, перемещаясь в течение суток, стараются выбирать такие участки биотопа, где температура ближе к оптимуму в данное время. Утром их можно увидеть на солнечных склонах барханов, потом они перемещаются в тенивые склоны, и при нагревании почвы они взбираются на куст или гребень бархана и т.д.

Являясь биологическим приспособлением, суточный цикл активности в зависимости от воздействия температуры на рептилий меняется в разные сезоны. Например, в весенний период пресмыкающиеся более активны лишь в середине дня – в более теплое время суток. В середине лета многие виды рептилий, наоборот, становятся активными в утренние и вечерние часы [6].

Известно, что температура влияет на состояние потомства ящериц: от того, в каких условиях развивались яйца, зависит размер и подвижность особей, которые из них выведутся, а также соотношение полов в выводке. Как выяснили зоологи из Сиднейского университета (Австралия), температура влияет ещё и на сообразительность ящериц: особи, появившиеся на свет в более тёплом гнезде, оказываются более «умными». Учёные экспериментировали со сцинком [7].

Рыбы. Основной фактор, от которого зависит поведение рыбы — атмосферное давление. При любом изменении погодных условий, оно меняется в первую очередь. Именно его изменение приводит к перемене погоды. Каждую рыбу природа наделила воздушным пузырем. Он позволяет ориентироваться в пространстве и перемещаться по

водоему и быстро менять глубину. Воздушный пузырь чувствителен к изменению атмосферного давления. Он не может быстро подстроиться под изменения. В это время рыба не может изменять глубину и свободно плавать. Она чувствует себя плохо. Необходимо время для адаптации к новым условиям.

При повышении температуры воздуха, рыба активизируется и начинает клевать. Чем теплее на улице, тем быстрее нагревается вода в водоеме. При нагреве воды до 18-20 градусов, рыба чувствует себя отлично. Но слишком жаркая погода не нравится рыбе. В жаркую погоду она уходит на глубину в более холодную воду или прячется в тени деревьев. Если температура воздуха слишком высокая многие рыбы днем прячутся в местах с прохладной водой. Они начинают активно питаться после захода солнца. Для рыбы оптимальной температурой воды является 18-22 градусов. Когда водоем нагревается выше 25, рыба становится вялой и может перестать питаться. Постепенное понижение температуры воды, рыба переносит нормально. Если водоем не замерзнет, она может продолжить питаться и перемещаться по водоему. Слишком большой нагрев приводит к гибели рыбы [8].

Насекомые. Температура может оказывать двоякое воздействие на насекомых. Во-первых, с ее повышением и соответственным увеличением скорости обмена веществ появляется возможность того или иного рода поведения, а также увеличивается скорость движения (непосредственное воздействие). Во-вторых, температура среды и ее изменения воспринимаются терморепцепторами, при этом насекомое может активно искать благоприятную для себя зону и уходить из неблагоприятной (сигнальное воздействие). Как слишком низкие, так и слишком высокие температуры подавляют активность. Соответственно, температура может почти полностью определять поведение насекомых в арктических условиях, где активность возможна лишь в течение короткого интервала времени, в умеренной зоне – зимой, весной и поздней осенью, в отдельные дни и летом, а в пустынной зоне – почти ежедневно в летнее время. Диапазон температур, в пределах которого возможна активность, конечно, различен для разных видов [9].

Также, Исследователи обнаружили, что у насекомых снижается репродуктивная активность при снижении атмосферного давления — то есть, перед грозой и бурей. Они перестают синтезировать феромоны и могут тем самым обезопасить себя во время спариваний в грозы и ливни [10].

Список литературы

1. <https://mimer.ru/articles/o-fiziologii-koshek/smena-pogody-reaktsiya-koshki> (активно 4.03.2025)
2. *Ляпин О.А.* Гигиена сельскохозяйственных животных [Текст]: учеб. пособие/ О.А. Ляпин-Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2010.
3. *Балакин В.И.* Зоогиgienический контроль микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях [Текст]: учеб. пособие/ В.И. Балакин- Л.: Колос Ленинградское отделение. 1979 г. – 96 с.
4. <https://dzen.ru/a/ZGODk8ZbzB3CbuZ9> (активно 4.03.2025)
5. *Мацюра А.В.* Миграция птиц и метеорологические параметры: краткий обзор. Часть 1
6. <http://www.reptilis.ru/obshhaya-informaciya/energiya/vliyanie-temperatury-na-reptilij>
7. https://www.aqualogo.ru/aqua_news501 (активно 4.03.2025)
8. https://dzen.ru/a/YLZz7uioyGb_b5TC (активно 4.03.2025)
9. *Чернышев В.Б.* Экология насекомых. Учебник. – М.: Изд-во МГУ, 1996 – 304 с
10. <https://www.gismeteo.ru/news/sobytiya/pogodnye-usloviya-vliayut-na-povedenie-nasekomyh/> (активно 4.03.2025)

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПОГОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Смагина О.С., Яковлева Т.Ю.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
scorpionnic@cloud.com

Аннотация. Рассматриваются проблемы роста числа и масштабов экстремальных погодных явлений в мире и на территории России, а также меры по снижению ущерба от них. В статье подчёркивается, что увеличение частоты и интенсивности экстремальных явлений связано с глобальными изменениями климата, вызванными как естественными, так и антропогенными факторами. Также в работе упоминаются современные методы прогнозирования экстремальных погодных явлений, в частности, использование климатических моделей, которые дают прогнозы относительно будущих характеристик атмосферы, океанов и Земли на основе собранных данных. *Ключевые слова.* Экстремальные погодные условия, изменение климата, прогнозирование, спутниковые данные, численные модели, машинное обучение.

MODERN METHODS OF FORECASTING EXTREME WEATHER EVENTS IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

Smagina O.S., Yakovleva T.Yu.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Abstract. The problems of the growing number and scale of extreme weather events in the world and in Russia, as well as measures to reduce damage from them, are considered. The article emphasizes that the increase in the frequency and intensity of extreme events is associated with global climate changes caused by both natural and anthropogenic factors. The paper also mentions modern methods of forecasting extreme weather events, in particular, the use of climate models that make predictions about the future characteristics of the atmosphere, oceans and Earth based on the collected data.

Keywords. Extreme weather conditions, climate change, forecasting, satellite data, numerical models, machine learning.

По оценкам Росгидромета ежегодный прирост опасных явлений, связанных с изменением климата на территории Российской Федерации, составляет порядка 6 %, что существенно увеличивает вероятность экстремальных, в том числе опасных, гидрометеорологических явлений [1]. Для прогнозирования экстремальных погодных явлений, связанных с изменением климата, используются различные методы и технологии [2]. Например, ученые применяют атрибуцию экстремальных событий. С ее помощью можно проанализировать исторические данные по региону и сделать вывод, что конкретная волна жары была более интенсивной из-за изменения климата.

Также для прогнозирования используются инструменты наблюдения за климатической системой, модели и прогнозы, которые разрабатываются на научной основе. Например, к таким функциям относится работа гидрометслужбы [3]. Кроме того, результаты моделирования позволяют предполагать, что наиболее сильные ураганы в условиях потепления и увлажнения атмосферы над поверхностью океанов станут более интенсивными и масштабными. Перспективы развития методов прогнозирования экстремальных погодных явлений связаны с дальнейшим развитием научных подходов и использованием новых технологий, таких, как спутниковые данные и данные мареографов [4].

1. *Современные методы прогнозирования.*

1.1. *Спутниковые данные.*

Спутниковые наблюдения играют главную роль в мониторинге атмосферных процессов [5]. Современные спутники предоставляют данные о температуре, влажности,

облачности, скорости ветра и других параметрах атмосферы в режиме реального времени. Это позволяет метеорологам отслеживать развитие экстремальных явлений погоды на ранних стадиях, такие как ураганы, тайфуны и штормы. Уточнить состав воздуха на больших высотах, недоступных другим методам. Наблюдать за погодой над теми областями Земли, где нет регулярной сети метеорологических станций – такими, как океаны, полярные области, малонаселенные районы, высокогорные области и др.

1.2. Дистанционное зондирование [6].

Метод, позволяющий получать детальные изображения и отслеживать изменения в атмосфере и на поверхности Земли, что очень важно для прогнозирования наводнений, засух и лесных пожаров. Этот метод позволяет обнаруживать и мониторить физические характеристики местности без физического контакта.

1.3. Численные модели атмосферы и океана.

Численные модели, такие как WRF (Weather Research and Forecasting) и ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) [7], используются для прогнозирования погоды на различные временные горизонты. Эти модели учитывают сложные взаимодействия между атмосферой, океаном и поверхностью Земли, что позволяет прогнозировать экстремальные явления с высокой точностью.

Глобальные климатические модели (GCM) [8] позволяют моделировать климатические процессы на длительные периоды. Они учитывают взаимодействие атмосферы, океана, льдов и поверхность суши.

Региональные климатические модели (RCM) [9] используются для более точного прогнозирования в конкретных регионах, где глобальные модели могут быть достаточно точными.

Ансамблевое моделирование – запуск множества моделей с различными начальными условиями для оценки неопределенности прогнозов.

1.4. Машинное обучение.

В последние годы машинное обучение [10] стало важным инструментом в метеорологии. Алгоритмы, такие как нейронные сети и методы глубокого обучения, используются для анализа больших объемов данных и выявления сложных закономерностей, которые трудно обнаружить традиционными методами.

Анализ больших данных позволяет обрабатывать огромные объемы информации, поступающие с метеорологических спутников или станций.

Глубокое обучение, является применением для анализа спутниковых снимков и прогнозирования таких явлений, как ураганы и торнадо.

2. Радиолокатор метеорологический (МРЛ).

Метеорологический радиолокатор [11] уже 60 лет является незаменимым прибором для обнаружения явлений, которые сопутствуют конвективным облакам – гроз, града, ливней, шквалов. Метеорологические некогерентные радиолокаторы определяют ОЯ (опасные явления) по косвенным признакам – измерениям высоты верхней границы радиоэха и отражаемости кучево-дождевой облачности, и принимают решение с помощью радиолокационных критериев опасности.

МРЛ-2 и МРЛ-5 – некогерентные метеорологические радиолокаторы. Такие МРЛ [12] определяют ОЯ (опасные явления) по косвенным признакам – измерениям высоты верхней границы и отражаемости сигнала от облачности, и принимают решение с помощью радиолокационных критериев опасности. Радиус обнаружения опасных явлений этими МРЛ не превышает 200 км.

3. Система AMDAR.

Система AMDAR [14] использует преимущественно существующие бортовые датчики самолетов, компьютеры и системы связи для сбора, обработки, форматирования и передачи метеорологических данных, включая температуру воздуха, ветер,

турбулентность и другую необходимую информацию, на наземные станции через спутниковые или радиоканалы.

По прибытии на Землю данные передаются метеорологическим службам, где они обрабатываются, контролируются и передаются в Информационную систему (ИСВ) ВМО, откуда к ним могут получить доступ и использовать их все страны-члены ВМО.

Система AMDAR предоставляет метеорологические данные высокого разрешения и качества, которые могут быть использованы для улучшения многих приложений и продуктов прогнозирования и совершенствования навыков, и точности компьютерных систем численного прогнозирования погоды (ЧПП) и других приложений прогнозирования.

4. Анализ климатических индексов.

Использование индексов, таких как Эль-Ниньо (ENSO) [15], Североатлантическое колебание (NAO) [16] и другие, помогает прогнозировать долгосрочные изменения погоды и климата.

Эти индексы связаны между собой крупномасштабными атмосферными и океаническими процессами, которые непосредственно влияют на экстремальные погодные явления.

5. Интеграция данных и повышение точности прогнозов.

Для повышения точности прогнозов необходимо интегрировать данные из различных источников, включая спутниковые наблюдения, наземные станции и численные модели. Современные технологии, такие как ассимиляция данных, позволяют объединять эти данные в единую систему, что значительно улучшает качество точности прогнозов [17].

6. Ассимиляция данных.

Ассимиляция данных [18] – это математическая дисциплина, которая объединяет данные наблюдений и численные модели улучшения качества прогнозов. Методы ассимиляции данных позволяют объединять наблюдения с модельными прогнозами для повышения точности. Это очень важно для краткосрочного прогнозирования экстремальных явлений.

7. Раннее предупреждение.

Развитие систем раннего предупреждения, которые используют комбинацию моделей, спутниковых данных и наблюдений для своевременного оповещения о надвигающемся экстремальном явлении [19].

8. Дисциплинарный подход.

Современные методы прогнозирования включают сотрудничество метеорологов, климатологов, океанологов, экологов и специалистов по данным. Это позволяет учитывать комплексное влияние различных факторов на экстремальные явления погоды [20].

9. Учет антропогенных факторов.

Это влияние человека на климат, такое как выбросы парниковых газов, урбанизация, все это учитывается в моделях для более точного прогнозирования [21].

10. Климатические модели общей циркуляции (КМОЦ).

Они предназначены для долгосрочных прогнозов климата и позволяют оценивать влияние изменения климата на экстремальные погодные явления такие, как ураганы, цунами, и засухи [22].

Для прогнозирования масштабных возможных последствий, используют гидродинамические модели, которые моделируют поток воды и его взаимодействие с окружающей средой, предоставляя подробные прогнозы масштабов наводнения, глубины и скорости [23].

11. Краудсорсинг и гражданская наука.

Использование ресурсов от гражданских наблюдателей (через мобильные приложения) для сбора дополнительной информации о погодных условиях [24].

Вызовы и перспективы.

Неполнота наблюдений. Многие области планеты, например океаны, тропики, пустыни, горы, наблюдаются приборами слабо. Данные в районах, где нет станций, восстанавливаются приближённо, что приводит к ошибкам.

Хаотичность атмосферы. Небольшое изменение состояния атмосферы в одном месте может иметь значительные последствия в другом — так проявляется «эффект бабочки». Любая ошибка в прогнозе будет быстро увеличиваться и вызывать дальнейшие, но уже в большем масштабе.

Несовершенство моделей. Некоторые погодные явления, такие как туманы и гололёд, в моделях сознательно не учтены или упрощены, поскольку даже современные суперкомпьютеры не могут быстро их просчитать.

Перспективы прогнозирования погоды:

Развитие технологий искусственного интеллекта. Применение нейронных сетей позволяет учесть нелинейные зависимости между различными параметрами атмосферы и создать более точные и адаптивные модели для прогнозирования погоды в различных временных горизонтах.

Увеличение объёма данных. Для точного прогноза необходимо учитывать данные со всех областей планеты, но увеличивать плотность сети глобального наблюдения можно не бесконечно, поэтому данные никогда не станут полными [25].

Заключение.

Современные методы прогнозирования экстремальных погодных явлений, основанные на интеграции спутниковых данных, численных моделей и машинного обучения, позволяют значительно повысить точность прогнозов.

Спутниковые данные позволяют прогнозировать ураганы, торнадо, наводнения и засухи. Это способствует своевременному предупреждению населения и минимизации ущерба от природных катастроф.

Численные модели помогают оценить состояние атмосферы с помощью гидротермодинамических уравнений и сотен строк кода, которые участвуют в расчётах. Исходными данными для анализа служат те же метеорологические данные.

Машинное обучение позволяет создавать более точные прогнозы, выявлять закономерности и понимать, какие факторы оказывают наибольшее влияние на изменения погоды. Например, с помощью машинного обучения можно оценивать силу ураганов на базе данных от определённых метеорологических спутников.

Дальнейшее развитие технологий и междисциплинарное сотрудничество позволят улучшить точность прогнозов и адаптироваться к изменяющимся климатическим условиям.

Список литературы

1. [rscf.ru/prjcard_int?24-17-00138](https://www.rscf.ru/prjcard_int?24-17-00138)
2. https://www.risk-journal.com/jour/article/view/142?locale=ru_RU
3. <https://earchive.tpu.ru/handle/11683/52073?mode=full>
4. <https://www.meteorf.gov.ru/>
5. <https://22century.ru/popular-science-publications/climate-change-evidence-causes-c2?ysclid=m7t9rcw82540893564>
6. https://vk.com/wall-201406556_459572
7. <http://www.lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:01330:article>
8. <https://civilmint.com/remote-sensing/>
8. [https://climate-change.moscow/materials/klimaticheskie-modeli-eksperimenty-uchenyh-i-](https://climate-change.moscow/materials/klimaticheskie-modeli-eksperimenty-uchenyh-i)

prognozy-scenariiev-budushchego

9. <https://dzen.ru/a/ZwPvQrs4HzW5nSMY>
10. http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_f26782ba98ec4b2ea8251ae6951c9a5c.pdf
11. <https://otvet.mail.ru/question/94519354>
12. https://geo.bsu.by/images/pres/oz/radioloc/radioloc_1.pdf
13. <http://elib.timacad.ru/dl/full/s08112023DMIVGidro.pdf/download/s08112023DMIVGidro.p df>
14. <https://community.wmo.int/en/activity-areas/aircraft-based-observations/amdar/amdar-description>
15. https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.57f98c2a-67c594c5-03ced6a4-74722d776562/https://blogs.rstudio.com/ai/posts/2023-01-19-torchwavelets/
16. https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.d63cb3ae-67c5d2b2-dab59644-74722d776562/https://en.wikipedia.org/wiki/North_Atlantic_oscillation
17. <https://www.dhgate.com/ru/blog/what-are-weather-models-and-how-do-they-work-b/>
18. https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.ad7aefcb-67c5dbde-218a0814-74722d776562/https://en.wikipedia.org/wiki/Data_assimilation
19. https://vk.com/wall-201406556_459982
20. <https://wmo.int/ru/media/magazine-article/prognozirovanie-okeana-modelirovanie-dlya-budushchego>
21. <https://apni.ru/article/9742-rol-antropogennogo-faktora-v-sovremennyh-izmeneniyah-klimata>
22. https://ru.ruwiki.ru/wiki/Модель_общей_циркуляции
23. https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.f58b2bb8-67c5dd25-f5be0b64-74722d776562/https://en.wikipedia.org/wiki/Flood_forecasting
24. <https://rgo.ru/activity/redaction/news/mobilnoe-prilozhenie-sdelaet-nablyudenie-zaprrody-proshche-i-effektivnee/>
25. <https://trends.rbc.ru/trends/innovation/62fbb00c9a79476b8c626b15>

ГРОЗЫ КАК ОПАСНОЕ ЯВЛЕНИЕ ДЛЯ АВИАЦИИ

Зоммер В.П., Волобуева О.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
zommer.lerik@gmail.com

Аннотация. В данной работе анализируется случай грозовой активности на 30 августа 2024г. в городе Краснодар. Приводится обзор синоптического положения, условия возникновения данного явления.

Ключевые слова. Гроза, неустойчивость атмосферы, атмосферное явление, кучево-дождевые облака

THUNDERSTORMS AS A DANGEROUS PHENOMENON FOR AVIATION

Zommer V.P., Volobuyeva O.V.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), Saint Petersburg

Annotation. This paper analyzes a case of thunderstorm activity on August 30, 2024 in the city of Krasnodar. An overview of the synoptic situation and the conditions of occurrence of this phenomenon is given.

Keywords. Thunderstorm, atmospheric instability, atmospheric phenomenon, cumulonimbus clouds

Гроза представляет собой атмосферное явление, характеризующееся многократными электрическими разрядами (молниями), возникающими между облаками или между облаками и землей, что сопровождается звуковым эффектом - громом. В большинстве случаев гроза сопровождается значительными осадками в виде дождя, града, а в крайне редких случаях - снега. Также бывают случаи, когда гроза происходит без осадков; такие явления называются сухими грозами [1].

Грозы бывают двух основных типов: внутримассовые и фронтальные.

Внутримассовые грозы формируются в пределах однородной воздушной массы, часто в жаркие летние дни, когда интенсивное солнечное нагревание поверхности земли приводит к образованию восходящих потоков теплого воздуха, или термиком. Эти термики, достигая уровня конденсации, образуют кучево-дождевые облака, из которых выпадают осадки, сопровождаемые молниями и громом [2].

Внутримассовые грозы, обычно, формируются изолированно или располагаются на расстоянии 20-30 км друг от друга, что позволяет самолету легко их облетать, не попадая при этом в опасные ситуации.

Фронтальные грозы, напротив, связаны с атмосферными фронтами, то есть границами между различными воздушными массами. Холодные фронты, характеризующиеся вторжением холодного воздуха, часто вызывают интенсивные грозы, поскольку холодный воздух вытесняет теплый, влажный воздух вверх, способствуя его конденсации и образованию мощных кучево-дождевых облаков [3]. Теплые фронты также могут вызывать грозы, но обычно менее интенсивные, чем при холодных фронтах. Обычно на теплых фронтах грозы наиболее интенсивны в вечернее время.

Фронтальные грозы развиваются на холодных и теплых фронтах, а также на фронтах окклюзии.

Опасность для самолета и экипажа представляют мощные восходящие и нисходящие потоки воздуха внутри кучево-дождевых облаков и в непосредственной близости к ним, а также возможный разряд молнии в самолет.

Географическое положение Краснодара: город расположен в южной части Восточно-Европейской равнины, на Кубано-Приазовской низменности, на юге граничит с Адыгеей, а также на Прикубанской равнине в центре Краснодарского края, в долине реки Кубань (на правом берегу). Географические координаты: 45° 02' северной широты, 38° 59' восточной долготы. Высота города составляет от 19 до 32 м над уровнем моря. Река Кубань огибает город с юга

Рассмотрим случай ночной грозы с 29 августа 2024г. на 30 августа 2024г. Обзор синоптического положения: г. Краснодар находился в тылу теплого фронта (рисунок 1), центр циклона располагался над северо-востоком Черного моря. Давление в центре - 1009 гПа, за прошедшие сутки понизилось на 2 гПа. За сутки циклон продвинулся с юго-востока на северо-восток Черного моря, скорость перемещения небольшая (до 20 км/ч). Циклон находился в стадии окклюдирования. В Краснодаре наблюдались слабые ливневые осадки, гроза, температура воздуха +25 градусов (рисунок 2).

Продолжительность грозы составила 7 ч, наблюдался ветер, слабый ливневой дождь.

Грозы в районе Краснодара достаточно частое явление, их количество может достигать до 100 в год, более подробно грозовая деятельность по аэродрому Краснодара будет рассмотрена в дальнейшем.

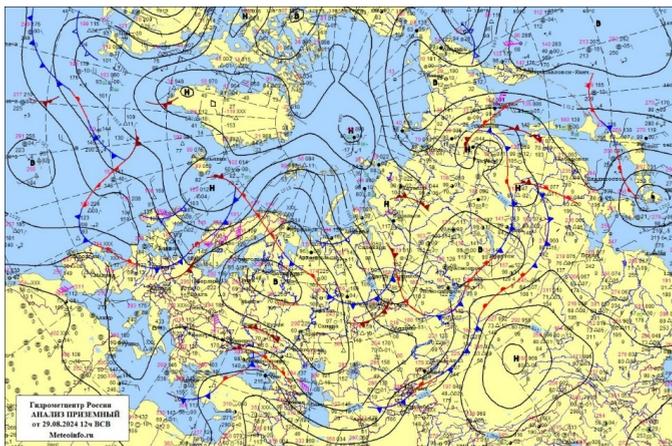


Рисунок 1 – Анализ приземной карты от 29.08.2024г. 12 ВСВ

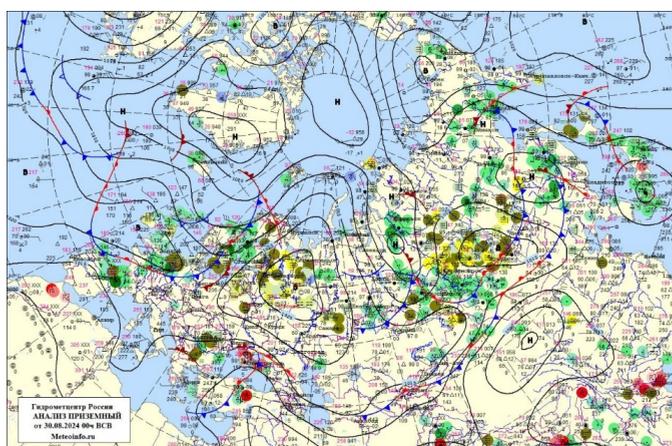


Рисунок 2 – Анализ приземной карты от 30.08.2024г. 00 ВСВ

Список литературы

1. Сайт [Электронный ресурс]: <https://tosnoaero.ru/library/meteo/meteo01.pdf>
2. Ahrens, C. D. (2000). *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*. Brooks/Cole.
3. Wallace, J. M., & Hobbs, P. V. (2006). *Atmospheric Science: An Introductory Survey*. Academic Press.
4. Сайт Гидрометцентра России [Электронный ресурс]: <https://disk.yandex.ru/d/8gNOnlykHu7ugg>
5. Сайт RP5 [Электронный ресурс]: <https://rp5.ru>

АНАЛИЗ РАННЕЙ ГРОЗЫ 3 АПРЕЛЯ 2024 Г. В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Колотова Т.В., Волобуева О.В.

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

Аннотация. В статье представлен анализ случая ранней грозы в г. Санкт-Петербург 3 апреля 2024 г. Рассмотрены метеорологические параметры и синоптические условия образования данного явления.

Ключевые слова. Гроза, град, фронт окклюзии, явления погоды.

ANALYSIS OF THE EARLY THUNDERSTORM ON APRIL 3, 2024 IN ST. PETERSBURG

Kolotova T.V., Volobueva. O.V.

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

Annotation. The article presents an analysis of the case of an early thunderstorm in St. Petersburg on April 3, 2024. The meteorological parameters and synoptic conditions for the formation of this phenomenon are considered.

Keywords. Thunderstorm, hail, occluded front, weather phenomena.

03 апреля 2024 года в Санкт-Петербурге наблюдался уникальный случай ранней грозы. Её причиной стала обширная барическая депрессия «**PATRICIA**». Но обо всём по порядку. В данной работе будет представлен краткий обзор различных видов гроз, условия их формирования, также будет рассмотрена синоптическая ситуация 3 апреля 2024 г. в Санкт-Петербурге, которая и привела к грозе в центре города.

Грозой называется атмосферное явление, при котором наблюдаются многократные электрические разряды (молнии) между облаками или между облаком и землей, сопровождаемые звуковым явлением – громом [1]. Одновременно с этим обычно наблюдаются обильные осадки в виде дождя, града и в редких случаях в виде снега. Иногда отмечаются грозы и без осадков; их называют **сухими грозами** (низкая влажность, высокая температура).

Гроза есть результат неустойчивости атмосферы, проявляющейся в возникновении значительных вертикальных движений воздуха и в образовании мощных кучевых и кучево-дождевых облаков.

Неустойчивость атмосферы, как известно, определяется большими вертикальными градиентами температуры, а также большой влажностью воздуха. Большие же вертикальные градиенты температуры устанавливаются в тех случаях, когда происходит сильное прогревание приземного слоя воздуха. Поэтому чем сильнее прогревание нижних слоев воздуха и чем выше влажность этого воздуха, тем вероятнее образование гроз.

Грозы можно разделить на два основных вида:

Внутримассовые грозы развиваются из-за прогрева воздуха поверхности земли и восходящих потоков. Это создаёт кучево-дождевые облака. Зимой такие грозы чаще бушуют над океанами и преимущественно в полуденные часы.

Фронтальные грозы возникают при столкновении холодных или тёплых атмосферных фронтов. В умеренных широтах это чаще происходит летом и исключительно редко — зимой.

Фронтальные грозы, в свою очередь, делятся на:

Гроза холодного фронта – это наиболее часто встречающийся тип гроз в районе Санкт-Петербурга. Возникают вследствие энергичного подъёма теплого воздуха перед вторгающимся клином холодного воздуха.

Грозы теплого фронта – этот тип гроз встречается значительно реже, чем грозы холодного фронта, так как подъём теплого воздуха вдоль фронтальной поверхности происходит очень медленно. Теплофронтовые грозы над нашей территорией возникают главным образом при движении циклонов с юга и юго-запада, когда в их теплых секторах

выносятся массы влажного тропического воздуха. При этом высотные течения являются дивергирующими.

Грозы у точки окклюзии и в зоне волновых возмущений. Большого внимания заслуживают сильные грозы, сопровождающиеся одновременно ливнями с градом, шквалами и иногда смерчами. Анализ аэросиноптических условий показывает, что образование подобных чрезвычайных явлений погоды часто наблюдается вблизи точки окклюзии и, в особенности, вблизи центра небольшого волнового возмущения. В том и другом случае наблюдаются очень большие контрасты температуры [1].

Также бывают *ранние и поздние грозы* — это атмосферные явления, которые происходят в определённые периоды времени, например: первые грозы в Санкт-Петербурге обычно приходят в конце апреля – начале мая. Таким образом гроза, наблюдавшаяся 3 апреля, является ранней.

Анализ синоптической обстановки на 3 апреля 2024 года в городе Санкт-Петербург.

По данным станции Санкт-Петербург (№ 26063) видно, что с 8 до 9 по местному времени на станции наблюдались: гроза (80), град (65) и ливневый дождь (64) (таблица 1).

Таблица 1 - Явлениях погоды, наблюдавшиеся 03.04.2024 на станции Санкт-Петербург [2]

Номер станции	Год	Месяц	День	Время	Шифр явления	Время начала	Время окончания
26063	2024	4	3	9	80	7:48	9:00
26063	2024	4	3	9	65	7:53	8:00
26063	2024	4	3	9	64	8:00	9:00
26063	2024	4	3	12	80	9:00	9:10
26063	2024	4	3	12	64	9:00	9:20

На приземных синоптических картах за 06 и 12 UTC наблюдается обширная барическая депрессия с минимальной замкнутой изобарой 985 гПа. Также видно, что Санкт-Петербург находится в зоне фронта окклюзии. Поэтому можно сказать, что данная гроза являлась фронтальной, а именно - гроза у точки окклюзии (рисунк 1, рисунок 2).

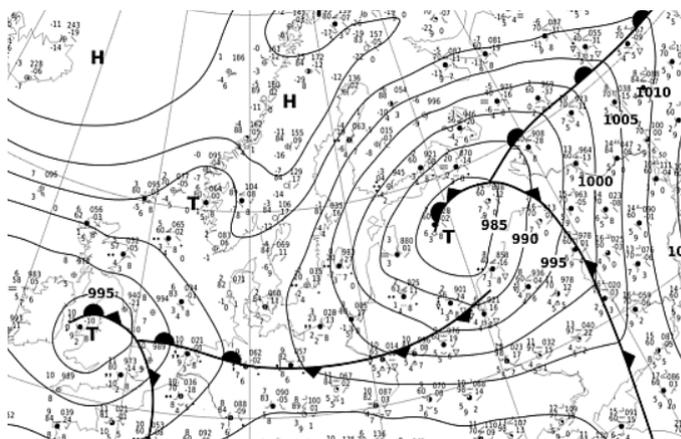


Рисунок 1 - Приземная карта за 03.04.2024 06 UTC [3]

Как описывалось ранее, для этого вида гроз характерны: сильные грозы, сопровождающиеся одновременно ливнями с градом. На станции были зарегистрированы все эти явления. Также наблюдались высокая влажность (98%) и контраст температур (на северо-западе области до -2 гр., на юго-востоке области до +13...+16 гр.) [5], эти факторы также способствовали формированию гроз. С 06 по 12 UTC циклон сместился на северо-восток, привело к тому, что в районе Санкт-Петербурга в тылу циклона воздушные потоки сменили направление на северо-западные, вследствие чего произошло резкое понижение температуры, приведшее к выпадению осадков в виде снега во второй половине дня. На станции Санкт-Петербург также была зарегистрирована ледяная крупа. К концу дня 3 апреля выпало 10-12 мм осадков, а высота снежного покрова составила 3-5 см.

Это поистине необычное сочетание погодных явлений, утром была гроза, а вечером снег.

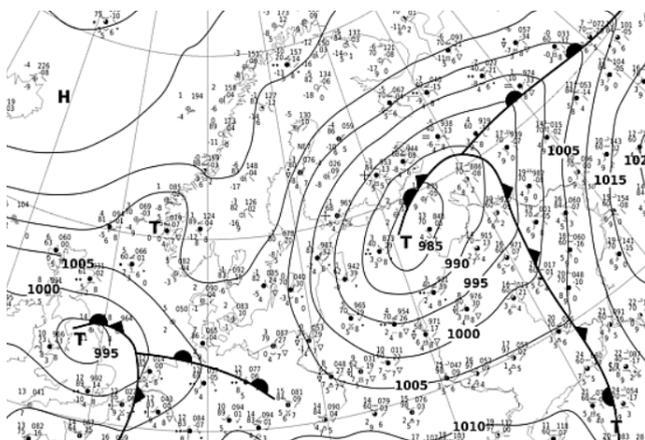


Рисунок 2 - Приземная карта за 03.04.2024 12 UTC [3]

Далее представлен снимок МЕТЕОРАДАРА (рисунок 3), на котором видно зону ливневых осадков, идущих вдоль фронта, а также очаг грозы около Санкт-Петербурга.



Рисунок 3 - Снимок МЕТЕОРАДАР за 7.30 UTC 03.04.2024 [5]

Список литературы

1. Пчелко И.Г. Авиационная метеорология, 1963 г. - 343 с.
2. Сайт ВНИИГМИ-МЦД. [Электронный ресурс]: <http://meteo.ru/>
3. Архив синоптических карт. [Электронный ресурс]: https://www1.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html
4. Сайт RP5 [Электронный ресурс]: <https://rp5.ru>
5. Сайт ФГБУ “ЦАО” [Электронный ресурс]: <http://aerology.org>

РЕАНАЛИЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ПРОЦЕССАХ ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

Воробьева Ю.А., Уварова Е.А., Яковлева Т.Ю.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
makarova.yulia050801@mail.ru, liz.uwarowa2014@yandex.ru

Аннотация. Формирование ледового покрова в сезонном режиме является ключевой характеристикой гидрологического режима озер, расположенных в умеренном и субполярном климатах. В данной работе представлены исследования метеорологических наблюдений в процессах образования и разрушения ледового покрова на озере Байкал. Результаты работы способствуют лучшему пониманию изменений ледового покрова в условиях глобального потепления и могут быть применены для управления водными ресурсами и охраны экосистемы озера.

Ключевые слова. Ледовый покров, метеопараметры, ледовый комплекс.

REANALYSIS OF METEOROLOGICAL OBSERVATIONS IN THE PROCESSES OF ICE COVER FORMATION AND DESTRUCTION ON LAKE BAIKAL

Vorobeva Y.A., Uvarova E.A., Yakovleva T.Yu.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Abstract. Ice cover formation in the seasonal regime is a key characteristic of the hydrological regime of lakes located in temperate and subpolar climates. This paper presents studies of meteorological observations in the processes of ice cover formation and destruction on Lake Baikal. The results of the work contribute to a better understanding of ice cover changes in the context of global warming and can be used for water resource management and protection of the lake ecosystem.

Keywords. Ice cover, meteorological parameters, ice complex.

Для изучения применения данных реанализа ERA5-Land в процессах образования и разрушения ледового покрова на озере Байкал мы сравнили реальные метеорологические наблюдения на пирсе в поселке Листвянка с данными ближайших узлов реанализа.

Для проверки достоверности температуры за основу были взяты данные термографа за 1978 год. В результате учёта временного сдвига в данных реанализа для динамики температуры были получены временные зависимости, изображенные на рисунке 1.

Средняя ошибка за год составляет $-0,019$ градуса по шкале Цельсия. Таким образом, данные реанализа по температуре хорошо воспроизводят исторические данные, полученные при помощи самописца на метеостанции в посёлке Листвянка в 1978 году.

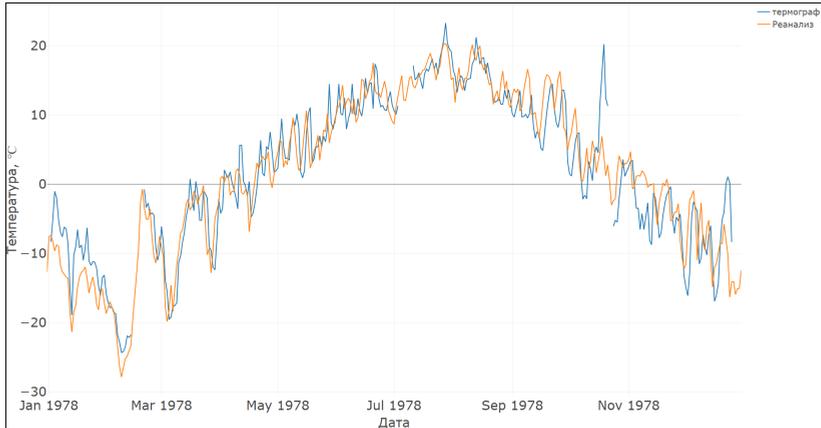


Рисунок 1 – Сравнение среднесуточных температурных данных в 1978 г.

Поскольку исторически непрерывная запись измерений влажности и скорости ветра не велась, проверим достоверность данных реанализа на современных данных по этим двум параметрам за 2022 год.

На графиках видно значительное различие данных, поэтому для выявления взаимосвязей построены линейные регрессии зависимости среднесуточной скорости ветра (рисунок 2) и влажности (рисунок 3) от аналогичных параметров реанализа.

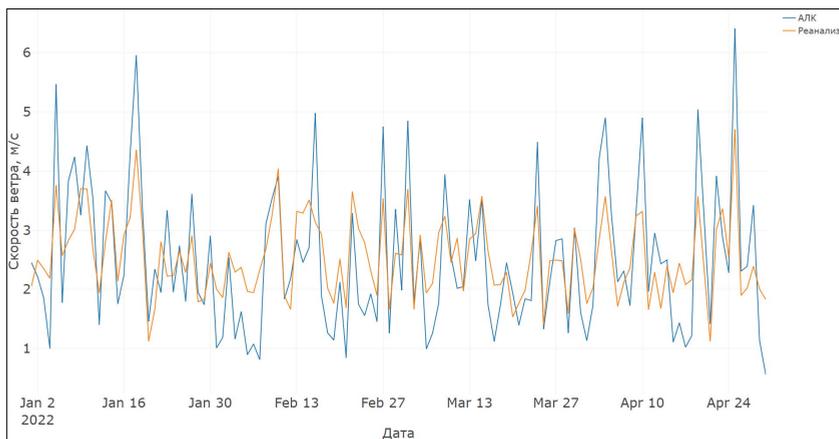


Рисунок 2 – Сравнение среднесуточных скоростей ветра

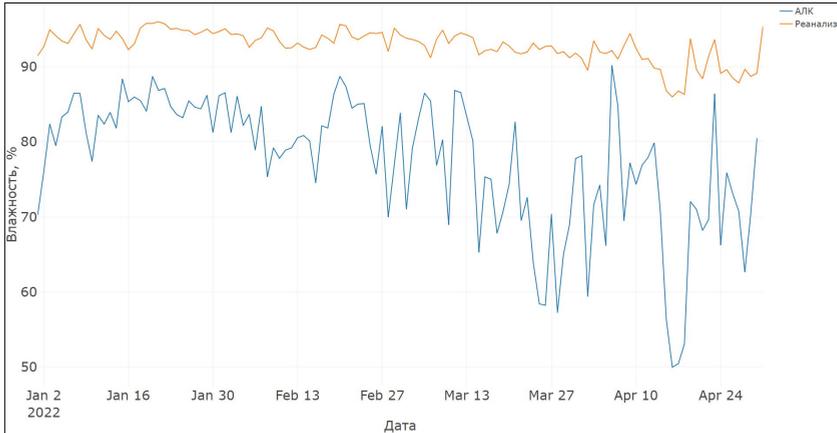


Рисунок 3 – Сравнение среднесуточных данных влажности

Построенные регрессии имеют следующий вид:

$$H_{\text{ср.сут}} = 2,8743H_R - 189,2608, \quad (1)$$

$$V_{\text{ср.сут}} = 1,4104V_R - 1,0706. \quad (2)$$

Ряды данных, полученных с использованием регрессии, приведены на рисунках 4 и 5. Коэффициенты достоверности аппроксимации для уравнения (1) $R^2 = 0,51$, для уравнения (2) $R^2 = 0,62$.

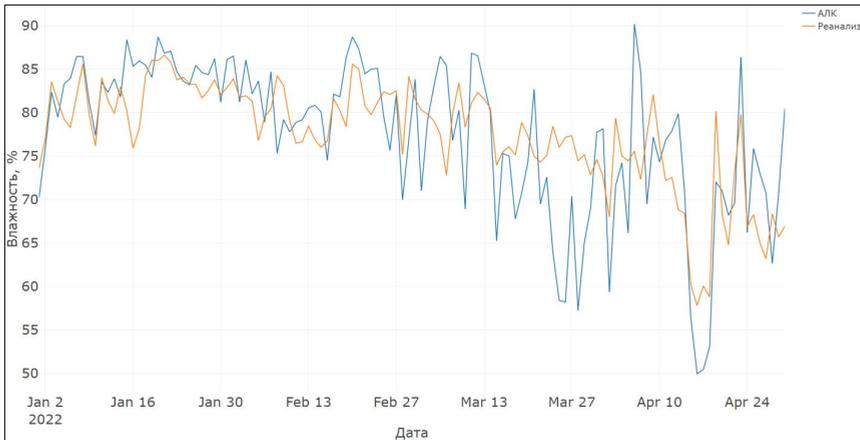


Рисунок 4 – Сравнение среднесуточных данных влажности, полученных из измерений термографа и из данных реанализа, за 2022 год

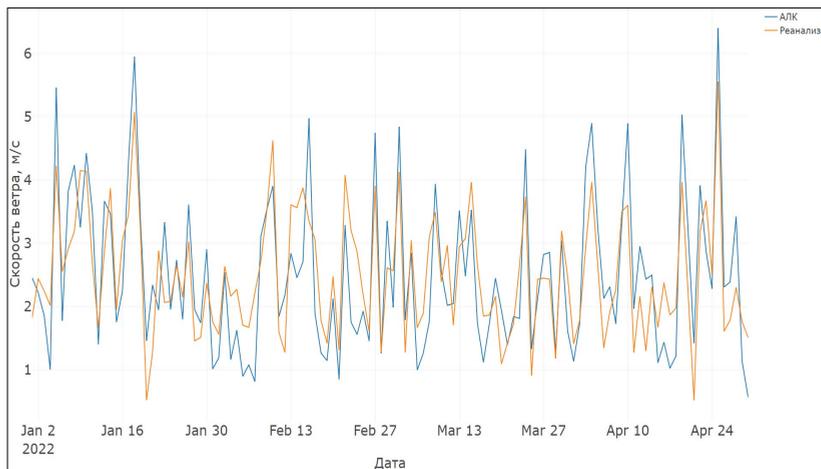


Рисунок 5 – Сравнение среднесуточных данных скорости ветра, полученных из измерений термографа и из данных реанализа, за 2022 год

Таким образом, ряды данных, полученных из реанализа Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды, могут быть использованы в изучении процессов образования и разрушения ледового покрова на озере Байкал. В дальнейшем будет предпринята попытка анализа и уточнения формулы Стефана с использованием натуральных данных различных годов по толщине ледового покрова и метеорологических данных на примере посёлка Листвянка, расположенного на берегу озера Байкал.

Список литературы

1. Kirillin G. *et al* Physics of seasonally ice-covered lakes: A review // Aquatic Sciences. Research Across Boundaries. – 2012. – Vol. 74, No. 4. – P. 659-682. – DOI 10.1007/s00027-012-0279-y. – EDN RGOEET.
2. Сизова Л. Н. Влияние циркуляции атмосферы на ледово-термические процессы на Байкале в 1950-2010 гг. / Л.Н. Сизова, Л.Н. Куимова, М.Н. Шимараев // География и природные ресурсы. – 2013. – № 2. – С. 74-83.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

Воробьева Ю.А., Уварова Е.А., Яковлева Т.Ю.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
makarova.yulia050801@mail.ru, liz.uwarowa2014@yandex.ru

Аннотация. Ледовый режим является важнейшей характеристикой озёр в субполярном и в умеренном климатических регионах и значительно влияет на баланс осадков и испарения, экологическое состояние и, как следствие, качество озёрной воды. В условиях современных изменений климата, сроки ледостава заметно сокращаются, что ещё больше повышает актуальность изучения физических механизмов, определяющих процесс ледообразования и разрушения ледяного покрова. Целью данной работы является уточнение существующей простейшей теоретической модели нарастания ледяного покрова за счёт учёта различных физических факторов, влияющих на динамику ледяного покрова.

Ключевые слова. Толщина льда, формула Стефана, тепловой баланс.

MATHEMATICAL MODELING AND RETROSPECTIVE ANALYSIS OF THE ICE COVER ON LAKE BAIKAL

Vorobeva Y.A., Uvarova E.A., Yakovleva T.Yu.
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Abstract. The ice regime is the most important characteristic of lakes in subpolar and temperate climate regions and significantly affects the balance of precipitation and evaporation, the ecological state and, as a consequence, the quality of lake water. In the conditions of modern climate change, the terms of freeze-up are noticeably reduced, which further increases the relevance of studying the physical mechanisms that determine the process of ice formation and destruction of the ice cover. The purpose of this work is to clarify the existing simplest theoretical model of ice cover growth by taking into account various physical factors that affect the dynamics of the ice cover.

Keywords. Ice thickness, Stefan formula, heat balance.

Впервые для двухфазной среды аналитическое решение этой задачи было найдено Стефаном в 1891 году [1]. Многими исследователями было показано, что полученная формула далеко не всегда даёт результаты близкие к действительности, т.к. она не учитывает влияние солнечной радиации, снежного покрова, теплообмена с подледной водой. В настоящей работе предпринята попытка анализа и уточнения формулы Стефана с использованием натуральных данных различных годов по толщине ледового покрова и метеорологических данных на пирсе в посёлке Листвянка, расположенного на берегу озера Байкал. Также были взяты метеорологические наблюдения из статьи авторов «Реанализ метеорологических наблюдений в процессах образования и разрушения ледового покрова на озере Байкал».

Формула толщины H льда по простейшей формуле Стефана:

$$H = \sqrt{2 \int_0^t \frac{K}{L\rho} \theta dt}, \quad (1)$$

где K – коэффициент теплопроводности льда, L – удельная теплота плавления льда,

ρ – плотность льда, θ – температура воздуха.

Коэффициент теплопроводности, плотность льда и удельная теплота плавления льда без учета их зависимости от температуры, в первом приближении равны: $K = 2,24 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^\circ\text{C}}$, $\rho = 917 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $L = 330 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$, соответственно. На рисунке 1 представлен график значения толщины льда.

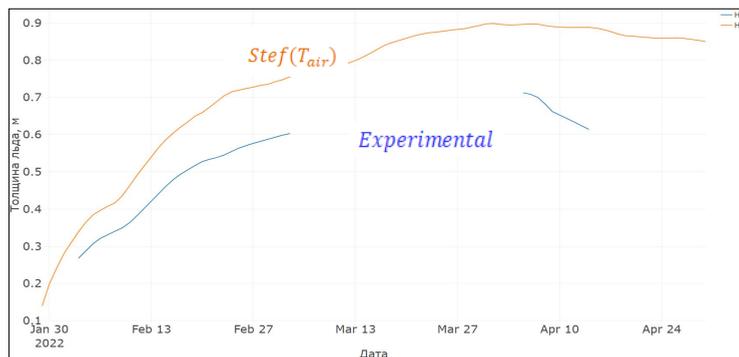


Рисунок 1 – Значения толщины льда по простейшей формуле Стефана

Проблема этой формулы заключается в том, что она может быть использована лишь для приближённых вычислений, т.к. температура поверхности льда в ней принимается равной температуре воздуха. Это вносит очень значительную ошибку, ведь как мы видели на рисунке 1, что эти температуры могут существенно различаться за период формирования ледяного покрова.

Соответственно, для получения более точной формулы, способной описать динамику толщины ледяного покрова в реальных условиях, необходимо учесть следующие факторы:

Во-первых, нужно учесть взаимодействие с атмосферой, поскольку конвективный теплообмен зависит от толщины снежного покрова и скорости ветра.

Во-вторых, должен учитываться тепловой поток из воды в лёд.

И, наконец, для корректного описания стадии деградации ледового покрова должна учитываться приходящая солнечная радиация, влияние которой значительно возрастает весной.

Такие явления как пористость льда учесть обычным уточнением формулы Стефана не получится. Учёт подобных более тонких явлений может быть проведён при построении математической модели динамики толщины льда.

На рисунке 2 представлен график толщины льда с учётом взаимодействия ледяного покрова с атмосферой.

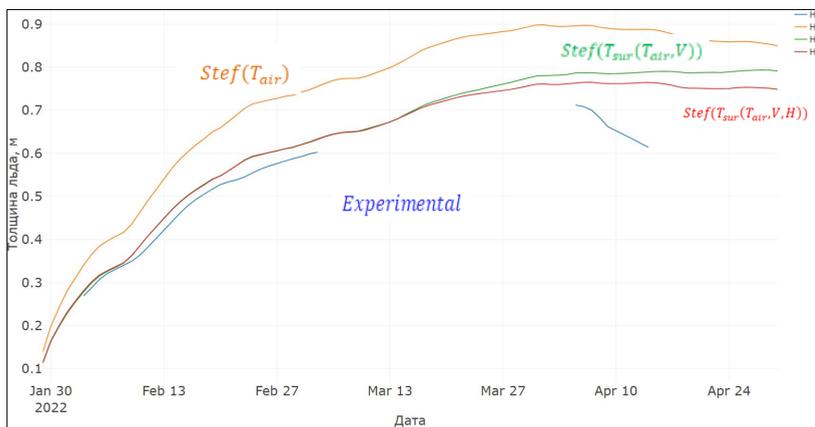


Рисунок 2 – Расчет толщины льда с учетом взаимодействия с атмосферой

Тепловой поток из воды в лёд может быть найден из условия теплового баланса на нижней границе льда:

$$Q_{wat} = Q_{ice} - Q_L = K \frac{dT}{dh} - \rho L \frac{dh}{dt}, \quad (2)$$

где Q_{wat} - тепловой поток из воды в лёд, Q_{ice} - тепловой поток во льду, Q_L - количество теплоты, выделяющееся в результате кристаллизации нового слоя льда.

На рисунке 3 представлен расчет толщины ледяного покрова с учетом теплового потока из воды в лёд, рассчитанного по регрессии TV^2 .

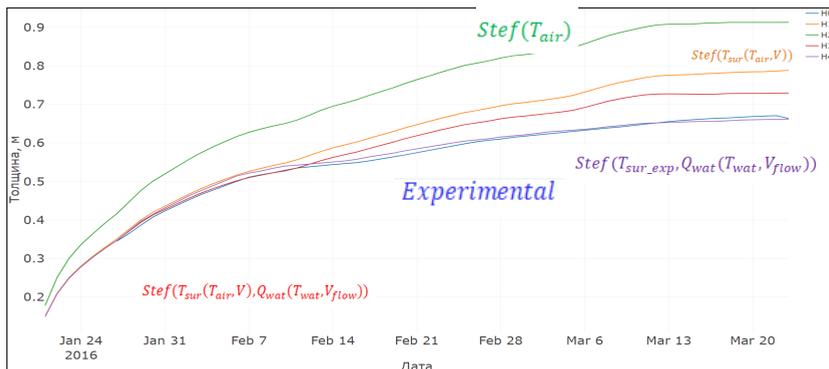


Рисунок 3 – Расчет толщины льда с учётом теплового потока из воды в лёд

Далее коэффициент экстинкции льда может быть оценён из соотношения [2]:

$$k_{ice} = \frac{-\ln\left(\frac{Q_{sun\,wat} \exp(k_{wat} 1,5)}{Q_{sun\,ice} (1 - \alpha_{ice})}\right)}{h_{ice}}, \quad (3)$$

где $k_{wat} = 0,18$ – коэффициент экстинкции воды, $Q_{sun\,wat}$ – интенсивность излучения, регистрируемая датчиком в воде на глубине 1,5 м, $Q_{sun\,ice}$ – интенсивность, регистрируемая датчиком на поверхности льда, h_{ice} – толщина ледяного покрова, α_{ice} – альbedo льда.

Тогда получаем $k_{ice} = 0,81$ для пасмурных дней и $k_{ice} = 1,31$ для ясных дней. Обязательно надо учесть солнечную радиацию, это представлено на рисунке 4.



Рисунок 4 – Значения толщины льда с учетом радиации

Для проверки усовершенствованной формулы Стефана мы взяли экспериментальные данные толщины льда на Байкале за 1953 – 1954 годы (рисунки 5, 6).

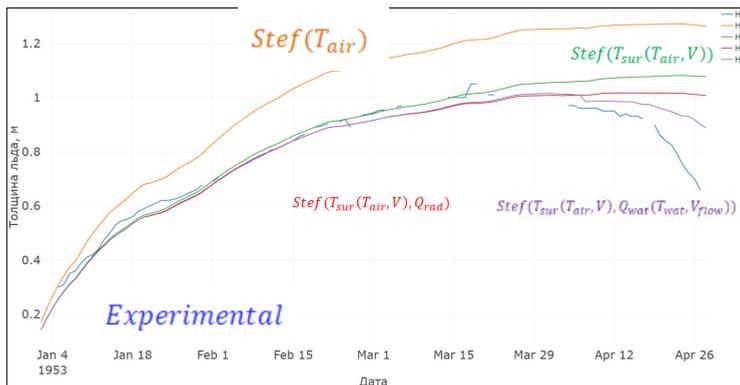


Рисунок 5 – Проверка результатов для данных 1953 г.

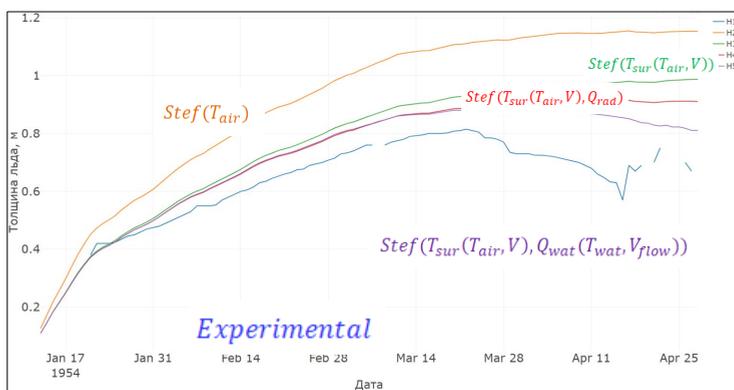


Рисунок 6 – Проверка результатов для данных 1954 г.

Формула Стефана, учитывающая взаимодействие с атмосферой, значительно сокращает разрыв между расчётным и экспериментальным значением толщины льда, однако учёт ещё ряда факторов даёт более точный результат.

Формула Стефана с учётом солнечной радиации стабильно даёт заниженные результаты, однако в ряде случаев они довольно близки к реальной динамике толщины ледяного покрова. Это объясняется тем, что, несмотря на неточный учёт солнечной радиации, приходящей в лёд, учитываемый поток излучения эквивалентен суммарному реальному действию солнечной радиации и теплового потока из воды в лёд на динамику толщины льда. Однако этот результат может быть неверным для чересчур ясных или облачных годов, когда солнечная радиация, поглощаемая льдом, велика или мала по сравнению со среднестатистическим годом соответственно.

При учёте различных параметров точность вычисленного результата неодинакова. На основе этих наблюдений можно сделать вывод о том, какой параметр в какой период оказывает решающее влияние на динамику толщины ледяного покрова и как можно улучшить результат учёта того или иного параметра.

Полученная усовершенствованная формула Стефана может с хорошей точностью описывать процесс формирования ледяного покрова, но с наступлением весеннего периода и началом таяния льда ошибка расчёта начинает возрастать. Для уточнения модели в период таяния ледяного покрова требуются экспериментальные данные по оптическим свойствам снежного и ледяного покрова [3]. Это позволит улучшить

результат расчётов не только для весеннего периода, но и для зимнего периода в те года, когда наблюдается увеличенная толщина снежного покрова.

Измерение толщины льда в натуральных условиях производится преимущественно вручную, при этом, как правило, используются методы, обладающие малой точностью, например, бурение льда и измерение ледомерной рейкой. При таком методе измерений нижний слой льда откалывается, что вносит неизбежные ошибки.

В 50-60-е годы на Байкале был разработан метод, при котором в лед вмораживалась нихромовая струна с грузом. При подключении к источнику питания струна разогревалась, давая возможность вытянуть ее из льда и измерить длину свободного конца. Такой метод по сравнению со сверлением имеет гораздо большую точность и при этом практически не оказывает влияния на нарастание ледового покрова. Рассмотренные методы измерения требуют присутствия экспериментатора, и их периодичность исчисляется сутками и более.

Исторически на Байкале метеопараметры измерялись 3 раза в сутки: в 8:00, 14:00 и в 20:00. Измерения включали в себя: температуру воздуха и скорость ветра.

В 70-80 годы применялись самописцы, позволяющие получать недельные записи: термограф, барограф, гидрограф. Кроме того, проводились ежесуточные измерения метеопараметров в 16:30. Измерения включали в себя температуру воздуха, влажность воздуха и скорость ветра.

В современное время в Лимнологическом институте СО РАН было разработано и изготовлено специализированное оборудование – Автономный ледовый комплекс. Разработанный комплекс позволяет в режиме *insitu* в течение нескольких месяцев автономно выполнять непрерывный мониторинг вертикального распределения температуры в прилёдном воздухе, ледовой толще и подледном слое воды при одновременной регистрации поступающей и проходящей в ледовый покров солнечной радиации, скоростей подледных течений, а также толщины ледового покрова с высокой точностью.

Дальнейшее уточнение формулы Стефана, включающее взаимодействие с подлёдными слоями воды, прогнозирование даты ледостава и уточнение влияния солнечной радиации, планируется в последующих работах.

Список литературы

1. *Stefan J.* Über die Theorie der Eisbildung, insbesondere über die Eisbildung im Polarmeere / *Stefan J.* // *Annalen der Physik und Chemie.* – 1891. – 42, – С. 269–286.
2. *Цуриков В.Л.* Несколько замечаний относительно формул нарастания ледяного покрова / *Цуриков В.Л.* // *Труды байкальской лимнологической станции.* – 1939. – Т. 9. – С. 115 – 127.
3. *Kirillin G. et al* Turbulence in the stratified boundary layer under ice: observations from Lake Baikal and a new similarity model // *Hydrology and Earth System Sciences.* – 2020. – V. 24. – № 4. – P. 1691-1708. DOI: 10.5194/hess-24-1691-2020

ПОЛЯРНЫЕ ЦИКЛОНЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПОЛЕТЫ АВИАЦИИ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

Сунгурова Т.Г., Волобуева О.В.

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

Аннотация. В статье рассмотрены штормовые полярные циклоны, методы их моделирования, а также факторы, влияющие на полет воздушных судов. Полярные циклоны оказывают сильное влияние на полет авиации в арктическом регионе, что влечет за собой необходимость

заблаговременного прогнозирования арктических мезоциклонов и опасных явлений, возникающих в таких вихрях. Именно эта проблема является ключевой при изучении полярных циклонов.

Ключевые слова. Метеорология, полярные циклоны, опасные явления, арктический регион.

POLAR CYCLONES AND THEIR IMPACT ON AVIATION OPERATIONS IN THE ARCTIC REGION

Sungurova T.G., Volobueva O.V.

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), Saint-Petersburg

Annotation. The article discusses stormy polar cyclones, their modeling methods, as well as factors affecting the flight of aircraft. Polar cyclones have a strong impact on aviation flight in the Arctic region, which entails the need for early forecasting of Arctic mesocyclones and dangerous phenomena that occur in such vortices. This is the key problem in the study of polar cyclones.

Keywords. Meteorology, polar cyclones, dangerous phenomena, Arctic region.

В последние годы большое внимание метеорологов привлекают так называемые взрывные, или штормовые полярные циклоны, которые возникают за очень короткое время и по своей интенсивности сходны с тропическими ураганами. С ними связаны резкие ухудшения погодных условий и штормовые ветры [1]. Полярные циклоны в Северном Ледовитом океане обычно наблюдаются в холодный период года с октября по апрель. Взрывные циклоны представляют собой кратковременные, интенсивные мезомасштабные вихри, которые образуются над свободной ото льда поверхности океана к северу от полярного фронта. Размеры этих образований обычно менее 1000 км, а время жизни не превышает 1-2 дня [2]. Чаще всего полярные циклоны возникают возле кромки льда с большими градиентами различных гидрометеорологических характеристик, а также при наличии выносов холодного арктического воздуха на относительно теплую поверхность моря [3].

Основная сложность прогнозирования полярных циклонов заключается в отсутствии регулярных метеорологических судовых наблюдений в очагах их формирования. На основании данных обычных наблюдений их возникновение отследить практически невозможно. В результате «взрывного» характера и небольшого размера полярные мезоциклоны достаточно редко видны на синоптических картах в виде области замкнутых изобар [1]. В Районах основного распространения полярных циклонов основным источником информации о них являются спутниковые наблюдения [2]. Существуют различные методы моделирования штормовых полярных циклонов. Одним из них является численный метод, который проводится в рамках полной системы уравнений газовой динамики с учетом переноса инфракрасного излучения и других характеристик. Согласно модели, циклонические течения формируются при возникновении изгибов арктического фронта. Если возникает участок фронта, изогнутый на север, длиной 500–600 км с максимальным отклонением в меридиональном направлении 100 км или более, то в течение 15 часов к западу от изгиба формируется циклоническое горизонтальное вихревое течение. Если возникает изогнутый на юг участок фронта при тех же условиях, то в течение 20 часов к востоку от изгиба формируется циклоническое горизонтальное вихревое течение [4]. Другим методом является использование трехмерной негидростатической модели WRF-ARW. Эта модель хорошо воспроизводит случаи возникновения полярных циклонов, однако обычно недооценивает среднее значение скорости ветра на несколько метров в секунду, а моделируемые треки циклонов часто отклоняются от наблюдавшихся со спутников на несколько сотен километров [5].

Изучению полярных циклонов уделяется большое внимание, так как несмотря на относительно небольшие пространственные и временные масштабы они могут создавать опасные условия, влияющие на прибрежную и морскую деятельность, такую как рыболовство, транспорт, добыча углеводородов и др. Для полярных циклонов характерны сильные порывы ветра, снегопад, обледенение судов и сооружений, ухудшение видимости, высокие волны и т.д. [6]. На полет авиации они также оказывают сильное влияние, связанное с возникновением различных опасных атмосферных явлений. Неустойчивость метеорологической обстановки, низкие температуры и большая повторяемость опасных явлений погоды отрицательно влияют на безопасность полетов [7]. В районах взлета и посадки самолетов и вертолетов в Арктической зоне часто возникают опасные явления для авиации: сильный ветер у земли, сильная турбулентность, сдвиг ветра, град, смерч, шквал, ледяной дождь, низкая облачность, обледенение, гололед, низкая температура воздуха, плохая видимость при тумане, снеге, метели [8].

Наиболее опасным явлением, возникающим в зоне действия полярного циклона, является обледенение. Обледенение авиации есть не что иное как образование твердых кристаллов воды на поверхности воздушного судна, которое значительно ухудшает его аэродинамические качества и является одним из опасных факторов погоды, способным привести к катастрофе [9]. Обледенение — это отложение льда на обтекаемых частях самолетов и вертолетов при полете в облаках, тумане, переохлажденном дожде или мокром снеге. Неблагоприятными факторами, влияющими на полет воздушного судна, является: увеличение веса самолета или вертолета, обледенение элементов двигателя, ухудшение радиосвязи за счет отложений льда на антеннах и нарушение обтекания крыльев и других частей воздушных судов. Наибольшему воздействию обледенения подвержены вертолеты из-за меньшей высоты полета. Оно в основном возникает при температурах от 0 до -20 градусов при прохождении через слоистые и слоисто-кучевые облака. Для борьбы с обледенением чаще всего химически обрабатывают воздушные суда перед взлетом.

К другим факторам, затрудняющим полет воздушных судов в Арктическом регионе, можно отнести наличие полярного дня и полярной ночи, очень низкие температуры воздуха в зимний период, сильные снегопады, большую повторяемость явлений погоды, ухудшающих или искажающих видимость, плохое прохождение радиосвязи и малое количество метеорологической информации по районам полетов. Наиболее важный фактор, влияющий на полет воздушного судна — это ветер. При наличии зоны встречного ветра необходимо изменять траекторию полета, что значительно увеличивает расход топлива [7].

В результате можно сделать вывод, что полярные циклоны оказывают значительное влияние на полет авиации в арктическом регионе, что влечет за собой необходимость заблаговременного прогнозирования арктических мезоциклонов и опасных явлений, возникающих в таких вихрях.

Список литературы

1. *Ефимова Ю.В., Булгаков К.Ю., Федосеева Н.В., Неелова Л.О., Угрюмов А.И., Лаврова И.В.* Анализ основных механизмов формирования «взрывных» полярных циклонов // Ученые записки Рос. гос. гидрометеорол. ун-та. 2018. № 52. С. 9–20.
2. *Нестеров Е.С.* Экстремальные циклоны над морями европейской части России // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. Т. 376. № 1. С. 97-115.
3. *Kolstad E.W.* Higher ocean wind speeds during marine cold air outbreaks // Quart. J. Roy. Met. Soc. 2017. Vol. 143, no. 706. P. 2084-2092.

4. Механизм формирования полярных циклонов и возможность их предсказания по данным спутниковых наблюдений Мингалев И.В., Орлов К.Г., Мингалев В.С. // Космические исследования. 2012. Т. 50. № 2. С. 166-175.
5. Гидродинамическое моделирование полярных циклонов Ярусов К.И. // В сборнике: Земля и Человек. Актуальные вопросы современного состояния окружающей среды. Сборник статей Межвузовской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной празднованию 90-летия Российского государственного гидрометеорологического университета. 2020. С. 136-139.
6. *Нестеров Е.С., Жупанов В.Д., Федоренко А.В.* Особенности формирования и эволюции полярного циклона в Баренцевом и Карском морях в декабре 2020 года // Гидрометеоролог. исслед. и прогнозы. 2021. № 3(381). С. 44–52.
7. *Дробжева Я.В., Волобуева О.В.* Особенности метеорологического обеспечения авиации в Арктической зоне: Учебное пособие. – СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2022. – 76 с.
8. Оперативное информирование экипажей воздушных судов об опасных метеоявлениях в районах арктических посадочных площадок // Текст научной статьи по специальности «Энергетика и рациональное природопользование». 2018. С. 137-149.
9. *Исаков Д. Е., Бучнев А. Н.* Обледенение как опасный фактор явления погоды в разных регионах России // Актуальные исследования. 2024. №6 (188). Ч.1. С. 39-42.

АНАЛИЗ СЛУЧАЕВ ФОРМИРОВАНИЯ СДВИГА ВЕТРА В РАЙОНЕ АЭРОДРОМА ПЛАТОВ

Васильев И.В., Волобуева О.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
va5iljev.ig0r@yandex.ru

Аннотация. Актуальность данной работы заключается в том, что сдвиг ветра является одной из частых причин авиационных происшествий, обусловленных воздействием на лётные характеристики воздушных судов. По этой причине исследование данного явления является важным вкладом в улучшение прогнозирования. Цель исследования заключается в анализе влияния сдвига ветра на полёты летательных аппаратов. Основные задачи включают в себя анализ информации, получаемой с бортов воздушных судов, анализ данных зондирования атмосферы, а также исследование синоптических условий, способствующих формированию сдвига ветра.

Ключевые слова. Сдвиг ветра, ветер, авиационная метеорология, авиация, опасное явление.

ANALYSIS OF WIND SHEAR FORMATION CASES IN THE PLATOV AERODROME AREA

Vasilev I.V., Valobueva O.V.

Russian State Hydrometeorological University, St. Peterburg

Annotation. The relevance of the study lies in the fact that wind shear is one of the frequent causes of flight accidents due to the impact on the flight characteristics of aircraft. For this reason, the study of this phenomenon is an important contribution to better forecasting. The aim of the study is to analyze the effect of wind shear on aircraft flight. The main tasks include analyze information hazardous phenomena information from aircraft, the analysis of atmospheric sounding data, and the study of synoptic conditions that contribute to the formation of wind shear.

Keywords. Wind shear, wind, aviation meteorology, aviation, hazardous phenomenon.

Сдвиг ветра (WS – Wind Shear) – резкое изменение направления и/или скорости ветра в пространстве в районе аэродрома, включая восходящие и нисходящие воздушные потоки. Сдвиг ветра обнаруживается на всех высотах в атмосфере, но его наличие на высотах до 500 метров (1600 футов) является особенно важным для воздушных судов, производящих взлёт и посадку. На этих этапах значения относительной высоты и воздушной скорости воздушного судна близки к критическим, и поэтому судно особенно чувствительно к неблагоприятным воздействиям сдвига ветра [1].

Метеорологические условия, благоприятные для возникновения сдвига ветра:

1. *Потоки воздуха, связанные с фронтальными поверхностями.*

Резкое изменение скорости ветра вдоль поверхности, связанное с динамикой фронтальных поверхностей, вызвано разностью температур двух взаимодействующих воздушных масс. При анализе случаев сдвига ветра, связанных с деятельностью фронтов, не принимаются во внимания грозы, образующиеся на этих фронтах.

2. *Грозы.*

Детальная структура зрелого грозового очага представляет собой систему сильных восходящих и нисходящих воздушных потоков, которые при своём взаимодействии и переплетении вызывают сильнейшие сдвиги ветра.

3. *Морской бриз.*

Сдвиг ветра в морском бризе проявляется главным образом у поверхности земли вдоль передней кромки при продвижении фронта морского бриза в глубь суши, хотя сдвиг ветра меньшей величины присутствует и на большей высоте. Степень воздействия морского бриза в каком-либо конкретном месте в значительной мере определяется окружающими топографическими условиями; таким образом, он может носить сугубо локальный характер.

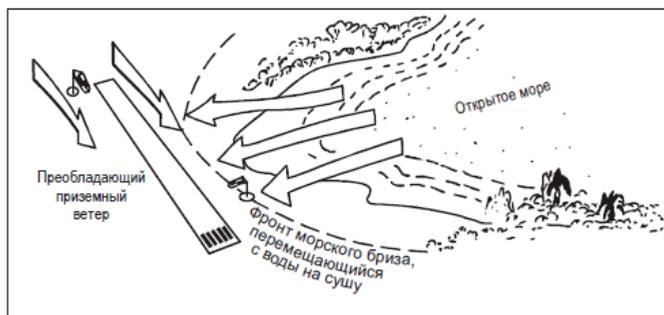


Рисунок 1 – Пример фронта морского бриза

4. *Ветер, обтекающий препятствия.*

Приземный ветер взаимодействует на пути преобладающего потока воздуха с препятствиями (холмы, деревья, здания), расположенными с наветренной стороны траектории вылета или захода на посадку, могут создавать местные сдвиги ветра. При подобных условиях сдвиг ветра может сопровождаться турбулентностью ясного неба.

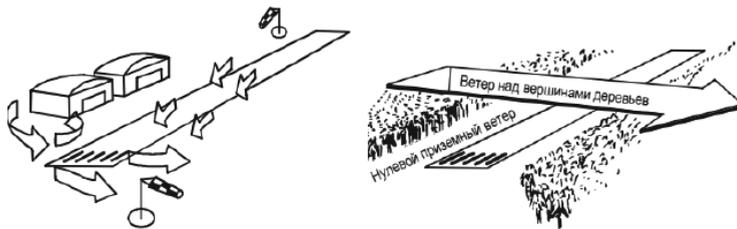


Рисунок 2 – Примеры ветра, обтекающего препятствия

5. Фронты порывов.

Грозы часто развиваются по организованным линиям, в связи с этим перед ними образуются фронты порывов, которые могут опережать грозовой очаг на 30-35 километров вперед. По своей структуре фронты порывов похожи на холодный фронт. Как и в случае с холодным фронтом, трение замедляет скорость холодного воздуха вблизи земли, что позволяет холодному воздуху на высоте около 200 м (600 фут) над уровнем земли вырваться вперед, образуя "нос". Внутри этого "носа" возникают циркуляции или завихрения, в центре и в следе которых сдвиг ветра и турбулентность особенно сильны.

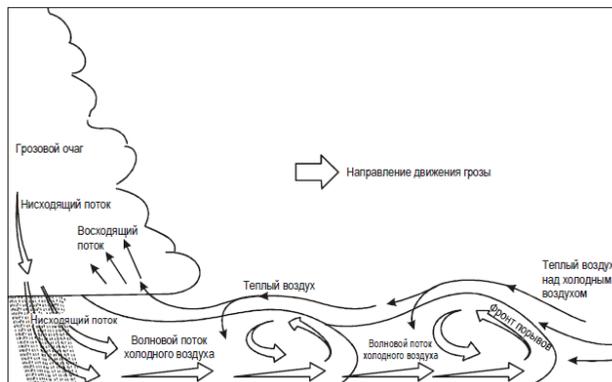


Рисунок 3 – Разрез типичного фронта порывов

Пилоту, при взлёте и заходе на посадку следует следить за показаниями приборов, а точнее, за резкими изменениями величины тяги, воздушной и вертикальной скорости, а также за изменением положения относительно глиссады при посадке.

Реакция ВС на изучаемое в этой работе явление зависит от многих факторов, включая тип ВС, масштаб воздействия сдвига ветра относительно размеров ВС, интенсивность и длительность воздействия и др.

Для исследования случаев сдвига ветра были использованы данные бортовой погоды АМЦ Платов (Ростов-на-Дону) за 2018-2022 гг.

В качестве первого примера ниже приведено сообщение от 9 февраля 2021 года, о сильном сдвиге ветра в зоне аэродрома Платов в 13:25 UTC, в слое от уровня земли до эшелона полёта FL020 (600 метров):

WX URRP 091325 NVS5876 SEV WS OBS AT 1325Z N4730E03956 FL000/FL020=

На рисунке 4 представлена синоптическая ситуация на приземной карте погоды, за 9 февраля 2021 года, 12:00 UTC.

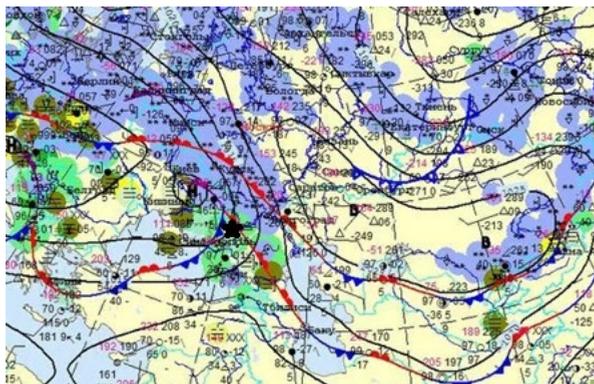


Рисунок 4 – Приземная синоптическая карта за 09.02.2021 г. 12 UTC

Аэродром Платов находился под воздействием фронтальной системы вблизи точки окклюзии.

Также для выбранных случаев были проанализированы данные зондирования атмосферы со станции 34731, Ростов-на-Дону. По данным зондирования можно сделать вывод о том, что наблюдалась инверсия от уровня земли до высоты 640 метров над уровнем моря, которая при прохождении фронтов привела к образованию сильного сдвига ветра.

Второй пример представлен ниже. Сообщение от 12 июля 2021 года, об умеренном сдвиге в зоне аэродрома Платов в 14:49 UTC, в слое от уровня земли до эшелона полёта FL040 (1200 метров):

WX URRP 121449 UTA367 MOD WS OBS AT 1444Z N4730E03956 FL000/FL020=

На рисунке 5 представлена синоптическая ситуация на приземной карте погоды, за 12 июля 2021 года, 12:00 UTC.

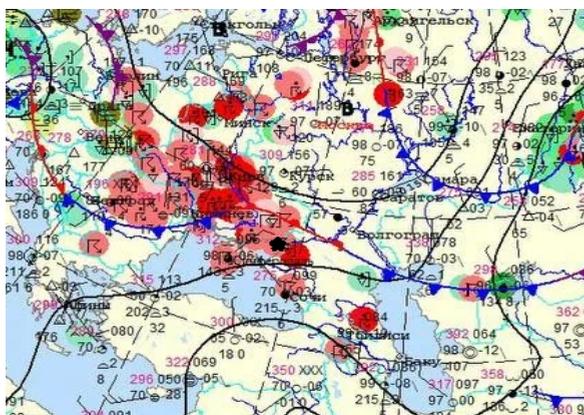


Рисунок 5 – Приземная синоптическая карта за 12.07.2021 г. 12 UTC

Аэродром находится под влиянием теплого сектора. В районе аэродрома наблюдается большое количество гроз.

По данным аэрологических наблюдений инверсия не наблюдалась. По анализу синоптической ситуации и данным зондирования атмосферы можно сделать вывод о

том, что формирование сдвига ветра было вызвано образовавшимся перед грозовыми очагами фронтом порывов.

Заключение. По результатам проведённого исследования можно прийти к выводу о том, что на формирование сдвига ветра оказывают влияние различные факторы, от фронтов порывов, до рельефа местности и взаимодействия фронтальных поверхностей. Для прогнозирования данного опасного явления нужно использовать анализ данных зондирования атмосферы, анализ синоптических ситуаций и данных бортовой погоды. Исследования процессов приводящим к формированию сдвига ветра в районе аэродрома Платов в дальнейшем будут продолжены.

Список литературы

1. Руководство по сдвигу ветра на малых высотах. Международная организация гражданской авиации (ИКАО), 2005.
2. Архив бортовой погоды АМЦ Платов
3. Приземные синоптические карты. [Электронный ресурс] <https://meteoinfo.ru/mapsynop>
4. Данные зондирования атмосферы [Электронный ресурс] <https://weather.uwyo.edu.html>

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА ТОЧНОСТЬ СТАНЦИОННЫХ ТЕРМОМЕТРОВ

Денисенко Г.К.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
dgk.rshmu@gmail.com

Аннотация. Выполнено компьютерное моделирование влияния скорости ветра и скорости изменения температуры среды на шкаловую и инерционную погрешности стационарных термометров.

Ключевые слова. Компьютерное моделирование, точность измерений, измерение температуры.

MODELING THE INFLUENCE OF THE EXTERNAL ENVIRONMENT ON THE ACCURACY OF STATION THERMOMETERS

Denisenko G.K.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Annotation. The article considers computer modeling of the influence of the wind speed and speed of change of the temperature on the scale and inertial errors of station thermometers.

Keywords. Computer modeling, measurement accuracy, temperature measurement.

В условиях стремительно меняющегося климата точность измерений является одним из важнейших направлений развития метеорологической науки. При этом проведение исследований о влиянии внешних факторов на точность измерений является достаточно сложным процессом. Одним из возможных решений данной проблемы может являться компьютерное моделирование определенных процессов.

В данной работе будет рассматриваться конкретная модель стационарного термометра ТМ-4, влияние внешней среды (конкретно скорости изменения температуры и скорости ветра) на них будет смоделировано с помощью метрологических формул для инерционной и шкаловой погрешности [1]:

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta h}{S}, \quad (1)$$

где: Δh – изменение высоты столбика жидкости, S – чувствительность прибора, вычисляющейся по следующей формуле для термометра с шарообразным резервуаром:

$$S = \frac{dh}{dt} = \beta \frac{4}{3r^2} \cdot R^3 \quad (2)$$

и цилиндрическим:

$$S = \beta \frac{R_1^2}{r^2} \cdot H, \quad (3)$$

где β – коэффициент объемного расширения жидкости, R и r – радиус резервуара шарообразного термометра и его капилляра. H – высота резервуара цилиндрического резервуара термометра. Нетрудно заметить, что шкаловая погрешность термометра зависит сугубо от внутренних характеристик самого прибора и, следовательно, в дальнейших расчетах её можно будет принять за некую постоянную.

Инерционная погрешность рассчитывается по следующим формулам для термометра с шарообразным резервуаром:

$$\Delta t_2 = \gamma \lambda = \gamma \frac{(R-d)^3 \rho_1 C_1 + (R^3 - (R-d)^3) \rho_2 C_2}{3\alpha R^2} \quad (4)$$

И для термометра с цилиндрическим резервуаром:

$$\Delta t_2 = \gamma \lambda = \gamma \frac{\rho_1 (R-d)^2 H C_1 + 2\rho_2 d \left((R - \frac{d}{2}) H + R^2 \right) C_2}{\alpha R (2H + R)} \quad (5)$$

где d – толщина стеклянной оболочки, равная 2,5мм, R – радиус цилиндрического резервуара, равный 7мм, γ – скорость изменения температуры среды, α – коэффициент конвективного обмена с окружающей средой, выражаемый по формуле для шарообразного резервуара:

$$\alpha = 19,0 + 32,3 \cdot V^{0,54} \quad (6)$$

и для цилиндрического:

$$\alpha = 24,49 + 30,67 \cdot V^{0,7} \quad (7)$$

где V – скорость ветра.

Тогда суммарная погрешность будет выражаться по формуле:

$$\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 \quad (8)$$

и обработки информации с помощью языка программирования python, конкретно библиотек numpy, tkinter, matplotlib и scipy. На рисунке ниже представлен пользовательский интерфейс программы:

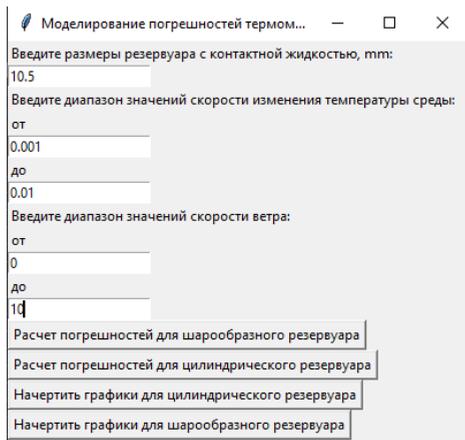


Рисунок 1 – Пользовательский интерфейс программы

Как можно видеть по рисунку выше, программа принимает на вход 5 значений – крайние значения диапазонов скорости изменения температуры среды, скорости ветра, а также размер резервуара с контактной жидкостью. Важно отметить, что согласно ГОСТ [2] резервуары термометров ТМ-4 могут иметь любые произвольные размеры (не указана минимальная и максимальная длина резервуара), именно поэтому была добавлена возможность ввести собственные значения размеров резервуара. Для того чтобы получить необходимые пользователю графики, он нажимает на кнопку «расчет погрешностей» для термометра с нужным ему резервуаром, а далее кнопку «начертить графики» для выбранного им типа термометра. Программа строит графики, и сохраняет их на компьютере в папке с программой.

Пример графиков, составленного программой при наборе данных, показанных на рис. 1.

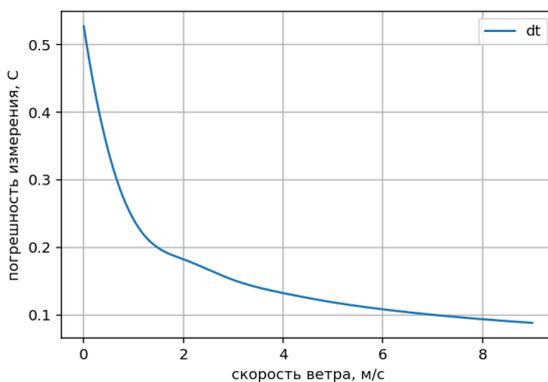


Рисунок 2 – График изменения абсолютной погрешности измерения термометра с цилиндрическим резервуаром относительно скорости ветра при скорости изменения температуры среды равной 0,005 К/с

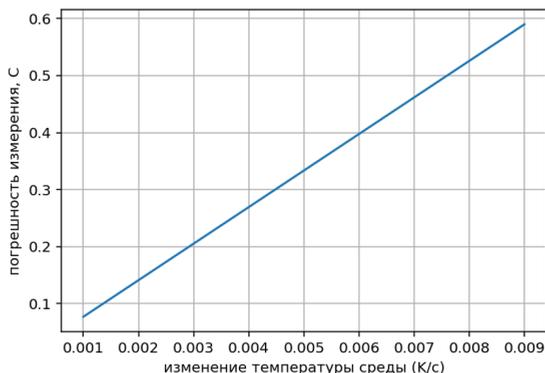


Рисунок 3 – График зависимости абсолютной погрешности измерения термометра с цилиндрическим резервуаром относительно скорости изменения температуры среды при скорости ветра равной 5м/с

Ввиду своей специфики жидкостные термометры имеют значительную инерцию, которая во многом зависит от условий измерений. Так, высокая скорость ветра положительно влияет на точность измерений благодаря тому, что она ускоряет теплообмен термометра со средой и уменьшает его инерцию. Условия, в которых влияние ветра на погрешность будет сводить погрешность к установленному ВМО значению $0,1^{\circ}\text{C}$ составляет примерно 7м/с . Высокая скорость изменения температуры среды, с другой стороны, негативно влияет на точность измерений, так как от неё напрямую зависит инерционная погрешность термометра. Термометр ТМ-4 удовлетворяет требованиям ВМО при условии, что температуры меняется не быстрее, чем $0,0013\text{К/с}$, что приблизительно соответствует $0,1\text{К/мин}$, что вполне соответствует реальным условиям изменения температуры среды. Редко в реальных условиях можно наблюдать атмосферные процессы, в результате которых в течение часа температура воздуха изменится на 6°C .

Список литературы

1. Григоров Н.О., Саенко А.Г., Восканян К.Л. Методы и средства гидрометеорологических измерений. Метеорологические приборы, 2012 – 306 с.
2. ГОСТ 112-78. Межгосударственный стандарт. Термометры метеорологические стеклянные. Технические условия. Стандартиформ. 2006.

ПОСТРОЕНИЕ РОЗЫ ВЕТРОВ

Иванов М.И.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
mishail325@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена методика построения розы ветров и указаны сферы ее применения.

Ключевые слова. Направление ветра, роза ветров, построение розы ветров.

BUILDING A WIND ROSE

Ivanov M.I.

Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg

Annotation. The article discusses the method of constructing a wind rose and indicates the scope of its application

Keywords. Wind direction, wind rose, wind rose formation.

Направление ветра – один из основных метеорологических параметров. Его значения важны для авиации и сельского хозяйства, необходимы в строительстве и военном деле. Направление ветра можно измерить разными приборами, например с помощью флюгарки по шкале от 0° до 360°. Показать распределение направлений ветра и их повторяемость за длительный период в конкретном месте позволяет роза ветров.

Роза ветров – это векторная диаграмма, исходной информацией для которой служит ряд, содержащий значения направления ветра, измеренные в различные моменты времени за определенный период.

Для построения розы ветров можно использовать следующие подходы:

- графическое построение (желательно, на миллиметровке);
- полуавтоматическое построение с использованием табличного процессора «Excel»;
- автоматическое построение с использованием макроса «РозаВетров» табличного процессора «Excel».

Для графического построения розы ветров необходимо построить основные оси координат – линии, проходящие с севера на юг, с запада на восток, с северо-запада на юго-восток и с юго-запада на северо-восток. Затем, просмотрев все значения ряда наблюдений, составить таблицу, содержащую информацию о повторяемости направления ветра в 8 секторах. Затем перенести табличные данные на диаграмму, выбрав масштаб (рис. 1). Но такой вариант удобен только при небольшом количестве значений направления ветра. При использовании данных от современных автоматических станций лучше использовать возможности пакетов программ, например табличный процессор «Excel».

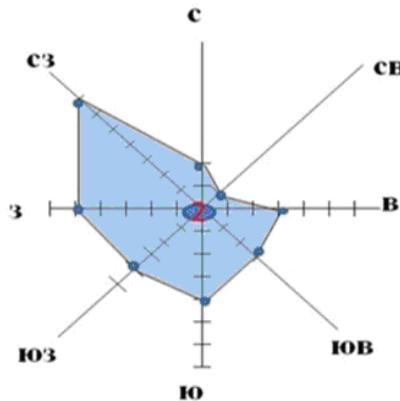


Рисунок 1 – Роза ветров (графическое построение)

Перед построением розы ветров средствами табличного процессора «Excel» [1] необходимо в одну колонку записать ряд значений направления ветра, а в другую с клавиатуры ввести 10 значений направления (табл. 1).

Таблица 1 – Подготовка данных для полуавтоматического построения розы ветров

	A	B
1	28	0
2	51	22.5
3	67	67.5
4	62	112.5
5	73	157.7
6	73	202.5
7	96	247.5
8	84	292.5
9	45	337.7
10	276	360
11	101	
12	107	
13	84	
14	146	
15	157	

После подготовки данных в пакете анализа выбрать опцию «Гистограмма», активизировать ее и ввести запрашиваемую информацию: входной интервал – это данные о направлении ветра, интервал карманов – это 10 значений направления, выходной интервал. Далее на листе появятся предварительные данные (табл. 2). Для построения розы ветров необходимо будет ввести с клавиатуры в колонку «E» 8 базовых направлений ветра (0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315), во вторую строку колонки «F» – сумму строк «3» и «9» из колонки «D», а в остальные строки колонки «F» значения частот из строк «4»-«10» колонки «D». Осталось только построить лепестковую диаграмму.

Таблица 2 – Представление итоговой информации для полуавтоматического построения розы ветров

	A	B	C	D	E	F
1	28	0	Карман	Частота		
2	51	22.5	0	0	0	15
3	67	67.5	22.5	6	45	83
4	62	112.5	67.5	83	90	264
5	73	157.7	112.5	264	135	545
6	73	202.5	157.7	545	180	252
7	96	247.5	202.5	252	225	79
8	84	292.5	247.5	79	270	45
9	45	337.7	292.5	45	315	61
10	276	360	337.7	61		
11	101		360	9		
12	107		Еще	0		

Для автоматического построения розы ветров можно воспользоваться макросом «РозаВетров» табличного процессора «Excel».[2] Для запуска макроса надо только вставить ряд со значения направления ветра в первую колонку на листе. После запуска макроса необходимо в диалоговом режиме ввести с клавиатуры номер колонки с данными и длину ряда с направлением ветра (рис. 2).

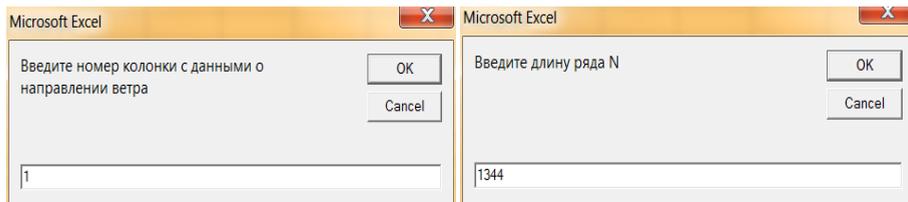
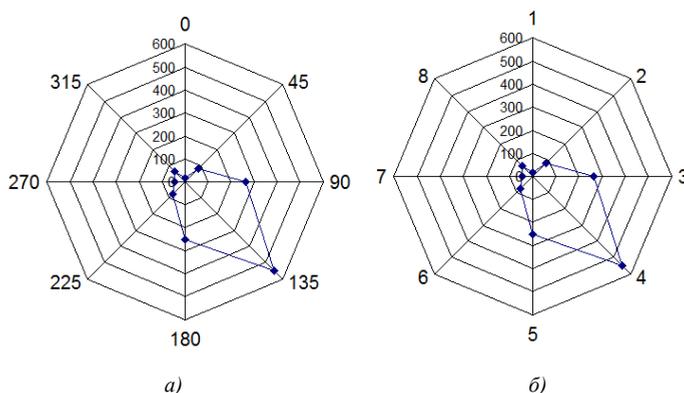


Рисунок 2 – Ввод номера колонки с данными и длины временного ряда

После работы макроса на Листе 1 появляется вспомогательная информация и две таблицы, позволяющие автоматически построить розы ветров с двумя видами оцифровки направлений: с номерами секторов и с оцифровкой секторов в градусах (рис. 3).



*Рисунок 3 – Розы ветров с двумя видами оцифровки направлений:
а) с оцифровкой секторов в градусах; б) с номерами секторов*

Подводя итог работы, отмечу, что при отсутствии компьютера и небольшом количестве значений направления ветра проще использовать графическое построение розы ветров. При обработке больших массивов информации подойдет как полуавтоматическое, так и автоматическое построение, а использование макроса «РозаВетров» табличного процессора «Excel» значительно ускоряет получение результата.

Список литературы

1. Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С. Автоматические метеорологические станции: в 2 т. — Ч. 2. Цифровая обработка данных автоматических метеорологических станций. Практикум. — СПб.: РГГМУ, 2015. — 99 с.
2. Кузнецов А.Д., Восканян К.Л., Сероухова О.С. Лабораторная работа «Роза ветров»

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРА

Грунина Е.О.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
katygr04@mail.ru

Аннотация. Главной задачей данной работы состоит в том, чтобы выяснить, как с течением времени изменялись приборы для измерения параметров ветра, и как развитие технологий повлияло на точность этих измерений.

Ключевые слова. Ветер, приборы, методы измерения параметров ветра, датчики.

ASSESSING THE POTENTIAL OF WIND ENERGY IN THE ARCTIC

Grunina E.O.

Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg

Annotation. The main objective of this work is to find out how wind measuring instruments have changed over time, and how technology development has affected the accuracy of these measurements.

Keywords. Wind, instruments, methods of measuring wind parameters, sensors.

Ветер — это движение воздуха относительно земной поверхности. Для оценки ветра проводится осреднение во времени его скорости и направления, а также выбор максимальных мгновенных значений скорости ветра (порывов) за период осреднения [1].

Флюгер Вильда — комбинированный метеорологический прибор для измерения направления и скорости ветра, сконструированный Г. И. Вильдом [2] (рисунок 1).



Рисунок 1 - Флюгер Вильда

Анемометр — это метеорологический прибор, который предназначается для измерения скорости воздушного потока, и, в частности, ветра [3] (рисунок 2).



Рисунок 2 – Анемометр

Анеморумбометр М63М-1 предназначен для измерения мгновенной, средней и максимальной скоростей, а также направления ветра [4] (рисунок 3).



Рисунок 3 – Анеморумбометр М63М-1

Измеритель параметров ветра Wind 30 предназначен для измерения мгновенной скорости и направления ветра, состоит из датчиков и измерительного многоканального дисплея [5] (рисунок 4).

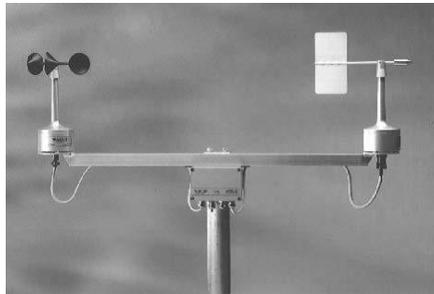


Рисунок 4 – Wind 30

Измеритель параметров ветра ИПВ-01 предназначен для измерения параметров ветра, состоит из преобразователей скорости ветра и преобразователя направления ветра [6] (рисунок 5).



Рисунок 5 – ИПВ-01

Список литературы

1. https://www.ects.ru/images/1666/Image/uchposmeteonabl_2020.pdf
2. https://ru.wikipedia.org/wiki/Флюгер_Вильда
3. <https://www.анеповд.рф/info/articles/anemometr.htm?ysclid=m7w5qgyzlw464591429>
4. <https://www.анеповд.рф/tech/docs/m63-m1-ps.pdf?ysclid=m7w5t7s8ve327543901>
5. <https://elis.psu.ru/node/305963?ysclid=m7w5upaaj131109739>
6. <https://dedast.ru/meteorologicheskoe-oborudovanie/izmeritel-parametrov-vetra-ipv-01/?ysclid=m7w5vpgql727512058>

СОСТАВ ВОЗДУХА ВЫСОКИХ СЛОЁВ АТМОСФЕРЫ. ВЛИЯНИЕ ЧЕЛОВЕКА

Сушицкая К., Ахунова А.

научный руководитель: Тенилова О.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
alf924@mail.ru

Аннотация. В верхние слои атмосферы входят - мезосфера, термосфера и экзосфера. Они находятся на расстоянии от 50 до 10 000 км над Землёй. В состав в основном входят водород и гелий, а также азот и кислород. С течением долгих лет, из-за деятельности человека (промышленных выбросов, выхлопных газов, сельского хозяйства, сжигания отходов и тд.) воздух начал меняться, что привело к необратимым последствиям. Мезосфера начала охлаждаться и сжиматься, появилось множество космического мусора, который вращается вокруг Земли, произошёл рост концентрации углекислого газа и другое. Это привело к началу изменения состава и физических свойств атмосферы, тепловому загрязнению, нарушению циркуляции воздушных масс, парниковому эффекту и тд.

Ключевые слова. Состав воздуха, атмосфера, мезосфера, термосфера, экзосфера, концентрация.

THE COMPOSITION OF THE AIR IN THE HIGH LAYERS OF THE ATMOSPHERE. HUMAN INFLUENCE

Sushitskaya K., Ahunova A.

supervisor: Tenilova O.G.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Annotation. The upper layers of the atmosphere include the mesosphere, thermosphere and exosphere. They are located at a distance of 50 to 10,000 km above the Ground. The composition mainly includes hydrogen and helium, as well as nitrogen and oxygen. Over the years, due to human activities (industrial emissions, exhaust gases, agriculture, waste incineration, etc.), the air began to change, which led to irreversible consequences. The mesosphere began to cool and contract, a lot of space debris appeared that orbits the Earth, there was an increase in carbon dioxide concentrations, and more. This led to the beginning of changes in the composition and physical properties of the atmosphere, thermal pollution, disruption of air circulation, greenhouse effect, and so on.

Keywords. Air composition, atmosphere, mesosphere, thermosphere, exosphere, concentration.

Цель работы: изучить состав верхних слоёв атмосферы и рассказать о влиянии человека на них.

Задачи:

- 1) Провести обзор и анализ существующих данных о составе воздуха верхних слоёв атмосферы.
- 2) Идентифицировать основные антропогенные факторы, влияющие на состав верхних слоёв атмосферы.

3) Оценить масштабы и динамику изменений концентраций основных компонентов воздуха в верхних слоях атмосферы.

Проблема заключается в недостаточном понимании долгосрочных эффектов антропогенного воздействия на состав и свойства верхних слоёв атмосферы и, как следствие, в отсутствии эффективных мер по смягчению этих последствий.

Актуальность темы:

Климатические изменения: Изменение климата является одной из наиболее острых глобальных проблем современности. Изучение влияния антропогенных факторов на верхние слои атмосферы необходимо для более точного моделирования климатических процессов и прогнозирования будущих климатических сценариев.

Разрушение озонового слоя: Разрушение озонового слоя, расположенного в стратосфере, приводит к увеличению потока ультрафиолетового излучения на поверхность Земли, что представляет опасность для здоровья человека и экосистем. Антропогенные выбросы, содержащие хлор и бром, являются основными причинами разрушения озона.

Объект исследования: Верхние слои атмосферы Земли: стратосфера, мезосфера, термосфера и экзосфера.

Предмет исследования: состав воздуха (концентрации основных и минорных компонентов, включая озон, парниковые газы, загрязняющие вещества) в верхних слоях атмосферы и влияние антропогенных факторов (промышленные выбросы и др.) на его изменения

В верхние слои атмосферы входят – мезосфера, термосфера и экзосфера. Состав воздуха в высоких слоях атмосферы значительно отличается от состава воздуха у поверхности Земли. По мере увеличения высоты происходят существенные изменения в концентрации различных газов. Разделение газов (Диффузия): В высоких слоях атмосферы молекулы газов имеют большую свободу движения, что приводит к их разделению по массе в процессе диффузии. Более тяжелые газы, такие как кислород и азот, остаются в нижних слоях атмосферы, а более легкие, такие как гелий и водород, преобладают в верхних слоях.

Мезосфера находится на расстоянии от 50 до 90 км над Землёй. Температура в этом слое достигает – 90 градусов, а годовое изменение температуры обратное: летом наблюдаются минимальные значения, а зимой максимальные. Из-за большого трения в мезосфере сгорают метеоры, что позволяет избежать их опасного столкновения с Землёй. Основные изменения связаны с уменьшением плотности атмосферы и увеличением воздействия солнечного излучения, особенно ультрафиолетового (УФ) и рентгеновского. В целом, мезосфера представляет собой сложную и динамичную область атмосферы, где происходят многочисленные физические и химические процессы, определяющие ее состав и свойства.

Состав воздуха:

Азот (N₂). В нижней части мезосферы (около 50 км) азот составляет примерно 78% от общего объема воздуха, как и в тропосфере. Однако к верхней границе мезосферы (около 85 км) его концентрация снижается, является основным компонентом.

Кислород (O₂) концентрация также уменьшается, поскольку молекулярный кислород начинает диссоциировать (распадаться) под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца. Этот процесс приводит к образованию атомарного кислорода (играет важную роль в химических реакциях, происходящих в мезосфере, включая процессы свечения ночного неба) $O_2 + h\nu$ (ультрафиолет) $\rightarrow 2O$

Аргон (Ar) инертный газ, его концентрация сохраняется относительно стабильной.

Озон (O_3) его концентрация значительно ниже, чем в озоновом слое стратосферы. Однако, озон все еще присутствует и поглощает некоторую часть ультрафиолетового излучения.

Водяной пар (H_2O) его концентрация в мезосфере очень мала. Большинство водяного пара конденсируется и выпадает в виде осадков в более низких слоях атмосферы. Однако небольшое количество водяного пара может подниматься в мезосферу и участвовать в образовании серебристых облаков (ночных светящихся облаков) вблизи верхней границы мезосферы.

Углекислый газ (CO_2) и другие присутствуют, но их концентрации крайне малы.

Термосфера расположена на расстоянии от 90 км до 700 км над Землёй. Температура возрастает и может варьировать от -93 до 1727 градусов. Давление в центральной её части в 1 млн. раз меньше, чем у поверхности Земли, частицы газа имеют большое расстояние между собой, это создаёт условия вакуума.

Состав воздуха:

Атомарный кислород (O) доминирующий компонент термосферы. Молекулярный кислород (O_2) из нижних слоёв атмосферы диссоциирует на атомарный кислород под воздействием ультрафиолетового и рентгеновского излучения Солнца:

Азот (N_2): Хотя азот присутствует, его концентрация значительно меньше, чем атомарного кислорода. Он также подвергается ионизации и диссоциации, но в меньшей степени, чем кислород.

Ионизированные газы (O^+ , N_2^+ , N^+). Ионизация – это процесс, при котором атом или молекула теряет или приобретает электрон, превращаясь в ион. Ионизация играет ключевую роль в формировании ионосферы. Основные ионы: O^+ (ионы атомарного кислорода), N_2^+ (ионы молекулярного азота), N^+ (ионы атомарного азота)

Свободные электроны (e^-) образуются в процессе ионизации. Концентрация свободных электронов в термосфере/ионосфере определяет её способность отражать радиоволны.

Гелий (He): Лёгкий газ, концентрация которого начинает увеличиваться с высотой.

Водород (H): Самый лёгкий газ, его концентрация также увеличивается с высотой, особенно в верхних областях термосферы, приближающихся к экзосфере.

Состав термосферы не является однородным и изменяется с высотой. Основные тенденции: С ростом высоты концентрация всех газов уменьшается. Это связано с уменьшением плотности атмосферы. Соотношение между различными газами меняется. Более лёгкие газы (He , H) становятся относительно более распространёнными с высотой, в то время как концентрация более тяжёлых газов (O , N_2) уменьшается быстрее. Степень ионизации увеличивается с высотой, достигая максимума в определённых слоях ионосферы.

Термосфера содержит ионосферу – область, где концентрация ионов и свободных электронов достаточно высока, чтобы оказывать влияние на распространение радиоволн. Ионосфера делится на несколько слоёв (D, E, F1, F2), которые характеризуются различной степенью ионизации и отражающими свойствами. Концентрация электронов в ионосферных слоях зависит от солнечной активности, времени суток и времени года.

Факторы, влияющие на состав: солнечное излучение, космические лучи, солнечная активность, диффузия.

Экзосфера граничит с космосом и находится на расстоянии от 800 до 3000 км над Землёй. Температура может достигать 2000 градусов и состоит из разреженного воздуха. Плотность атмосферы в экзосфере настолько мала, что она практически переходит в космический вакуум. Экзосфера постоянно теряет легкие газы в космос, что влияет на эволюцию атмосферы Земли.

Состав воздуха:

Гелий (He) является преобладающим газом на больших высотах.

Водород (H) самый распространенный элемент в экзосфере. Благодаря своей низкой массе, атомы водорода получают достаточно энергии от солнечного излучения, чтобы подниматься в верхние слои атмосферы и даже покидать ее, улетающая в космос.

Атомарный кислород (O) концентрация, которого продолжает уменьшаться, присутствуют ионы.

С течением долгих лет, из-за деятельности человека (промышленных выбросов, выхлопных газов, сельского хозяйства, сжигания отходов и т.д.) воздух начал меняться, что привело к необратимым последствиям. Также и сама природа может загрязнять атмосферу (например: извержение вулканов, они являются самыми мощными загрязнителями, крупное извержение может быть сопоставимо с суммарными выбросами многих промышленных предприятий за несколько лет; лесные пожары; биологический распад; ветровая эрозия).

Таблица 1 – Состав воздуха в высоких слоях атмосферы.

Слой	Основные газы	Особенности
Мезосфера	O, N ₂	Ионизация, низкая плотность
Термосфера	O (атомарный кислород), ионизированные газы	Высокая температура, ионосфера, очень низкая плотность
Экзосфера	He, H	Улетучивание газов в космос, очень низкое давление

Загрязнение атмосферы человеком приводит к ряду существенных изменений в ее составе, структуре и функциях. Эти изменения, в свою очередь, оказывают серьезное воздействие на климат, здоровье людей и состояние окружающей среды.

1. Происходит рост концентрации парниковых газов, они происходят из-за сжигания топлива для производства энергии, промышленных процессов и сельского хозяйства. Парниковые газы обладают способностью поглощать и переизлучать инфракрасное (тепловое) излучение, которое испускает Земля. Это приводит к задержке тепла в атмосфере, что вызывает повышение средней температуры на планете. Этот процесс известен как парниковый эффект.

2. Охлаждение верхних слоев атмосферы. Увеличение концентрации углекислого газа (CO₂) в атмосфере, вызванное сжиганием ископаемого топлива и вырубкой лесов, приводит к усилению парникового эффекта в нижних слоях (тропосфере). Однако, в верхних слоях атмосферы CO₂ не задерживает тепло, а наоборот, способствует его излучению в космос. Это приводит к сжатию термосферы и мезосферы из-за уменьшения плотности воздуха в следствии охлаждения.

3. Изменение химического состава. Загрязняющие вещества, такие как оксиды азота (NO_x) и метан (CH₄), могут подниматься в верхние слои атмосферы и участвовать в химических реакциях, влияющих на концентрацию озона и ионизацию.

4. Загрязнение космическим мусором, который вращается вокруг Земли. Запуски ракет и эксплуатация спутников приводят к увеличению количества космического мусора на орбите.

5. Ракетные запуски. Выбросы от ракетных двигателей, особенно твердотопливных, содержат оксиды азота, воду, хлор и другие вещества, которые могут разрушать озон и загрязнять верхние слои атмосферы.

Это привело к началу изменения состава и физических свойств атмосферы (температуры, плотности, давления и тд), тепловому загрязнению, нарушению циркуляции воздушных масс, парниковому эффекту и тд.

С 1750 года, начала индустриальной эпохи, состав атмосферы значительно изменился из-за деятельности человека:

- Углекислый газ.

Концентрация в 1750: Приблизительно 280 ppm (частей на миллион).

Концентрация в настоящее время (2024 год): Около 420 ppm.

Увеличилось на 50%

- Метан (CH₄):

Концентрация в 1750 году: Приблизительно 722 ppb (частей на миллиард).

Концентрация в настоящее время (2024 год): Около 1900 ppb.

Увеличение более чем в 2,6 раза (примерно на 1178 ppb).

- Закись азота (N₂O):

Концентрация в 1750 году: Приблизительно 270 ppb.

Концентрация в настоящее время (2024 год): Около 335 ppb.

Увеличение примерно на 24% (примерно на 65 ppb).

- Озон (O₃):

Стратосфера: Концентрация озона в стратосфере уменьшилась из-за выбросов озоноразрушающих веществ (ХФУ, ГХФУ, галоны). Хотя благодаря Монреальскому протоколу ситуация улучшается, озоновый слой все еще не полностью восстановился.

- Тропосфера: Концентрация озона в тропосфере увеличилась.

Некоторые уже принятые меры по сокращению загрязнения:

- Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой (ООС): международное соглашение, принятое в 1987 году, направленное на поэтапный отказ от производства и использования хлорфторуглеродов (ХФУ), галонов и других озоноразрушающих веществ. Считается одним из самых успешных международных экологических соглашений.

- Киотский протокол и Парижское соглашение: международные соглашения, направленные на сокращение выбросов парниковых газов (CO₂, CH₄, N₂O и др.). Хотя основная цель - предотвращение глобального потепления, уменьшение выбросов этих газов также может смягчить охлаждение верхних слоев атмосферы, вызванное увеличением концентрации CO₂.

- Ограничение выбросов от авиации: использование экологически чистого авиационного топлива, произведенного из возобновляемых источников, может значительно сократить выбросы парниковых газов.

- Регулирование космической деятельности: меры по предотвращению образования космического мусора: Пассивация спутников после окончания срока службы (слив топлива, разрядка батарей), увод спутников с рабочей орбиты после окончания срока службы.

- Мониторинг и исследования: спутниковые наблюдения, наземные наблюдения, компьютерное моделирование.

Наука, изучающая физические процессы, происходящие в высших слоях атмосферы, состав и структуру, а также рассматривает взаимодействие между слоями и космическим пространством Земли и других небесных тел, называется аэрономия. Эта наука изучает атмосферу на высотах, где солнечное излучение и корпускулярные потоки начинают оказывать существенное влияние на её состав и свойства. Это область

примерно от 60 км (начало мезосферы) и выше, включая мезосферу, термосферу, экзосферу и ионосферу. Методы исследования у аэрономов такие: спутниковые измерения, наземные наблюдения, ракетные исследования, численное моделирование. Знания, полученные в аэрономии, важны для: радиосвязи, космической навигации и спутниковой связи, безопасности космических аппаратов, прогнозирования космической погоды, изучения климата.

В заключении хотелось бы сказать, что доклад подчёркивает растущую обеспокоенность по поводу влияния человеческой деятельности на высшие слои атмосферы. Хотя масштабы загрязнения и его непосредственные последствия могут быть менее очевидными, чем в нижних слоях атмосферы, накопленные данные свидетельствуют о существенных изменениях в химическом составе, температурном режиме и физических свойствах мезосферы, термосферы и экзосферы. Выбросы парниковых газов, разрушающих озон веществ, ракетные запуски и увеличение количества космического мусора – всё это вносит свой вклад в нарушение хрупкого баланса в верхних слоях атмосферы, что может иметь долгосрочные последствия для климата, функционирования космических технологий и безопасности околоземного пространства. Для эффективного решения этой проблемы необходимы дальнейшие научные исследования и наблюдения.

Список литературы

1. *Игнатьева Л. П., Чирцова М. В., Потапова М. О.* Гигиена атмосферного воздуха Иркутск: ИГМУ, 2015. – 79 с.
2. *Сулеев М. Г., Ганжа А. С., Тюрина С. Г.* Экологические проблемы атмосферы, 2017–15с.
3. *Журавлёва Екатерина* Всемирный полигон отходов
4. *Голицын Г. С., Зайцева Н. А.* Атмосфера Земли
5. *Хромов С.П., Петросяну М.А.* Метеорология и климатология. Учебник. — 8-е издание. — М.: Издательство Московского университета, 2012. — 584 с.

ГИДРОМЕТСЛУЖБА В ПЕРИОД ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

Комаристый М.С., Аминов Т.Р.

Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург
tagir.aminov.06@mail.ru maks4a1@mail.ru

Аннотация. Рассматривается влияние гидрометеорологической службы на итоговую победу СССР в Великой Отечественной Войне

Ключевые слова. Метеорология, погода, наблюдение, ученые, вклад.

HYDROMETEOROLOGICAL SERVICE DURING THE GREAT PATRIOTIC WAR

Komaristy M.S., Aminov T.R.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Annotation. The influence of the hydrometeorological service on the final victory of the USSR in the Great Patriotic War is considered.

Keywords. Meteorology, weather, observation, scientists, contribution.

Начало войны. Гидрометеорологическое обеспечение боевых действий Красной Армии в Великой Отечественной войне 1941-1945 годов - одна из самых славных страниц деятельности Гидрометеорологического бюро Красной Армии, внесшего достойный вклад в разгром фашистского агрессора 15 июля 1941 года было создано главное управление Гидрометеорологического бюро Красной Армии.

Главное гидрометеорологическое бюро и Центральный метеорологический институт вошли в состав Народного комиссариата обороны, непосредственно подчиненного Генеральному штабу, а на фронтах и в штабах войск были созданы гидрометеорологические отделы.

С первых же дней войны Государственная гидрометеорологическая служба начала работать на фронт. Генеральный директор Гидрометеорологической службы СССР (ГУГМС) Евгений Константинович Федоров был назначен генеральным директором Гидрометеорологической службы СССР и возглавил Гидрометеорологическую службу страны в годы войны. Синоптики-метеорологи отвечали за предоставление прогнозов погоды, сведений, донесений и разъяснений командованию частей Наркомата обороны и Наркомата ВМФ.

Эвакуация и перестановки. К июню 1941 года ГУГМС насчитывало около 30 000 сотрудников и 4377 действующих метеорологических, авиационных станций и форпостов. ГУГМС имела научно-техническое издательство, четыре завода по производству гидрометеорологического оборудования и ряд других предприятий.

В годы войны личный состав гидрометеорологических подразделений всех типов был переведен на военное или полувоенное положение. Это обеспечило нормальную работу гидрометеорологических станций и их филиалов, производственных, служебных и учебных заведений, сохранило специализированный состав специалистов гидрометеорологических станций.

Большая часть сотрудников института была эвакуирована. Так, из Ленинграда в Свердловск переехали сотрудники Главной геофизической обсерватории (ГГО) и Государственного гидрологического института (ГГИ). Часть сотрудников ГГИ была эвакуирована в Архангельск и Мурманск. Из Москвы в Свердловск была эвакуирована часть сотрудников Центрального метеорологического института, а в августе 1941 года на базе эвакуированных в Свердловск подразделений был создан Гидрометеорологический институт Красной Армии.

В это же время в Ленинграде действовали оперативные подразделения Центрального метеорологического института: До 22 июня 1941 года в Центральный метеорологический институт поступали метеорологические данные со всех советских и многочисленных зарубежных метеорологических станций. Однако с первого дня войны единого «мирового» прогноза погоды уже не существовало. Воюющие стороны классифицировали выпускаемые ими прогнозы погоды.

Для этого использовались собственные коды погоды. Если возникало хоть малейшее подозрение, что цифры были перехвачены и расшифрованы противником, коды немедленно менялись. Погодные данные стали настоящей военной тайной. Синоптические карты стали зеркальным отражением ситуации на фронте. По мере отступления наших войск ценные для синоптиков пункты закрывались вместе с разрушенными городами. Приходилось работать с неполной картой, на которой вся страна выглядела белой точкой.

Участие партизанских формирований в сборе метеорологической информации. В период Великой Отечественной войны на территории Белоруссии и Смоленской области в партизанских отрядах действовали люди, обученные методикам метеорологических наблюдений и умевшие обращаться с соответствующим оборудованием. Они самостоятельно осуществляли наблюдения, становясь неофициальными метеорологами, и передавали полученные данные о погодных условиях в Центральный штаб партизанского движения в Москве, а затем – в Центральный институт погоды.

Авиация. Авиационные подразделения особенно остро нуждались в достоверных метео-сведениях за линиями фронта, поскольку их операции зависели от погодных условий. Это привело к организации специализированных метеорологических групп,

которые за годы войны обеспечили около 4 миллионов вылетов советских ВВС, обеспечивая безопасность полетов.

Группы гидрологов и климатологов разработали подробные описания и справочные материалы по гидрометеорологическим условиям в районах боевых действий. Эти данные позволили создавать точные прогнозы уровня рек, что использовалось для организации водных заграждений и переправ. Правильная оценка погодных условий сыграла ключевую роль в планировании многих военных операций.

Парад на Красной площади 7 ноября 1941 года. В условиях, когда все метеостанции на западных окраинах Москвы были заняты противником, синоптики Тимирязевской академии, возглавляемые Витольдом Виткевичем, предсказали низкую облачность и снег, что сделало невозможной бомбардировку города.

Несмотря на метель, ПВО Москвы находились в полной боевой готовности, обеспечивая безопасность 25-минутного парада. В городе были развернуты 35 медицинских постов и 10 карет скорой помощи, а также мобилизованы специалисты для ликвидации возможных чрезвычайных ситуаций. Прогноз погоды, неблагоприятной для немецкой авиации, обеспечил проведение парада без помех.

Вклад метеосводок в военные операции. Знание особенностей снежного покрова позволило определить оптимальные сроки начала контрнаступления в районе Москвы в ноябре-декабре 1941 года. Прогноз резкого похолодания и прекращения распутицы способствовал успешному контрнаступлению на Южном Фронте.

Искусственное создание паводка на канале имени Москвы стало серьезным препятствием для продвижения немецких войск. Точные прогнозы погоды оказали значительное влияние на форсирование Днепра, зимние операции 1942-43 годов, оборону Сталинграда и многие другие ключевые события войны.

Несмотря на тяжелые условия, специалисты Гидрометслужбы разрабатывали методические пособия и поддерживали работу метеостанций в прифронтовой зоне. За годы войны многие из них были отмечены наградами за образцовое выполнение заданий Красной Армии. По окончании войны Гидрометслужба, обогащенная опытом, восстановила и усовершенствовала сеть станций на освобожденных территориях, создав высокоорганизованную и оснащенную службу для Вооруженных Сил.

Использование информации о погоде в боевых действиях

- В ходе Московской оборонительной операции знание проходимости снежного покрова для танков позволило определить сроки начала контрнаступления в ноябре и декабре 1941 года.

- Использование прогноза одновременного наступления резкого похолодания и прекращения таяния позволило успешно начать контрнаступление войск на южном фронте.

- Осуществление взлома льда искусственным паводком на канале им. Москвы. Разрушение льда путем искусственного затопления канала имени Москвы превратило его в серьезную водную преграду, что позволило остановить немецкое наступление севернее Москвы:

Гидрометеорологическое обеспечение играло важную роль в создании и успешной работе знаменитой «Дороги жизни» по льду Ладожского озера. В ходе Днепровской кампании летом и осенью 1943 года, наступательных операций на Волховском, Северо-Западном и Калининском фронтах зимой 1942 года, обороны Сталинграда и разгрома немецких группировок зимой 1942-43 годов точные прогнозы погоды играли важную роль в планировании боевых действий:

В январе-феврале 1942 года была оценена возможность движения танков по замерзшим болотам и замерзшим рекам в районе Тихвина, Ржева, Вязьмы и Твери. Это позволило планировать контрнаступление в то время, когда ожидалось улучшение

погоды. Гидрометеорологическое обеспечение сыграло важную роль в создании и успешном проведении знаменитого «Стиля жизни» на льду Ладожского озера.

Заключение. Несмотря на сложные условия, специалисты Гидрометбюро продолжали выпускать методические пособия и поддерживать деятельность сети метеорологических станций на фронте. В годы войны большое количество специалистов гидрометеорологической службы было награждено медалями и орденами за образцовое выполнение своих обязанностей в Красной Армии. Гидрометеорологическая служба вышла из войны с богатым опытом гидрометеорологического обслуживания как боевых действий, так и народного хозяйства.

После окончания Великой Отечественной войны Гидрометслужба вернулась к непосредственному выполнению своих задач и сформировала Военную гидрометеорологическую службу, которая к тому времени была прекрасно организована и оснащена. В то время сеть станций на оккупированных территориях была разрушена и разграблена. Однако с продвижением наших войск и освобождением оккупированных территорий эта сеть была восстановлена.

Список литературы

1. Сайт Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – <https://www.meteorf.gov.ru/about/history/vov/>
2. Сайт ФГОУВО «Российский государственный гидрометеорологического университета – <https://rshu.ru/pobeda75/>
3. Сайт Северо-западного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – <http://www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=787>

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ МЕТЕОРОЛОГИИ В XVII-XXI ВЕКЕ

Василевская В.М.

Научный руководитель: Тенилова О.В.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
nikulya.11.12@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена история развития метеорологии.

Ключевые слова. Наука об атмосфере, метеорология, история.

MAIN STAGES IN THE DEVELOPMENT OF METEOROLOGY IN THE XVII-XXI CENTURY

Vasilevskaya V.M.

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Abstract. The history of meteorology development is considered.

Keywords. Atmospheric science, meteorology, history.

Метеорология, как наука о атмосфере и атмосферных явлениях, прошла долгий путь развития с XVII века до XXI века. В начале этого периода основное внимание уделялось описанию погоды и наблюдению за атмосферными явлениями, что стало возможным благодаря изобретению различных метеорологических инструментов, таких как термометры и барометры. XVIII и XIX века ознаменовались освоением методов количественного анализа и формированием первых метеорологических служб. XX век принес немалые изменения: внедрение современных технологий, таких как радиозондирование и компьютерное моделирование, значительно повысило точность предсказаний погоды и углубило наше понимание атмосферных процессов. Сегодня

метеорология играет ключевую роль в отношении к изменению климата и устойчивому развитию, что подчеркивает важность её дальнейшего изучения и развития.

Цель работы: изучить историю развития метеорологии и её будущее.

Задачи:

- 1) Описать основные этапы в истории метеорологии.
- 2) Исследовать влияние научных открытий на развитие метеорологии.
- 3) Определить современные тенденции и перспективы развития метеорологии.

Проблема заключается в необходимости анализа и систематизации множества факторов, которые влияли на развитие метеорологии, для полного понимания её эволюции и значения в современном мире.

Актуальность темы:

Изучение истории метеорологии позволяет понять современное состояние науки, оценить прогресс в понимании атмосферных процессов и прогнозировании погоды, а также выявить перспективы дальнейшего развития в условиях меняющегося климата и растущей потребности в точных метеорологических данных для различных сфер деятельности.

Объект исследования:

Динамика развития метеорологии как науки и отрасли в историческом контексте XVII-XXI веков.

Предмет исследования: процесс эволюции метеорологии как науки и практики, начиная с появления первых приборов и систематических наблюдений за погодой в XVII веке, до современных методов прогнозирования, климатического моделирования и использования спутниковых данных в XXI веке.

Более конкретно:

- Развитие метеорологических приборов и технологий наблюдения.
- Эволюция методов анализа и прогнозирования погоды.
- Изменение представлений об атмосферных процессах и климате.
- Институциональное развитие метеорологии: создание метеорологических служб, международных организаций, научных сообществ и образовательных программ.
- Влияние социально-экономических факторов на развитие метеорологии.
- Вклад выдающихся ученых и исследователей в развитие метеорологической науки.
- Взаимосвязь развития метеорологии с другими научными дисциплинами.

Список литературы

1. Аскинази В.О. Главная геофизическая обсерватория, ее задачи и деятельность. Л., 1927.
2. Кароль Б.П. Д.И.Менделеев и метеорология. Гидрометеиздат, 1950.
3. Клоссовский А.В. Новейшие успехи метеорологии. Зап. Новоросс. ун-та, XXXV, 1882.
5. Тверской П.Н. Развитие метеорологии в СССР. Л., 1949.
6. Тихомиров Е.И. Одна из первых метеорологических инструкций. Климат и погода, 1929.
7. Тихомиров Е.И. Инструкция русским метеорологическим станциям XVIII в. Изв. ГГО, 1931.
8. Тихомиров Е.И. Фиц-Рой и современная метеорология. Метеор. вестн., 1932.
9. Всемирная метеорологическая организация. <https://public.wmo.int/ru>

Научное издание

**МАТЕРИАЛЫ III МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«АВИАЦИОННАЯ И СПУТНИКОВАЯ
МЕТЕОРОЛОГИЯ», ПОСВЯЩЕННОЙ
95-ЛЕТИЮ ОБРАЗОВАНИЯ РГГМУ**

**Санкт-Петербург,
19–20 марта 2025 г.**

Подписано в печать 24.07.2025. Формат 70×100/16.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 30,06. Тираж 30. Заказ 178.

Выпущено Издательско-полиграфической ассоциацией
высших учебных заведений с готового оригинал-макета,
предоставленного заказчиком
194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 28, литера А,
помещ. 3-н, ком. 191. Тел.: (812) 987-75-26
mediapapir@gmail.com www.mediapapir.com www.mediapapir.ru