МАТЕРИАЛЫ
I НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«МЫ – БУДУЩЕЕ МЕТЕОРОЛОГИИ»

Санкт-Петербург,
27 декабря 2024 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., доцент
Ермакова Т. С., к.ф.-м.н., доцент

Материалы I научно-практической конференции «Мы – будущее метеорологии». Санкт-Петербург, 27 декабря 2024 г. – СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2025. – 50 с.

В издании представлены материалы докладов участников конференции – студентов магистратуры Российского государственного гидрометеорологического университета – по направлениям своих 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.

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

Подписано в печать 09.07.2025. Формат 60×84/16.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 2,91. Тираж 30. Заказ 166.

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

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

ISBN 978-5-91155-431-6

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1
ПРИКЛАДНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

Ахмадеева А.И., Волобуева О.В.
ТИПИЗАЦИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И СИНОПТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ ТУМАНА НА АЭРОДРОМЕ ИРКУТСК 5

Иванова Т.И., Восканян К.Л., Кузнецов А. Д.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ СКОРОСТИ И ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ 12

Загидуллина Д.Д., Ефимова Ю.В.
АНАЛИЗ ЛЕТНЕГО КЛИМАТИЧЕСКОГО СЕЗОНА ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЕТР И БЕЛАРУСИ 14

Смирнова Я.А., Ефимова Ю.В.
АНАЛИЗ СИНОПТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ, ФОРМИРУЮЩИХ АНОМАЛЬНО ВЫСОКИЕ СУММЫ ОСАДКОВ НА ЮГЕ ПРИМОРЬЯ ЛЕТОМ 16

Малыгина Т.И., Кашлева Л.В.
СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГРОЗОВЫХ ОБЛАКОВ 18

Иванов М.М., Ефимова Ю.В.
АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ И ТЕРМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЕСЕННЕГО ПЕРИОДА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ В ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ 20

Миронова А.А., Лаврова И.В.
ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ НА КОЛИЧЕСТВА ЛЬДА В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ 21

СЕКЦИЯ 2
МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

Лумпова Н.С., Ермакова Т.С.
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВСП В ЮЖНОМ ПОЛУШАРИИ 25

Соколов А.В.
АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ СРЕДНЕЙ И ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ 27

Головко А.Г., Ермакова Т.С.
АНАЛИЗ СМЕЩЕНИЯ БАРИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ ЕВРАЗИИ В ПЕРИОД ВНЕЗАПНЫХ СТРАТОСФЕРНЫХ ПОТЕПЛЕНИЙ 28

Клецова В.А., Анискина О.Г.
ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УРБАНИЗАЦИИ НА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ПРИРОДНЫХ ЗОНАХ 30

Тюриков И.А.
СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ С ДАННЫМИ ГРОЗОПЕЛЕНГАТОРОВ 33

Бухарев А.А.
СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В МОДЕЛИ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ОКЕАНА 34

Нсабимана Шабани
ПРОГНОЗ ОСАДКОВ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ БУРУНИ С ПОМОЩЬЮ МЕЗОМАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ WRF-ARW 37

Фурлетов Н. М.
УЛУЧШЕНИЕ АЛГОРИТМА КЛАССИФИКАЦИИ МОЛНИЕВЫХ РАЗРЯДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ 39

Черкашин Д.М.
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕТАЛИЗИРОВАННОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ НА ПРОГНОЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ПО ДАННЫМ МОДЕЛИ WRF-CHEM 40

Тюриков И.А., Анискина О.Г.
МОДЕЛИРИВАНИЕ МЕЗОМАСШТАБНОЙ КОНВЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ В ВЫСОКОМ РАЗШЕНЕНИИ 41

Смирнова Я.А., Ефимова Ю.В., Лаврова И.В.
АНАЛИЗ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ НА ЮГЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА В ИЮЛЕ 45



СЕКЦИЯ 1

ПРИКЛАДНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

ТИПИЗАЦИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И СИНОПТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ ТУМАНА НА АЭРОДРОМЕ ИРКУТСК

Ахмадеева А.И., Волобуева О.В.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
alinaahmadeeva@hotmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются метеорологические и синоптические условия, способствующие образованию тумана на аэродроме Иркутск, с целью повышения безопасности авиационных перевозок и улучшения прогнозирования погодных условий. Результаты исследования представляют собой совокупность метеорологических характеристик атмосферы при разных синоптических условиях за период с 2019 по 2023 года.
Ключевые слова. Туман, синоптические условия образования тумана, метеорологические факторы, аэродром Иркутск.

TYPIZATION OF METEOROLOGICAL AND SYNOPTICAL CONDITIONS OF FOG FORMATION AT IRKUTSK AIRFIELD

Akhmadeeva A.I., Volobueva O.V.
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Abstract. This article discusses the meteorological and synoptic conditions that contribute to the formation of fog at the Irkutsk airfield, aiming to increase the safety of aviation transportation and improve the forecasting of weather conditions. The results of the study represent a set of meteorological characteristics of the atmosphere under different synoptic conditions for the period from 2019 to 2023.
Keywords. Fog, synoptic conditions for fog formation, meteorological factors, Irkutsk airfield.

Прогнозирование туманов имеет критическое значение для авиации. Во-первых, туман значительно снижает видимость, что может привести к затруднениям при взлете и посадке, увеличивая риск авиационных происшествий. Во-вторых, точные прогнозы тумана позволяют авиакомпаниям и аэропортам заранее планировать расписания рейсов, и в итоге минимизировать задержки и уходы на запасные аэродромы по метеорологическим условиям. Точный прогноз тумана на аэродроме способствует безопасности воздушного движения и слаженной работе всех причастных к полетам служб [1].

Исследование туманов на аэродроме Иркутск проводилось с использованием данных из архива авиационных сводок METAR за период с 2019 по 2023 год. Анализировались случаи, когда преобладающая видимость на всей взлетно-посадочной полосе (ВПП) была только менее 1 км, без учёта туманов клочьями или туманов, закрывающих небольшой участок ВПП. Использование точной метеорологической информации позволило выявить закономерности и характеристики туманов на аэродроме.

Расположение аэродрома Иркутск имеет свои географические и климатические особенности, которые влияют на образование туманов круглый год. Город Иркутск расположен в долине реки Ангара, с южной части города река перекрыта плотиной и в сторону озера Байкал располагается водохранилище. Город окружают высокие горные системы с юго-запада и средние с востока. Рельеф города пересеченный и сложный. Аэродром Иркутск находится в городе и в непосредственной близости от жилых частных домов. Местный климат резко континентальный, в течение всего года наблюдаются

сильные перепады температур в суточном ходе [2], незамерзающая полынья Ангары вызывает регулярные туманы в осенне-зимний период, увеличение влажности воздуха в прибрежной зоне также способствует увеличению количества туманов летом [3]. Летом при интенсивных лесных пожарах в городе задымляется воздух и из-за увеличения концентрации гигроскопичных взвешенных частиц образуются особо опасные и продолжительные для авиации туманы.

Для улучшения синоптического комплексного метода прогноза тумана на аэродроме Иркутск были составлены годовой и суточный ход тумана, выделены основные метеорологические характеристики и синоптические условия его образования.

Всего было исследовано случаев тумана 186, в среднем туман образуется 37 раз в год. Наибольшее количество туманов наблюдалось летом (46%), меньше осенью (32%), зимой 17%), весной (5%). Наибольшая повторяемость туманов в августе (23,1%), а наименьшая в апреле (0,5%). Можно отметить, как постепенно растет повторяемость от апреля к августу, а после падает к октябрю, когда заканчивается теплый период года. С началом холода количество туманов увеличивается в ноябре, что можно связать с влиянием незамерзающего водохранилища и увеличенной влажности в воздухе.

На рисунке 1 представлен годовой ход повторяемости туманов. Повторяемость туманов в течение года меняется следующим образом - максимальное количество туманов наблюдалось в августе – 23,1%, минимальное в апреле – 0,5%.

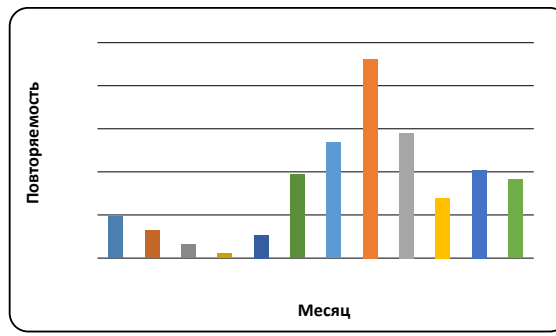


Рисунок 1 – Годовой ход повторяемости туманов на аэродроме Иркутск за период 2019-2023 гг.

Суточный ход изменяется в зависимости от сезона года. Летом туманы образуются ночью и рассеиваются через 1-2 часа после восхода солнца [4], максимум повторяемости в 5-6 утра. Осенью туманы появляются утром, иногда после восхода солнца, и могут продержаться до середины дня, максимальная повторяемость 6-7 утра. Зимой туманы чаще всего появляются вечером из-за увеличенной концентрации продуктов горения и утром после восхода солнца. Повторяемость зимой имеет два максимума в 2-3 часа ночи и 9-10 утра. Весной преобладающими являются фронтальные туманы, их появление происходит в ночное время, с максимальной повторяемостью в 8-9 утра. График суточного хода изображен на рисунке 2. На графике представлено местное время, когда наблюдался туман.

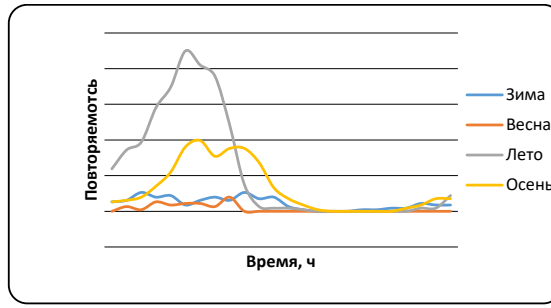


Рисунок 2 – Суточный ход туманов на аэродроме Иркутск

Непрерывная продолжительность туманов варьируется от менее часа до 13 часов. Наименее продолжительные туманы встречаются зимой, а наиболее - летом и осенью. Наибольшая повторяемость у туманов продолжительностью менее часа (34%). Наименьшая Повторяемость у туманов продолжительностью более 10 часов (1%). Повторяемость тумана как опасного явления для авиации (более 5 часов) составила 18%.

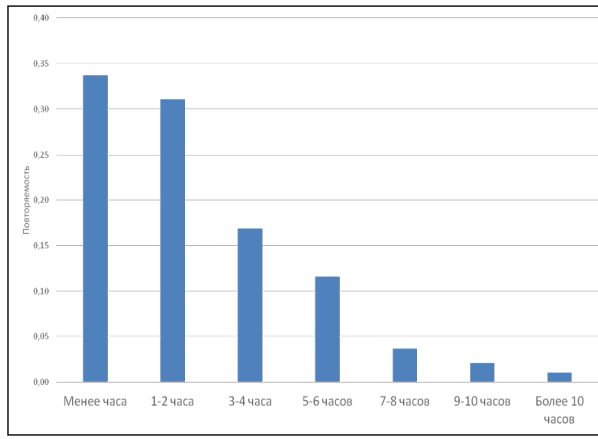


Рисунок 3 – Продолжительность туманов на аэродроме Иркутск

В ходе работы было выявлено, что преобладающую повторяемость случаев тумана на аэродроме по классификации [4] имеет радиационный характер (45,2%), меньше адвективно-радиационный (36%). Помимо них за 5 лет также наблюдались туманы: адвективные (1,6%), фронтальные (4,8% ХФ, 3,8% ТФ), антропогенные (5,2%) - морозные (1,6%), городские (печные) (2,7%), с пожарами (3,8%), испарения (0,5%). Повторяемость разных типов тумана за исследуемый период представлена на рисунке 4.

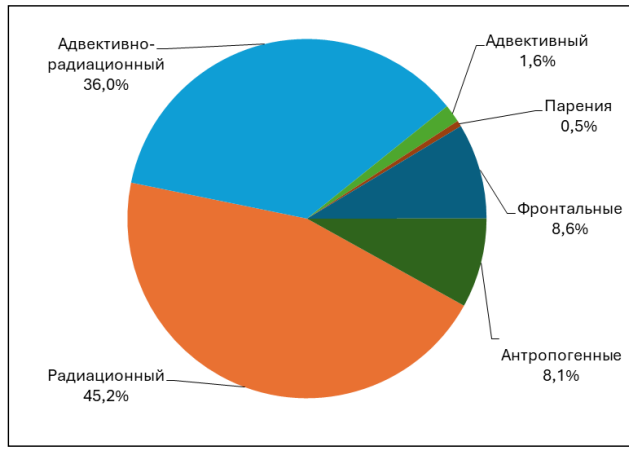


Рисунок 4 – Типы туманов на аэродроме Иркутск

Туманы с 2019 по 2023 год наблюдались при разных типах барических полей. Наиболее распространенными являлись: малоградиентные барические поля пониженного (20,4%) и повышенного (14,0%) давления; передняя и тыловая части гребня (10,7%); ось гребня антициклона (7,0%); антициклон и его периферия (12,9%); передняя и тыловая части ложбины (10,8%); ось ложбины (8,1%); бариическая седловина (5,4%); центр циклона (1,1%); тыловая часть циклона (4,8%); теплый сектор циклона (3,2%); северная периферия южного циклона (1,6%). Повторяемость синоптических условий при образовании тумана указана в таблице 1.

Таблица 1 – Синоптические условия образования тумана на аэродроме Иркутск

Барическое поле	Количество	Повторяемость
Антициклон	11	6%
Восточная периферия антициклона	9	5%
Западная периферия антициклона	1	1%
Северная периферия антициклона	3	2%
Передняя часть гребня	18	10%
Тыловая часть гребня	2	1%
Ось гребня	13	7%
Малоградиентное барическое поле повышенного давления	26	14%
Малоградиентное барическое поле пониженного давления	38	20%
Седловина	10	5%
Циклон	2	1%
Северная периферия циклона	3	2%
Тыловая часть циклона	9	5%
Теплый сектор циклона	6	3%
Ось ложбины	15	8%
Передняя часть ложбины	5	3%
Тыловая часть ложбины	15	8%
Всего	186	100%

Для образования радиационного тумана необходимы условия устойчивой атмосферы в малоградиентных барических полях, антициклонах, седловинах [4]. По

карте абсолютной барической топографии АТ-850 гПа должны наблюдаться гребни, размытые барические поля и гребни тепла. Туман образуется при слабом ветре, без существенного изменения приземного давления и охлаждении воздуха до состояния насыщения. Фактором для образования тумана является приземная инверсия температуры. Для прогноза радиационного тумана на аэродроме Иркутск используют метод А.С. Зверева [5].

При прогнозировании адвективно-радиационного тумана следует оценивать влияние турбулентного перемешивания и охлаждения воздуха. Туман появляется в осях ложбин, а также в передней и тыловой частях ложбины, в тылу циклонов, в теплых секторах циклонов, на восточных перифериях антициклонов, в седловинах и малоградиентных полях. По полю АТ850 могут наблюдаться барические гребни и ложбины, в термическом поле также более вероятен туман при гребне, но были случаи и с ложбинами.

Туманами испарения синоптики считают те туманы, которые возникли в следствии парения реки Ангара и Иркутского водохранилища в осенний период и сместились потоками ветра на район аэродрома. Наблюдаются такие туманы в утренние часы при минимальных температурах воздуха. Для парения водных объектов необходимы разница температур между водой и воздухом более 8 °С и устойчивая воздушная масса, слабый ветер [4]. Для того, чтобы туман испарения перешел на аэродром, должен быть устойчивый юго-западный, западный или северо-западный ветер до 3 м/с.

Условия для образования туманов антропогенного характера (городские, морозные и туманы в дыму от лесных пожаров) являются схожими с условиями для радиационного и адвективно-радиационного. Разница лишь в том, что ядрами для конденсации выступают частицы пепла, дым или продукты горения топлива самолётов. Городские туманы зимними вечерами образуются на аэродроме Иркутск при западном и северо-западном направлении ветра и скорости до 3 м/с, высокой влажности воздуха и пониженных температурах от -17 °С до -25 °С. Морозные туманы, как правило, появляются при температуре воздуха ниже -39 °С и влажности воздуха больше от 56%. Туман, который появился от повышенной концентрации пепла и смога от лесных пожаров, является наиболее опасным явлением для авиации, так как увеличивает продолжительность тумана и уменьшает метеорологическую дальность видимости. Для образования такого тумана необходимо, чтобы по ведущему потоку ветра находились очаги пожаров. Тогда город покрывает густым смогом и ядер конденсации становится в разы больше, чем при обычных условиях.

Наиболее интересные случаи образования тумана связаны с влиянием циклонов и их ложбин, а также с прохождением атмосферных фронтов.

Адвективные туманы в Иркутске наблюдались ранее только с выходом южных циклонов на территорию Забайкалья. Влажный теплый воздух перемещается южными и юго-восточными потоками на север. Туманы, как правило, продолжительные, а за ними следуют осадки в зоне неустойчивости северной периферии циклона. Метеорологические условия для образования тумана: слабый Ю-ЮВ ветер 1-4 м/с; приземная или приподнятая инверсия температуры; адвекция теплого влажного воздуха воздушной массы; разница температур в пункте прогнозирования и приходящей частицы по траектории движения воздуха должна быть от 3 ^{0}С.

Пример продолжительного адвективного тумана наблюдался 08.10.2020 с 04:06 до 13:18 местного времени. Непрерывная продолжительность явления составила 09 ч. 12 мин., что привело к нарушению регулярности полетов (уход AFL1442 а/к «Аэрофлот» на запасной аэродром Улан-Удэ в 01.23 ВСВ). Образование переохлажденного тумана наблюдалось во влажной воздушной массе (дефициты влаги 0 °С); при слабом падении

атмосферного давления на 1,2 гПа/3 часа; неустойчивом ветре преимущественно северо-восточного направления 1-3 м/с; на фоне сплошной облачности верхнего яруса. Адвекция теплого влажного воздуха была спровоцирована выходом южного циклона на районы Забайкалья. Кольцевая приземная карта с фронтальным анализом представлена на рисунке 5, а термобарическое поле на геопотенциальной поверхности АТ-850 гПа на рисунке 6.

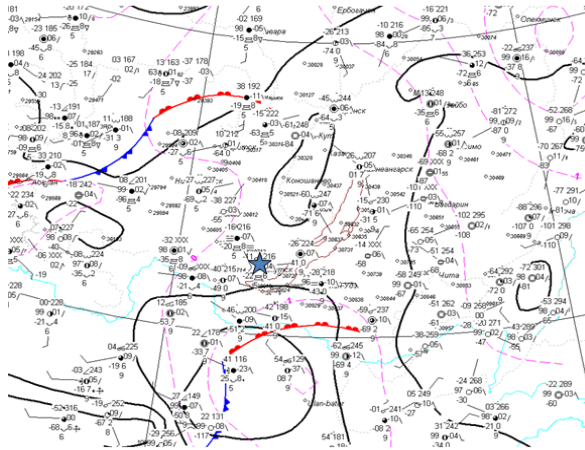


Рисунок 5 – Кольцевая карта за 07.10.2020 21 ВСВ

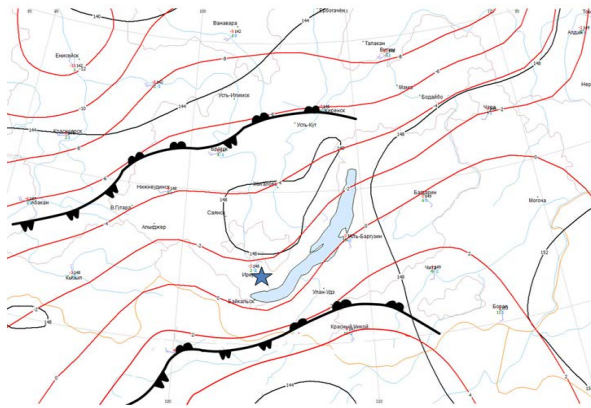


Рисунок 6 – Карта АТ-850 гПа 08.10.2020 00 ВСВ

По картам приземного анализа видно, что на Иркутск оказывает влияние северная периферия южного циклона. Так же на районы аэродрома по карте АТ-850 гПа оказывали влияние размытое барическое поле и ложбина холода, но с постепенной адвекцией теплого воздуха и смещением высотного циклона на северо-восток. Южные циклоны сопровождаются приходом теплой и влажной воздушной массы с обильными и продолжительными осадками. Если по траектории приходящей частицы воздуха на

районы Иркутска с юго-востока адвекция тепла составляет около 3 °С или больше, то перед осадками наблюдаются туманы.

Фронтальные туманы в Иркутске за последние 5 лет наблюдались только при прохождении теплых фронтов волнами в параллельных потоках с северо-запада и холодных фронтов 1-го рода. Фронтальные туманы наиболее часто встречаются в осенние и зимние месяцы, однако бывают и летом, и весной. Синоптические условия при фронтальных туманах – циклоны, оси ложбин, барические седловины. Метеорологические условия для возникновения фронтального тумана схожи как при прохождении теплого, так и холодного фронта. Такими условиями являются: слабый ветер северо-западных или юго-восточных направлений 1-4 м/с; адвекция теплого влажного воздуха на холодную земную поверхность; в случае теплого фронта или адвекция холодного влажного воздуха на теплую влажную поверхность; наличие или отсутствие приземной инверсии влияет на продолжительность фронтального тумана.

Заключение. В результате проведенного исследования туманов на аэродроме Иркутск в период с 2019 по 2023 год были выявлены ключевые характеристики и закономерности, связанные с ухудшением видимости менее 1 км.

Туманы на аэродроме Иркутск имеют четко выраженный годовой ход с максимальным количеством туманов летом и постепенным снижением их числа к весне.

Наибольшее количество туманов в Иркутске происходило радиационного и адвективно-радиационного характера. Туманы антропогенного происхождения встречались чаще туманов при прохождении атмосферного фронта. Так же туманы на холодном фронте более вероятны, чем на теплом, ввиду особенностей рельефа и географического положения. Реже всего наблюдались адвективные туманы.

Туман на аэродроме Иркутск образуется при разных синоптических положениях. Наиболее сложными для прогнозирования являются туманы адвективного и фронтального происхождения. Условия для их возникновения являются: смещение на районы Иркутска теплого фронта волнами северо-западными потоками, холодного фронта первого рода, северной периферии южного циклона; неустойчивая воздушная масса в нижней тропосфере, но приземный или приподнятый слой инверсии или изотермии; поле пониженного давления у земли и на АТ-850 гПа, гребни тепла; адвекция теплого влажного воздуха на холодную влажную поверхность или холодного влажного на теплую влажную поверхность; в приземном слое влажная воздушная масса, слабый ветер северо-западного или юго-восточного направлений; слабый рост или падение атмосферного давления (до 1,5 гПа/3 ч).

Полученные данные подчеркивают важность учета метеорологических и синоптических факторов для прогноза такого опасного явления для авиации как туман. Дальнейшие исследования в этой области могут способствовать улучшению прогнозирования туманов и повышению безопасности полетов.

Список литературы

1. *Богаткин О.Г.* Основы авиационной метеорологии / *О.Г. Богаткин*. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2009. – 339 с.

2. *Хандожко Л.А.* «Региональные синоптические процессы», методическое пособие, 1988 – 93-99 с.

3. *Полянская Е.А.* «Синоптические процессы Восточной Сибири и Дальнего Востока», учебное пособие, 1 часть, 2011 – 13 с.

4. *Матвеев Л.Т.* Основы общей метеорологии. Физика атмосферы / *Л.Т. Матвеев*. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 752 с.

5. *Ахмадеева А.И., Линникова С.А.* Оценка успешности прогнозов тумана на аэродроме Иркутск в летние месяцы. В сборнике: Материалы II международной научно-

практической конференции «Гидрометеорология и физика атмосферы: современные достижения и тенденции развития». – СПб., 2024. – С. 216-221.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ СКОРОСТИ И ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Иванова Т.И., Восканян К.Л., Кузнецов А. Д.
Российский государственный гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург
ivanowat04@gmail.com

Аннотация. Дорожные заторы сильно усложняют жизнь людям, из-за длительных дорожных пробок многие часто опаздывают на работу, встречу. Когда речь заходит о метеорологических явлениях: снег, дождь, туман, гололед, ситуация усугубляется. В данной работе будут найдены расчетная скорость ТС и плотность потока при различных метеорологических явлениях. Проведен анализ влияния атмосферных осадков на усугубление дорожной ситуации.
Ключевые слова. Транспортное средство, расчетная скорость, коэффициент обеспеченности расчетной скорости, атмосферные явления, плотность потока, интенсивность, легковой автомобиль.

DETERMINATION OF THE ESTIMATED SPEED AND DENSITY OF THE FLOW OF VEHICLES, UNDER VARIOUS METEOROLOGICAL CONDITIONS

Ivanova T.I., Voskanyan K.L., Kuznetsov A.D.
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Annotation. Traffic jams make life very difficult for people, because of long-term traffic jams, many people are often late for work or a meeting. When it comes to meteorological phenomena: snow, rain, fog, ice, the situation is getting worse. In this work, the calculated vehicle velocity and flow density will be found for various meteorological phenomena. To analyze the effect of atmospheric precipitation on the aggravation of the traffic situation.
Keywords. Vehicle, design speed, coefficient of safety of design speed, atmospheric phenomena, flow density, intensity, passenger car.

Метеорологический фактор очень сильно влияет на качества дороги. Мокрое или скользкое покрытие, снежные заносы, плохая видимость во многих случаях являются главными факторами возникновения дорожных заторов. В данной работе будет найдена расчетная скорость автомобиля при ясной погоде, дожде, снегопаде, гололеде и тумане для участка дороги от Дальневосточного проспекта до Октябрьской набережной, город Санкт-Петербург.

Расчетная скорость автомобиля – это та безопасная скорость, которой, с наибольшей вероятностью, будет придерживаться автомобиль при различных условиях. Данная величина находится по формуле 1.

$$V_{\text{рс}} = K_{\text{рс}} \times V_{\text{мак}} \quad (1)$$

где

$V_{\text{рс}}$ – расчетная скорость,

$K_{\text{рс}}$ – коэффициент обеспеченности расчетной скорости

$V_{\text{мак}}$ – максимально разрешённая скорость

Для получения расчетной скорости нам необходимо знать максимально разрешенную скорость на данном участке дороги и коэффициент обеспеченности

расчетной скорости. Коэффициент обеспеченности расчетной скорости – показывает, как легковой автомобиль будет взаимодействовать с дорогой на каждом ее участке. [3]

По выбранному участку дороги (от Дальневосточного проспекта до Октябрьской набережной, город Санкт-Петербург) можно проехать тремя путями (рисунок 1).

Первый вариант длиной 2,6 км, Яндекс Навигатор предлагает преодолеть за 8 минут, второй длинной в 3,3 км за 22 минуты и третий вариант длинной 3,7 за 17 минут.

Для нахождения расчетной скорости будем использовать самый короткий путь (вариант 1). Дорожная обстановка соответствует 31.10.2024, 9:30 утра. [1].

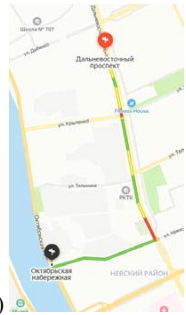
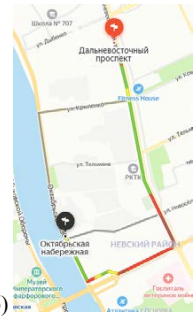
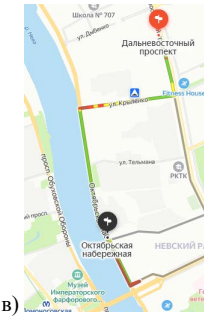
а)  б)  в) 

Рисунок 1 – Варианты проезда на выбранном участке

Прежде чем начать расчеты нам необходимо иметь данные коэффициента обеспеченности расчетной скорости и максимально разрешенной скорости движения. Если с максимально разрешенной скоростью все понятно, она составляет 60 км/ч в населенном пункте, то значения коэффициента мы можем найти из таблицы 1.

Таблица 1 – Среднее значение коэффициент обеспеченности расчетной скорости

Наименование метеорологического фактора	Среднее значение коэффициент обеспеченности расчетной скорости
Ясно, без явлений	1
Дождь	0,75
Снегопад	0,5
Гололед	0,2
Туман	0,6

Значения расчетной скорости движения транспортного средства (ТС) при наличии различных атмосферных явлений и при их отсутствии приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения расчетной скорости при различных метеорологических условиях

Расчетная скорость (км/ч)				
ясно	дождь	гололед	снегопад	туман
60	45	12	30	36

Результаты расчета показывают (табл. 2), что самая низкая расчетная скорость для ТС ожидается при гололеде. Скорость движения при снегопаде будет на 18 км/ч больше. При тумане расчетная скорость для ТС составит 36 км/ч, а при дожде – 45 км/ч. При ясной погоде, как и следовало ожидать, скорость ТС будет равна максимально разрешенной.

Теперь рассчитаем плотность потока (2) при найденных расчетных скоростях.

$$\rho = \frac{V}{Q} \quad (2)$$

где

ρ – плотность потока (авт/км);

V – скорость движения (км/ч);

Q – интенсивность движения (авт/ч).

Для расчета плотности потока будем использовать данные средней максимальной интенсивности (ед/час) в сутки на выбранном участке дороги [2]. Результаты расчета плотности потока представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчет плотности потока при различный метеорологических условиях

Плотность потока (атм/сут)				
ясно	дождь	гололед	снегопад	туман
43,9	58,5	87,8	219,5	73,17

Как известно, [2], для полосы движения ρ – 25-55 авт/км характерно возникновение стоп-волны (движущееся возмущение в распределении автомобилей на участке дороги). Для полосы движения ρ>50 авт/км появится несколько участков дороги со стоящим трафиком, разделенным регионами, где поток медленно движется.

Проведенная серия расчетов показывает (табл. 3), что максимальная плотность потока будет наблюдаться при снегопаде (ρ=219,5). Наличие таких метеорологических явлений как гололед и туман способствуют увеличению плотности потока почти в 2 раза. И всего на 14,6 единиц от обстановки в ясную погоду будет отличаться плотность потока во время дождя.

Сопоставив полученный результаты с критериями дорожного затора можно сказать, что выбранный участок дороги сильно страдает от дорожных заторов. В ясную погоду это связанно с тем, что дорога не справляется с потоком ТС, так как выбранный участок содержит большое количество светофоров. При наличии снегопада на участке возникают заторы со стоящим трафиком. Также отметим, что в гололед наблюдается самая низкая скорость (12 км/ч), но при этом поток ТС меньше, чем при снегопаде, это связанно с хорошей видимостью, которой нет во время снегопада.

Список литературы

1. Яндекс карты (Электронный ресурс). Режим доступа: https://yandex.ru/company/researches/2013/city_jams_2013/spb_jams_2013
2. Наука и техника в дорожной отрасли «Advanced science and technology for highways»: международный научно-технический журнал. Москва, 2024, № 2 (15-20).
3. *Бояршинов М.Г.; Вавилин А.С.* Закономерности показателя транспортного затора на некоторых пересечениях улично-дорожной сети. Интеллект. Инновации. Инвестиции / Intellect. Innovations. Investments • № 1, 2024 (95-115)

АНАЛИЗ ЛЕТНЕГО КЛИМАТИЧЕСКОГО СЕЗОНА ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЕТР И БЕЛАРУСИ

Загидуллина Д.Д., Ефимова Ю.В.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
Zagidullina200010@gmail.com

Аннотация. в научно-исследовательской работе проанализированы границы, продолжительность и средняя температура летнего климатического сезона в г. Брест, Санкт-Петербург, Калининград за период с 1961 года по 2020 год.
Ключевые слова. летний климатический сезон, температура воздуха, начало и окончание летнего сезона, устойчивые переходы.

ANALYSIS OF THE SUMMER CLIMATE SEASON IN THE WESTERN PART OF THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA AND BELARUS

Zagidullina D.D. , Efimova Yu.V.
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg,

Abstract. The boundaries, duration, and average temperature of the summer climate season in Brest, St. Petersburg, and Kaliningrad for the period from 1961 to 2020 have been analyzed in a research paper.
Keywords. summer climate season, air temperature, beginning and end of the summer season, stable transitions.

Актуальность работы связана с тем, что в последние годы в западной части ЕТР и Беларуси происходят события, связанные с изменением климата [1]. В ходе проведения научно-исследовательской работы были рассчитаны и проанализированы границы летнего климатического сезона в г. Брест, Санкт-Петербург, Калининград. В работе границами летнего климатического сезона приняты даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 15°С.

В г. Бресте за весь период исследования начало климатического лета смещается на более ранние сроки на 5 дней, окончание летнего сезона смещается на более поздние сроки на 3 дня. За период с 1961 года по 1990 год число дней лета составило 104 дня, за период с 1991 года по 2020 год – 112 дней.

В г. Санкт-Петербург за весь период исследования начало климатического лета смещается на более ранние сроки на 5 дней, окончание летнего сезона смещается на более поздние сроки на 5 дней, то есть наблюдается равномерное расширение летнего сезона за счет обеих границ. За период с 1961 года по 1990 год число дней лета составило 122 дня, за период с 1991 года по 2020 год – 132 дня.

В г. Калининград за весь период исследования начало климатического лета смещается на более ранние сроки на 11 дней, окончание летнего сезона смещается на более поздние сроки на 7 дней. За период с 1961 года по 1990 год число дней лета составило 81 день, за период с 1991 года по 2020 год – 101 день.

В рамках рассчитанных границ для каждого года были получены среднелетние температуры воздуха. В г. Брест средняя температура воздуха увеличивалась постепенно. Средняя температура воздуха летнего климатического сезона повысилась на 1,3 °С. В г. Санкт-Петербург было зафиксировано значительное понижение средней температуры лета в период с 1987 по 1989 гг. Однако, за весь период исследования средняя температура воздуха летнего климатического сезона повысилась на 0,5 °С. В г. Калининград средняя летняя температура воздуха показала выраженную тенденцию к повышению в середине исследуемого срока. Средняя температура воздуха летнего климатического сезона повысилась на 0,6 °С. В последние 30 лет исследования средняя температура лета в г. Брест составила 18,8 °С, в г. Санкт-Петербург – 20,6 °С, в г. Калининград – 17,7 °С.

Современные тенденции климатических изменений указывают на то, что летние климатические сезоны становятся все более продолжительными, средние летние температуры растут, а температура воздуха часто достигает рекордных значений. Это явление связано с глобальным потеплением, которое вызвано, как естественными факторами, так и деятельностью человека. Увеличение концентрации парниковых газов

в атмосфере способствует усилению эффекта теплицы, что приводит к изменению климатических условий [2]. Эти изменения не только влияют на природу, но и имеют серьезные последствия для здоровья человека, сельского хозяйства и экосистем. Необходимы срочные меры по адаптации и смягчению последствий глобального потепления, чтобы обеспечить устойчивое будущее для следующего поколения.

Список литературы

1. *Карлин Л.Н., Ефимова Ю.В., Никифоров А.В.* Некоторые климатические характеристики Санкт-Петербурга в эпоху глобального потепления // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2005. № 1. С. 22-29.
2. Новый Калининград «В условиях гипоксии»: как глобальное потепление меняет жизнь в регионе. 2019 [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.newkaliningrad.ru/news/community/22186829-v-usloviyakh-gipoksii-kak-globalnoe-poteplenie-menyaet-zhizn-v-regione.html

АНАЛИЗ СИНОПТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ, ФОРМИРУЮЩИХ АНОМАЛЬНО ВЫСОКИЕ СУММЫ ОСАДКОВ НА ЮГЕ ПРИМОРЬЯ ЛЕТОМ

Смирнова Я.А.[1], Ефимова Ю.В.[2]
[1] Новгородский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
[2] Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
yana009072000@yandex.ru

Аннотация. В научно-исследовательской работе проанализированы синоптические условия формирования аномальных осадков на юге Приморья в летний период. Выделены и осреднены траектории циклонов, приносящих высокие суммы осадков на территорию исследования. Отдельно проанализированы случаи выхода тайфунов, влияющих на возникновения аномальных сумм осадков на юге Приморья.
Ключевые слова. Приморье, траектории циклонов, аномальные осадки, тайфуны.

ANALYSIS OF SYNOPTIC CONDITIONS FORMING ANOMALOUSLY HIGH PRECIPITATION AMOUNTS IN THE SOUTH OF PRIMORYE IN SUMMER.

Smirnova Ya.A. [1], Efimova Yu.V.[2],
[1] Novgorod Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring
[2] Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Abstract. The research work analyzes synoptic conditions of anomalous precipitation formation in the south of Primorye in summer. The trajectories of cyclones bringing high precipitation amounts to the study area are identified and averaged. Separately analyzed are the cases of typhoons exiting, affecting the occurrence of abnormal amounts of precipitation in the south of Primorye.
Key words. Primorye, cyclone trajectories, anomalous precipitation, typhoons.

Основной целью научно-исследовательской работы является анализ синоптических процессов, влияющих на формирование аномально высоких сумм осадков в летний период над югом Приморья. Отдельной задачей ставится исследование роли тайфунов в возникновении высоких сумм осадков на исследуемой территории.

В работе были использованы данные суточных сумм осадков архива ВНИИГМЦД МЦД [1] за период с 1991 года по 2020 год, то есть во время нового базового периода, рекомендованного для исследования климата Всемирной метеорологической организацией в 2015 году [2].

Территория исследования, юг Приморья, в работе представлена следующими метеорологическими станциями: Пограничный (31915), Владивосток (31960), Преображение (31989), Свягино (31931), Терней (31909), Красный Яр (31845), Лермонтовка (31788), Хабаровск (31735), Смидович (31725), Солекуль (31677), Нижнетамбовское (31562).

В ходе научно-исследовательской работы в летние месяцы были выявлены дни с аномальными суммами осадков и проанализированы синоптические процессы, сопутствующие их формированию для каждого месяца отдельно. На основе синоптических карт модели реанализа MERRA-2, с шагом по времени 3 часа [3]. Были построены и осреднены траектории циклонов, способствующих возникновению высоких сумм осадков. Для июня было получено 5 влияющих траекторий, для июля 6 траекторий и для августа 5 траекторий. Полученные траектории для каждого месяца были сопоставлены между собой.

Для июня получились следующие траектории, которые легли в основы и следующих месяцев:

- Путь траектории №1 начинается в Филиппинском море и через Японию доходит до Алеутских островов.
- Траектория №2 пролегает от юга Казахстана через север Китая, заканчиваясь на территории юга Дальнего Востока.
- Циклоны траектории №3 берут начало в Карском море и, пересекая полуостров Таймыр, заполняются в Красноярском крае.
- Циклоны по траектории №4 проходят из Западной Сибири через Якутию к побережью Охотского моря.
- Формирование циклонов при траектории №5 начинается у южного побережья острова Кюсю, откуда они двигаются по Японскому морю и через КНДР к Приморскому краю, далее заполняясь после прохождения Алеутских островов или в их акватории.

В июле траектория №2 сместилась на юг, начинаясь теперь в северной части Тибетского нагорья, откуда циклоны двигаются вдоль горной системы Наньшань, пересекают территории Монголии и северо-восточного Китая и заполняются в Приморском крае. Траектория №3 также претерпела изменения относительно своего начала – в июле очаг возникновения циклонов опустился в южную часть полуострова Таймыр. Остальные пути траекторий остались без изменений, но появилась новая траектория №6, циклоны которой приносят в этом месяце аномальные осадки на исследуемую территорию. Начинается путь таких циклонов на северо-востоке Китая, откуда они двигаются по направлению к Владивостоку и далее пересекают Алеутские острова, заполняясь в океане или регенерируя за счёт океанических циклонических систем.

В августе траектория №4, начало которой находилось в Западной Сибири, сместилась к Забайкалью, откуда теперь циклоны движутся меридионально к побережью Охотского моря. Антициклонический блок на севере Китая, характерный для августа, изменил траекторию №2, по пути которой циклоны в этом месяце вынуждены двигаться ближе к Корейскому полуострову и прилегающим морям.

Случаи с аномально высоким количеством осадков в зависимости от охвата территории были разделены на «единичные» и «ансамблевые».

За весь период исследования в июне над югом Приморья было выявлено 33 единичных случая аномального количества осадков (один день – одна станция) и 33 ансамблевых (несколько станций – от 2 до 6 дней) с 1991 по 2020 гг. Наибольшую повторяемость среди единичных случаев имели траектории №5 (42% случаев от общего количества) и №2 (39% случаев от общего количества). В ансамблевых траекториях наиболее характерной была траектория №2 (70% случаев от общего количества).

В июле из 136 циклонов с аномальными осадками 61 относятся к единичным случаям и 75 к ансамблевым случаям. Наибольшая повторяемость в обоих группах наблюдалась у траектории №2 – 54% и 57% случаев от общего количества.

В августе с 1991 по 2020 гг. было проанализировано 83 ансамблевого случая аномальных осадков и 61 единичный случай. Наиболее часто встречающимися оказались циклоны траектории №2 – 33% и 55%, соответственно.

Рассмотрим влияние тайфунов на формирование аномально высоких сумм осадков на юге Приморья. За 30-летний период было выявлено: в июне – 4 тайфуна; в июле – 4 случая; в августе – 5 тайфунов, влияющих на аномальные осадки. Все тайфуны проходили по траекториям №5 или №1, которые пролегают по морским территориям. Наибольшую повторяемость имели тайфуны траектории №5 (61% от общего количества).

При оценке вклада тайфунов в общее число аномальных осадков для каждого месяца выяснилось, что тайфуны приносят от 7% (в июне) до 8.1% (в августе) аномальных осадков от общего количества за период.

Распределение и количество этих осадков неравномерны и отличаются для каждого случая, например, в июне тайфуны принесли на территорию юга Приморья от 40.5 до 206.7 мм осадков, при этом максимальное количество осадков за один день выпало в Тернее при прохождении тайфуна №9 (траектория №5) 22.06.2004 - 57.3 мм. В июле тайфуны принесли от 83 до 728.9 мм осадков, а на станциях выпало от 32.6 мм (на станции «Красный Яр» при прохождении тайфуна «Болавен» по траектории №5 30.07.2000) до 108.8 мм (в Преображении при прохождении тайфуна «Баньян» по траектории №5 29.07.2005). В августе тайфуны принесли от 81.1 до 522.8 мм осадков. Наименьшее количество осадков отмечалось на станции «Владивосток», где выпало 30.5 мм 15.08.2019 при прохождении тайфуна «Кроса» (траектория №1), а максимальные осадки отметили на этой же станции 26.08.2015 во время тайфуна «Гони» (траектория №1) - 178.3 мм за сутки.

Исходя анализа полученных данных, зоной, наиболее подверженной влиянию тайфунов в летний период за 1991-2020 гг., оказалась южная часть Приморья (станции: «Преображение», «Владивосток», «Пограничный» и «Свягино»).

Список литературы

1. Архив данных ВНИИГМЦД МЦД [электронный ресурс] – режим доступа: *http://aisori-m.meteo.ru/waisori*. Дата обращения: 13.08.2024 год.
2. Гидрометцентр России. Обновлённый 30-летний базисный период отражает изменение климата [электронный ресурс] – режим доступа: *https://meteoinfo.ru/novosti/99-pogoda-v-mire/17951-obnovlennyj-30-letnij-bazisnyj-period-otrazhaet-izmenenie-klimata*. Дата обращения: 10.08.2024 год.
3. Карты реанализа MERRA-2 Weather Maps [Электронный ресурс] – режим доступа: *https://fluid.nccs.nasa.gov/reanalysis/classic_merra2/?one_click=1&tau=06&stream=MERRA2&level=0&track=none&region=siberia&fcst=19910605&field=ptype&animate=1759.*
Дата обращения: 15.08.2024 год.

СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГРОЗОВЫХ ОБЛАКОВ

Малыгина Т.И., Кашлева Л.В.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
malyginatatianaiva@yandex.ru

Аннотация. В работе представлена зависимость повторяемости грозы от температуры воздуха на метеостанции. Максимальная повторяемость не соответствует максимальным значениям

температуры воздуха, а находится в диапазоне от 18 до 22°С. Также в работе проанализированы сезонные изменения зон генерации электрических зарядов в облаках с помощью аэросиноптической информации. Однозначной зависимости не выявлено.
Ключевые слова. гроза, температура воздуха. Северо-запад ЕТР, повторяемость.

SEASONAL FEATURES OF THUNDERSTORM CLOUDS

Malygina T.I., Kashleva L.V.
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Annotation. The paper presents the dependence of the recurrence of thunderstorms on the air temperature at the weather station. The maximum repeatability does not correspond to the maximum values of the air temperature, but is in the range from 18 to 22 °C. The paper also analyzes seasonal changes in the zones of electric charge generation in clouds using aerosynoptic information. No clear dependence has been identified.
Keywords. thunderstorm, air temperature. North-west of the ETR, repeatability.

Потепление климата проявляется самым неожиданным образом. На фоне потепления климата на Северо-Западе ЕТР грозы в последние годы могут возникать круглый год. Гроза – опасное явление для многих видов производственной деятельности. Неслучайно прогноз грозы – один из наиболее значимых для метеоролога-прогнозиста.

Задачей представленного исследования является исследование сезонных особенностей грозовых облаков. Прежде всего необходимо установить границы сезонов. Астрономические границы очевидны, но для изучения сезонных особенностей формальны и часто не согласуются с атмосферными процессами. Отметим, что границы сезонов условны и обычно формулируются в зависимости от поставленной задачей исследования. Именно поэтому сезоны, принятые в агрометеорологии или радиолокационной метеорологии, не совпадают. Для исследования сезонных особенностей облаков необходимо исходить из особенностей процессов облакообразования. Условно будем считать, что если температура воздуха ниже нуля, то процессы будут зимними [1]. Летними процессами будем считать такие процессы, когда дневной прогрев достаточен для возникновения термической конвекции. Процессы переходного периода (весна, осень) будем считать процессы при положительных температурах, но и при слабом прогреве, когда отсутствуют условия для возникновения термической конвекции. Поэтому приняли: если температуры ниже +10^{o} С, но выше нуля, то процессы будут процессами переходного периода (весна или осень) [2], а если температура воздуха равна или выше +10^{o} С, то процессы летние. Очевидно, что эти границы нужно уточнять, и они будут разными в разных ландшафтах.

В статье представлен анализ грозовой активности облаков по Ленинградской области в 2024 году. Использованы данные «штормового» кольца и данные радиозондирования атмосферы со аэрологической станции Воейково. Информация по «штормам» получена с 28 метеорологических станций по 68 дням.

Самая ранняя гроза наблюдалась на юго-западе области 26 марта при температуре воздуха у земли 6,3°С. Последняя гроза в году зафиксирована 30 октября при температуре воздуха 4,3°С. Минимальная температура воздуха при грозе в этот период составила около 0°С 3 апреля, максимальные температуры наблюдались, очевидно, в летний период и превышали 30°С. Рассмотрен временной ход возникновения гроз,

представлен график, самое часто повторяемое время возникновения гроз с 10:00 до 12:00 UTC (с 13:00 до 15:00 мск), 30% от всех гроз возникают именно в эти часы.

В работе представлена зависимость повторяемости грозы от температуры воздуха на метеостанции. Максимальная повторяемость не соответствует максимальным значениям температуры воздуха, а находится в диапазоне от 18 до 22°С.

Также в работе проанализированы сезонные изменения зон генерации электрических зарядов в облаках с помощью аэросиноптической информации. Однозначной зависимости не выявлено.

Список литературы

1. *Малыгина Т.И., Кашлева Л.В.,* Особенности зимних гроз, Сборник: Гидрометеорология и физика атмосферы: современные достижения и тенденции развития. Материалы II Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2024. С. 391-395.

2. Кашлева Л.В., Малыгина Т.И., Михайловский Ю.П. Особенности гроз переходного и зимнего сезонов, Сборник Докладов Всероссийской открытой конференции по исследованиям атмосферных и склоновых стихийных явлений в условиях современного изменения климата, посвященной 190-летию создания Гидрометеорологической службы России и 90-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР. – Нальчик, 2024г. с.75-79.

АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ И ТЕРМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЕСЕННЕГО ПЕРИОДА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ В ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ

Иванов М.М., Ефимова Ю.В.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
ivanovmm2001@inbox.ru

Аннотация. В данной научно-исследовательской работе рассматриваются общие тенденции весенней погоды в Санкт-Петербурге за 2021, 2022, 2023 и 2024 годы с учетом типичных атмосферных процессов. Анализируются климатические условия, влияющие на температуру, осадки и атмосферное давление в условиях изменяющегося климата.
Ключевые слова. весенний климатический сезон, температура воздуха, начало и окончание весеннего сезона.

ANALYSIS OF THE FORMATION OF CIRCULATION AND THERMAL FEATURES OF THE SPRING PERIOD IN ST. PETERSBURG IN RECENT YEARS

Ivanov M.M. , Efimova Yu.V.
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Abstract. This research paper examines general trends in spring weather in St. Petersburg for 2021, 2022, 2023 and 2024, taking into account typical atmospheric processes. Climatic conditions affecting temperature, precipitation and atmospheric pressure in a changing climate are analyzed.
Keywords. spring climate season, air temperature, beginning and end of the spring season.

Изучение весенних атмосферных и термических особенностей Санкт-Петербурга представляется особенно важным в свете глобального потепления и изменения климата. Город, расположенный на перекрестке основных атмосферных потоков, подвержен влиянию глобальных климатических изменений, что вызывает необходимость в

глубоком понимании этих процессов для эффективного управления городским климатом и разработки мероприятий по адаптации [1].

Цель исследования: Анализ изменений циркуляционных и термических условий формирования весеннего периода в Санкт-Петербурге за последние годы. В результате научно-исследовательской работы предполагается сформировать фоновые синоптические процессы, приводящие к потеплению и возврату холодов в Санкт-Петербурге в весенние месяцы.

Источники данных: данные метеорологических наблюдений среднесуточной температуры воздуха в Санкт-Петербурге за период с 2021 года по 2024 года в весенние месяцы Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД) [2], архив синоптических карт Гидрометцентра РФ.

Циркуляционные особенности: В результате научно-исследовательской работы была обнаружена общая тенденция развития циркуляционных процессов в весенние месяцы г. Санкт-Петребурга- юго-западные антициклоны с Черного моря и влияние циклонов, формирующихся на севере в районе Арктического побережья. Антициклон приносил тёплые воздушные массы, циклон – холодные,это приводит к нестабильным погодным условиям.

Термические изменения: В весенний период ход среднесуточной температуры имеет схожие черты с изученными ранее процессами за период с 1991 по 2020 гг. Особенностью весенних месяцев последних лет является значительное повышение значений аномально высоких среднесуточных температур, вплоть до околорекордных и рекордных значений- +20 градусов 15 мая 2024 года, что может быть связано с глобальными изменениями климата.

Необходимо продолжать комплексный анализ термического режима весенних месяцев и синоптических процессов им соответствующих. Выявление фоновых синоптических процессов, сопутствующих значительным колебаниям среднесуточных температур в весенние месяцы, особенно в последние годы, может иметь практическую значимость для работы оперативных синоптиков.

Список литературы

1 *Иванова Е. С.* Термические особенности весеннего периода в Санкт-Петербурге: современные тенденции." Известия Санкт-Петербургского университета, серия география, 2022.

2 ВНИИГМИ-МЦД - Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации - Мировой центр данных: http://meteo.ru/. (Дата обращения 07.09.2024).

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ НА КОЛИЧЕСТВА ЛЬДА В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ

Миронова А.А.[1], Лаврова И.В.[1,2]

[1] Российский государственный гидрометеорологический университет

[2] Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт

mironova25032002@gmail.com

Аннотация. В докладе рассматривается проблема уменьшения площади льда в Арктике. Особое внимание уделено влиянию метеорологических условий и синоптических процессов на образование и разрушение льда в районе Баренцева моря. Анализ влияния температуры воздуха и ветровых условий на эти процессы выявил, что южные ветра способствуют разрушению льда,

тогда как северные ветра его образованию. Отмечены градации по температуре, при которых наиболее часто происходят краткосрочные колебания ледовитости, над исследуемой акваторией. Рассмотрены синоптические ситуации благоприятные для интенсивного роста и разрушения льда.
Ключевые слова. Арктический регион, морской лед, атмосферные процессы.

INFLUENCE OF ATMOSPHERIC PROCESSES ON THE QUANTITY OF ICE IN THE BARENTS SEA

Mironova A.A.[1], Lavrova I.V.[1,2]
[1] Russian State Hydrometeorological University
[2] The State Research Navigation-Hydrographic Institute

Annotation. The report examines the problem of reducing the area of ice in the Arctic. Special attention is paid to the influence of meteorological conditions and synoptic processes on ice formation and destruction in the Barents Sea area. Analysis of the influence of air temperature and wind conditions on these processes revealed that southerly winds contribute to the destruction of ice, while northerly winds contribute to its formation. Air temperature also plays a key role: an increase in temperature leads to the active destruction of the ice cover, while certain temperature ranges contribute to its formation. Synoptic situations favorable for intensive processes ice formation and destruction.
Keywords. Arctic region, sea ice, atmosphere processes.

Баренцево море представляет собой регион, где морские льды особо чувствительны к климатическим изменениям. В связи с потеплением Арктики в последние десятилетия наблюдается выраженное заметное сокращение площади льдов в СЛО [1-9]. Баренцево море имеет важное экономическое значение, связанное, прежде всего с добычей полезных ископаемых, разработкой новых месторождений на шельфе, а также с рыбным промыслом. Учитывая высокий интерес к этому региону, тема привлекает все большее внимание и является актуальной.

В качестве исходных данных использованы массивы по площади льда (приведенной ледовитости) (в тыс. км^2) с сайта ААНИИ [10] за период с 1979 по 2023 гг. Приведенная ледовитость - это характеристика ледового режима, которая учитывает площадь морского льда, сплоченного до 10 баллов, то есть суммарную площадь всех льдин без водного пространства между ними [10]. Подробно рассмотрены 3 района Баренцева моря: 1 район - северо-западная часть Баренцева моря (у брегов Шпицбергена), 2 район - восточная (район вблизи западного побережья Новой Земли), 3 район - юго-восточная часть (район у южных берегов, западнее Печерского моря). 1 район относится к категории ледовых субполярных, где лед сохраняется круглый год, но в летнее время количество льдов значительно уменьшается, и в наиболее благоприятные годы, льды могут исчезать совсем. Районы 5 и 6 замерзающие. В Баренцевом море льды преимущественно местного происхождения, что упрощает анализ. Для формирования массива по температуре воздуха и ветру использованы данные реанализа ERA-5 [11] с 1979 по 2023 гг.

Среди многочисленных факторов, влияющие на ледовитость в СЛО, можно выделить основные - временные изменения циркуляции океана и атмосферы [12]. Кроме того, достаточно сильное влияние на лед оказывают и фоновые условия, которые довольно сложно учитывать, поскольку колебания ледовитости от года к году накладывается на определенный фон. В данной работе наибольший интерес представляет влияние атмосферных процессов. Чтобы уменьшить влияние остальных факторов и избежать фонового влияния, рассмотрим суточную изменчивость количества льда ds (в тыс. км^2), которая будет определяться как разность площади льда между текущими сутками и предыдущими.

Для начала проанализирован годовой ход распределения льда по выбранным районам. В 1 район лед регистрируется в течение всего года с минимумом в сентябре. В 5 районе с августа по октябрь лед отсутствует. В 6 районе безледный период длится с июля по ноябрь. Во всех 3-х районах максимум отмечается в апреле. Таким образом, определены периоды для каждого района для дальнейшего исследования.

По среднемесячным значениям ds можно выделить периоды образования льда - с октября по декабрь. С января по март - максимальной ледовитости и с апреля - период ослабления и разрушения льда.

В работе рассмотрены влияние таких метеорологических параметров как температура воздуха, скорость и направление ветра.

Ветер играет важную роль при формировании и разрушении льда. Он приводит его в движение (ветровой дрейф льдов), вызывает ветровые волны на ледяном покрове, что ведет к разлому ледяных полей. Кроме того, направление ветра определяет адвективные изменения температуры воздуха. По построенным розам ветров можно сделать вывод, при процессах образования льда для первого и пятого района преобладают северные ветры (повторяемость 66% и 64% соответственно), для шестого района в первую половину года преобладают восточные ветры (75% повторяемости), а для второй половины года юго-восточные (51% повторяемости). Северный ветер приносит холодные воздушные массы из центральной Арктики, что способствует снижению температуры поверхности воды и образованию льда. При разрушении льда в первом районе преобладают ветры южные четверти (с повторяемостью 61%), для пятого и шестого района преобладают южные ветры (65% и 59% соответственно). Количества льда уменьшается при ветрах южной четверти из-за адвекции теплых воздушных масс со стороны теплых Атлантических течений. Длительное воздействие южных ветров может привести и к повышению температуры воды в этом районе. Судя по преобладающим направлениям ветра в течение всего года, наиболее важное влияние его воздействия заключается в адвективных изменениях температуры воздуха, чем за счет ветрового дрейфа льда. Для образования льда температура воды должна быть выше температуры воздуха, так как только в этом случае происходит выхолаживание поверхностного слоя воды и начинается вертикальная конвекция.

Скорости ветра оказывают влияние на процессы суточной изменчивости льда только для 1 и 5 районов: образование льда происходит при более низких скоростях ветра, чем при процессах разрушения льда. Для 6 (южного) района скорости ветра большой роли не играют.

Температура воздуха оказывает значительное влияние на образование и разрушение льда. А именно, процесс разрушения по районам: для первого района в 47% случаев приходится на интервал температуры воздуха от -1°С до -4°С, для пятого и шестого района 44% и 43% соответственно -от 0°С до -3°С. Процесс образования льда: для первого района в 33% случаев происходит активнее в интервале от -10°С до -14°С, для пятого района в 35% случаев - в интервале от -7°С до -11°С, а для шестого района выделяется два интервала, в период с октября по декабрь достаточно более высоких температур в 40% случаев -1°С до -5°С, и с марта (38% случаев) - -7°С до -11°С.

Кроме того, проанализированы синоптические ситуации благоприятные для процессов нарастания и таяния льдов. Рассмотрены случаи, когда суточные изменения количества льда превышали среднее значение на +/-1 СКО. Резкие увеличения и уменьшения площади льда происходили под влиянием проходящих западных циклонов. Довольно часто этому способствуют неглубокие циклоны с траекториями вдоль северной границы Баренцева моря. При этом в восточной и южной частях таких циклонов наблюдается уменьшение льда, в тыловой - ее увеличение. При глубоких циклонах с более северными траекториями район оказывается в теплом секторе, что

приводит к интенсивным потокам тепла с Атлантического океана и разрушению ледяного покрова.

Уменьшение площади льда также может происходить под влиянием малоподвижных обширных циклонов с центром западнее Баренцева моря – над Гренландским и Норвежскими морями. В этом случае район оказывается в зоне южных ветров, на периферии между квазистационарным циклоном и арктической областью высокого давления. Лед активнее разрушается и в северной части антициклона при западных и юго-западных ветрах. При этом даже кратковременное потепление может вызвать разрушение льда.

Образование льда происходит также в малоградиентных полях давления и в центре антициклонов. Процесс обусловлен радиационно-тепловыми факторами в условиях малооблачности и при слабой адвекции холодных арктических воздушных масс. Малоградиентное поле создает условия для уменьшения ветрового перемешивания (скорости ветра $\leq$ 3 м/с), снижения теплообмена между океаном с атмосферой. Увеличению количества льда также способствует устойчивый вынос холодного арктического воздуха в южной и юго-восточной части антициклона.

Список литературы

1. *Гудкович Г.К., Карклин В.П., Ковалев Е.Г.* Колебания ледовитости Гренландского, Баренцева и Карского морей. Отчет о научно-исследовательской работе. Климат полярных регионов России в XXI веке как фактор развития Северного Морского пути и освоения севера. ГНЦ РФ ААНИИ. Научный руководитель Алексеев Г.В. - Фонды ААНИИ. - СПб. - 2004 г.

2. *Гудошников Ю.П. Дмитриев А.А.* Прошлое, настоящее и будущее климата региона Баренцева моря // Тр.ААНИИ. - 1999. - Т. 441. - с. 33 - 45.

3.*Захаров В. Ф.* Льды Арктики и современные природные процессы. Л.: Гидрометеоиздат. - 1981. - 136 с.

4.*Зубакин Г.К.* Крупномасштабная изменчивость ледяного покрова морей Северо-Европейского бассейна. - Л.: Гидрометиздат. - 1987 г. - 160с.

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.

6. Северо-Атлантическое колебание в океане и его влияние на ледяной покров в западном секторе Арктики. Лаврова И.В., Угрюмов А.И. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2009. № 9. С. 51-58.

7. *Дмитриев А.А., Иванов В.В., Куражое В.К., Прямиков С.М., Тимохое Л.А.* и др Сценарий изменения климата в регионе Беренцева моря до 2050 г. // Тр.ААНИИ. - 1999. - Т. 441. - с. 195 - 201.

8. Анализ влияния циркуляции атмосферы на изменчивость площади льда в Арктике Лаврова И.В., Ефимова Ю.В., Волобуева О.В. Навигация и гидрография. 2021. № 64. С. 95-103.

9. Влияние северо-атлантического колебания в океане на формирование летних условий погоды в Европе. Лаврова И.В. диссертация на соискание ученой степени к.г.н / ФГБОУ ВО Российский государственный гидрометеорологический университет. Санкт-Петербург, 2009

10. Сайт ААНИИ. https://www.aari.ru/

11. Сайт Copernicus. https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview

12. Доронин Ю.П., Хейсин Д.С. Морской лед. - Л.: Гидрометеоиздат. - 1975. - 318 с.

СЕКЦИЯ 2

МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВСП В ЮЖНОМ ПОЛУШАРИИ

Лумпова Н.С., Ермакова Т.С.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
lns16@mail.ru

Аннотация. В работе проведено исследование термодинамической ситуации в зимней стратосфере Южного полушария 2002, 2019, 2024 гг. По среденезональным значениям температуры и зональной компоненты ветра определена дата наступления внезапного стратосферного потепления. Представлен анализ поведения планетарных атмосферных волн с волновыми числами 1, 2 и 3, анализ квазидвухдневной волны с волновым числом 1 в поле зонального и меридионального ветра и анализ изменения поля геопотенциальной высоты в стратосфере с целью рассмотрения поведения стратосферного полярного вихря.
Ключевые слова. внезапное стратосферное потепление, динамика полярной стратосферы, быстрые захваченные волны, Южное полушарие

THERMODYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE SSW IN THE SOUTHERN HEMISPHERE

Ermakova T.S., Lumpova N.S.
Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

Annotation. This work studies the thermodynamic situation in the winter stratosphere of the Southern Hemisphere in 2002, 2019, 2024. Based on the zonal average temperature values and the zonal wind component, the date of the onset of sudden stratospheric warming was determined. An analysis of the behavior of planetary atmospheric waves with wave numbers 1, 2 and 3, an analysis of a quasi-2-day wave with wave number 1 in the zonal and meridional wind field, and an analysis of changes in the geopotential height field in the stratosphere are presented in order to consider the behavior of the stratospheric polar vortex.
Keywords. sudden stratospheric warming, dynamics of the polar stratosphere, fast trapped waves, Southern Hemisphere

На сегодняшний день природа таких явлений, как внезапные стратосферные потепления (далее ВСП), остается до конца неизученной. Такие события потепления являются ярким примером взаимодействия тропосферы и стратосферы. Планетарные волны (далее ПВ) при благоприятных условиях способны разрушать стратосферный полярный вихрь, вызывая тем самым увеличение температуры на высотах полярной стратосферы. Известно также, что квази-двухдневная волна, зарождаемая в экваториальной тропосфере, взаимодействуя с ПВ, влияет на возникновения ВСП. Анализ ПВ и квази-двухдневной волны для 2002, 2019, 2024 гг. представлен в работе. Также, для сравнительного анализа термодинамических характеристик были взяты еще два года, 1995 и 2004, в которые наблюдались похожие фазы тропических осцилляций, как для 2002, 2019 гг.

ВСП очень важно изучать, поскольку связанные с ними аномалии температуры и ветра могут спускаются вниз в тропосферу во временных масштабах от недель до месяцев и иметь значительные воздействия на зимнюю приземную погоду в обоих полушариях [1].

Зимняя стратосфера Южного полушария в 2024 году претерпела ряд аномальных явлений, таких как, серия редких незначительных потеплений и аномально высокая температура стратосферы в июле. Ожидалось развитие события ВСП, но оно не последовало. Хотя событие ВСП не произошло, для этого года также был проведен анализ термодинамических характеристик.

Анализ среднезональной температуры (77,5˚ ю.ш. на уровне 10 гПа) и зональной компоненты ветра (65˚ ю.ш. на уровне 10 гПа) показал, что событие потепления в 2002 году началось 19-20 сентября, в 2019 – 4-5 сентября, рост температуры для обоих событий составил до 40 К. В 2024 году термодинамическая ситуация способствовала развитию потепления, – но его так и не было, хотя в июле и августе наблюдалась серия незначительных повышений температуры [2]. С 8 по 14 сентября наблюдалось увеличение температуры на 19 К и уменьшение скорости ветра.

Усиление планетарной волны с волновым числом 1 отмечается за две недели до начала потепления в 2002, 2019, 2024 гг. [3]. Усиление ПВ с волновым числом 2 наблюдается только в 2024 году. Усиление ПВ с волновым числом 3 в момент максимального развития ВСП выявлено в 2002 году, когда произошло мажорное потепление. Такое усиление ПВ3 является нетипичной ситуацией для ВСП Северного полушария [1].

Анализ двух выбранных лет (1995 и 2004 гг.) показал, что усиление гармоник ПВ тоже может присутствовать в годы, когда нет событий ВСП. Однако главной отличительной чертой является то, что в годы с ВСП, эти усиления проявляются гораздо раньше.

Усиление квазидвухдневной волны с волновым числом 1 было в августе 2002, 2019 гг. и в июле 2024 г. и достигало в поле зональной компоненты 55 м/с в 2002 году, 45 м/с – в 2019 г., 50 м/с – в 2024 г., в поле меридиональной – 54 м/с в 2002 году, 26 м/с – в 2019 г., 38 м/с – в 2024 г. [1]. Усиление отмечалось приблизительно на уровне 10 гПа. В условиях аналогичных фаз в 1995 и 2004 гг. такого усиления не наблюдалось.

Также до, во время и после ВСП на уровне 10 гПа прослеживалось изменение геопотенциальной высоты в поле давления. В 2002 году обнаружилось уменьшение площади стратосферного вихря и его расщепление на 2 центра, в 2019 – уменьшение его площади и небольшое смещение от центра полюса, в 2024 – уменьшение площади, вытягивание вихря в форму «арахиса» и небольшое смещение относительно центра полюса.

Список литературы

1. *Лумпова Н.С.* Внезапные стратосферные потепления в Южном полушарии: ВКР, Санкт-Петербург, 2023. – 5 с., 71 с.
2. *Lawrence Coy, Paul Newman.* A Series of Rare Disturbances in the Stratosphere [Электронный ресурс] // The Earth Observatory. URL: https://earthobservatory.nasa.gov/images/153258/a-series-of-rare-disturbances-in-the-stratosphere (дата обращения 06.12.2024)
3. *Лумпова Н. С.,* Внезапное стратосферное потепление в 2002 году, Азимут геонаук. вып. 3. Материалы Междисциплинарной молодежной научной конференции «Азимут ГЕОнаук — 2022»., 2023, ISBN 978-5-89702-493-3, стр 262 – 263

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ СРЕДНЕЙ И ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ

Соколов А.В.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
anigahuchi@yandex.ru

Аннотация. Данные спутника «Aura» использованы для изучения весенней мезосферы. Установлено, что в годы усиления волновой активности, температурно-влажностный режим слоя претерпевает существенные изменения. Первопричиной упомянутых атмосферных возмущений служит стратосферная циркуляция.
Ключевые слова. Радиометрия, планетарные волны, стратосферная циркуляция.

ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING THE TEMPERATURE AND HUMIDITY REGIME OF THE MIDDLE AND UPPER ATMOSPHERE

Sokolov A.V.
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

Annotation. Data from the Aura satellite were used to study the spring mesosphere. It was found that in the years of wave activity intensification, the temperature-humidity regime of the layer undergoes significant changes. The stratospheric circulation is the primary cause of the mentioned atmospheric perturbations.
Keyword. Radiometry, planetary waves, stratospheric circulation.

В настоящей работе, на основе данных о температуре Microwave Limb Sounder (MLS) [1], показано, в летней мезопаузе Северного Полушария 2013 и 2015 годов проявляется первая асимметричная мода Россби [2], амплитуды которой достигают максимума необычно поздно – к началу мая. Характеристики планетарной волны (ПВ) вычислялись методом комплексных амплитуд [3]. В работе [4] показано, что результаты гидродинамического моделирования хорошо согласуются с данными Aura/MLS на высотах мезосферы и нижней термосферы (МНТ). Наличие такой ПВ сопровождалось отрицательными аномалиями температуры (-5…-10°) и положительными аномалиями концентрации H_2O (до 1 ppm). Климат вычислялся за 20 лет: с 2004 по 2024 г. Предположительно, источником ПВ могли служить внезапные стратосферные потепления (ВСП) и весенние перестройки циркуляции стратосферы [5]. С использованием данных модели UK MetOffice была вычислена структура амплитуды стационарной планетарной волны (СПВ) с $m = 1$ в поле геопотенциальной высоты на 62.5° с.ш. Максимум амплитуды СПВ1 сохраняется до начала апреля, что не прослеживается в другие года. По данным о зональной компоненте ветра в реанализе Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2) были изучены годы позднего максимума амплитуды ПВ и соседние. Весной 2013 и 2015 г зональная компонента на протяжении апреля-мая была выше климатического среднего, определенного за 42 года: с 1980 по 2022. вероятно, это не единственные факторы, необходимые для генерации ПВ, но, предположительно, именно они являются ключевыми, что требует дополнительного исследования. Показано, что в прочие годы ПВ либо проявлялась зимой, затухая к началу весны, либо вовсе отсутствовала.

Список литературы

1. *Waters, J.W., Froidevaux, L., Harwood, R.S., Jarnot, R.F., Pickett, H.M., Read, W.G., Siegel, P.H., Cofield, R.E., Filipiak, M.J., Flower, D.A., Holden, J.R., Lau, G.K., Livesey, N.J., Manney, G.L., Pumphrey, H.C., Santee, M.L., Wu, D.L., Cuddy, D.T., Lay, R.R., Loo, M.S., Perun, V.S., Schwartz, M.J., Stek, P.C., Thurstans, R.P., Boyles, M.A., Chandra, K.M., Chavez,*

M.C., Chen, G-S., Chudasama, B.V., Dodge, R., Fuller, R.A., Girard, M.A., Jiang, J.H., Jiang, Y., Knosp, B.W., LaBelle, R.C., Lam, J.C., Lee, K.A., Miller, D., Oswald, J.E., Patel, N.C., Pukala, D.M., Quintero, O., Scaff, D.M., Van Snyder, W., Tope, M.C., Wagner, P.A., and Walch, M.J.: The Earth Observing System Microwave Limb Sounder (EOS MLS) on the Aura satellite / IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 44, 5, 2006, P.1075-1092
2. *Forbes, J. M*. Tidal and planetary waves, The Upper Mesosphere and Lower Thermosphere: A Review of Experiment and Theory, Geophys. Monogr. Ser., 87, 67–87, https://doi.org/10.1029/GM087p0067, 1995.
3. *Yamazaki, Y*. A method to derive Fourier–wavelet spectra for the characterization of global-scale waves in the mesosphere and lower thermosphere and its MATLAB and Python software (fourierwavelet v1.1), Geosci. Model Dev., 16, 4749–4766, https://doi.org/10.5194/gmd-16-4749-2023, 2023.
4. *Didenko K.A., Koval A.V., Ermakova T.S., Sokolov A.V., Toptunova O.N.:* Analysis of a secondary 16-day planetary wave generation through nonlinear interactions in the atmosphere / Earth, Planets and Space (2024) 76:124 https://doi.org/10.1186/s40623-024-02072-x
5. *Savenkova E.N., Kanukhina A.Yu., Pogoreltsev A.I., Merzlyakov E.G.* Variability of the springtime transition date and planetary waves in the stratosphere / Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 90–91 (2012) 1–8 doi:10.1016/j.jastp.2011.11.001

АНАЛИЗ СМЕЩЕНИЯ БАРИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ ЕВРАЗИИ В ПЕРИОД ВНЕЗАПНЫХ СТРАТОСФЕРНЫХ ПОТЕПЛЕНИЙ

Головко А.Г., Ермакова Т.С.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

Аннотация. В статье представлен краткий синоптический анализ поля приземного давления над территорией Евразии и над акваторией Северного Ледовитого океана в зимний период во время внезапных стратосферных потеплениях (ВСП) для зим 1995-1996, 2004-2005, 2006-2007, 2010-2011, 2013-2014, 2019-2020. Для 4 из 6 зим обращение зональной компоненты ветра не происходило при увеличении температуры в стратосфере, для двух – ветер ослабевал до нуля или достигал 10 м/с в восточном направлении. Однако синоптическая ситуация у поверхности в разные зимы оказалась схожей. Чаще всего антициклоны смещались с севера на Западно-Сибирскую равнину (3 случая: зимы 1995-1996, 2004-2005, 2010-2011 гг.), Средне-Сибирское плоскогорье (3 случая: зимы 2004-2005, 2010-2011, 2013-2014) и также на территории п-ова Таймыр, Якутии и Чукотского п-ова.
Ключевые слова. внезапное стратосферное потепление, волны холода, амплитуда планетарной волны

ANALYSIS OF BARIC FORMATIONS DISPLACEMENT OVER THE TERRITORY OF EURASIA DURING THE PERIOD OF SUDDEN STRATOSPHERIC WARMING

Golovko A.G., Ermakova T.S.
Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

Abstract. A brief synoptic analysis of surface pressure over the territory of Eurasia and over the Arctic Ocean in winter under sudden stratospheric warming (SSW) conditions for winters 1995-1996, 2004-2005, 2006-2007, 2010-2011, 2013-2014, 2019-2020 is presented. For 4 of the 6 winters, the zonal wind did not change its direction from west to east with a temperature increase in the stratosphere; for two winters, the wind weakened to zero velocity or reached 10 m/s. However, the synoptic situation near the surface turned out to be similar. Most often, anticyclones moved from the north to the West Siberian Plain (3 cases: winters 1995-1996, 2004-2005, 2010-2011), the Central Siberian Plateau (3 cases: winters 2004-2005, 2010-2011, 2013-2014) and also on the territory of Taimyr Peninsula, Republic of Sakha and Chukchi Peninsula.
Keywords. sudden stratospheric warming, cold waves, planetary wave amplitude

В последние десятилетия активно исследуется влияние процессов в средней атмосфере на погодные условия в тропосфере. Расширение объема данных о состоянии стратосферы и ее учёт позволит уточнять среднесрочные прогнозы погоды для высоких и средних широт зимой.

Динамическое взаимодействие тропосферы и стратосферы осуществляется как вверх, через планетарно-волновые воздействия стратосферной циркуляции, так и вниз, через аномалии тропосферной циркуляции, следующими за стратосферными экстремумами. Такая корреляция между изменчивостью тропосферы и стратосферы может иметь ключевую роль в прогнозировании погоды на срок примерно в две недели.

Волновая активность является показателем формирования термодинамического режима в стратосфере, особенно в зимние месяцы, и является одним из предикторов волн холода в высоких и средних широтах. В Евразии волна холода может опускаться из высоких широт в умеренные в любой части континента, от Европы до Дальнего Востока. В связи с этим данная работа охватывает анализ нескольких зим в период с 1990-2023 и использует данные как станционные, так и реанализа «MERRA-2».

Внезапное стратосферное потепление (ВСП) – это сильное и внезапное повышение температуры на несколько десятков градусов в полярной и субполярной стратосфере зимой в течение нескольких дней. Потеплению предшествует замедление, а затем изменение направления западных ветров в стратосферном полярном вихре.

Были проанализированы 34 зимы с 1990-2023 и детально рассмотрены 6 случаев: 1995-1996, 2004-2005, 2006-2007, 2010-2011, 2013-2014, 2019-2020.

Для зимы 1995-1996 гг. было увеличение температуры в стратосфере на 22 К, но обращения ветра не произошло. Посчитав те же значения выше (на 40 км для температуры, 50 км для ветра), то обращение ветра с западного на восточное составило 10 м/с. За месяц до ВСП 17.01.1996 - 02.02.1996 было очень сильное усиление амплитуды планетарной волны с m = 1 и достигло 2400 гпм. И также сильно было усиление амплитуды планетарной волны с m = 2 и достигло 2000 гпм.

Зима 2004-2005 гг. характеризуется увеличением температуры в стратосфере с разницей 25 К, ветер ослаб до нуля, но его обращения не произошло как на высоте 40 км, так и на 50 км. За 1,5 месяца до ВСП 04.01.2005 было сильное усиление амплитуды планетарной волны с m = 1 и достигло 2000 гпм. И такие же значения фиксировались с 01.02.2005-05.02.2005. Усиления амплитуды планетарной волны с m = 2 не произошло.

Зимний период 2010-2011 гг. можно охарактеризовать как увеличение температуры в стратосфере без обращения ветра. Даты ВСП приходятся с 20.01.2011-01.02.2011, повышение температуры составляет 25К без обращения ветра. На высоте 40 км в даты с 27.01.2011-01.02.2011 фиксировалось очень сильное увеличение температуры и составило 43 К, а ветер на 50 км только ослаб до нуля. 02.01.2011за 18 дней до потепления усилилась амплитуды планетарной волны с m =1 и составила 2700 гпм. А 01.02.2011 ПВ1 достигла 2400 гпм. И ровно между этими датами 16.01.2011 произошло усиление ПВ2 со значением 1000 гпм.

Анализируя синоптическое положение в период ВСП для зимы 1995-1996 гг. можно наблюдать, что 14.02.1996 г. практически над всей территорией России была зафиксирована область высокого давления с центрами северо-восточнее Каспийского моря (1050 гПа), над Карским морем (1020 гПа), над Становым хребтом (1023 гПа). Также центр антициклона фиксировался у северных берегов Канады (1043 гПа). В это время циклоны с северо-восточных побережий Канады двигались через северный полюс и 23.02.1996 формировалась двуцентровая депрессия с центром над полюсом (950 гПа) и над Исландией (980 гПа). 25.02.1996 – наблюдался антициклон от европейской части РФ до Енисея, с центром на Западно-Сибирской равниной (1052 гПа). Далее произошло расщепление антициклона 26.02.1996 с новым центром над ЕТС (1047 гПа), который мало смещался до 29.02.1996. Аналогичное смещение антициклонов в сторону Западно-Сибирской равнины наблюдалось для зим 2004-2005 и 2010-2011 гг.

Кроме того, индекс арктического колебания (АО) был положительным и составил +0.16 для февраля 1996. Это соответствует концепции, согласно которой положительная фаза АО направляет атлантические циклоны в высокие широты, формируя более влажную и мягкую погоду в Северной Европе и более сухую – в Южной. Для февраля 2005 индекс АО был отрицательным и составил -1.27. Это подтверждает знание о том, что отрицательная фаза АО

характеризуется повышенным атмосферным давлением в полярных районах и пониженным на 45° с.ш. Индекс АО для января 2011 также был отрицательным и составил -1.68.

Зима 2006-2007 гг. характеризуется увеличением температуры в стратосфере на 20 К в период с 01.02.2007 - 03.02.2007, обращения ветра не случилось. «Второе» потепление в стратосфере с 17.02.2007 - 18.02.2007 составило 25 К вместе со сменой ветра на восточное направление до 30 м/с. На высоте 50 км была аналогичная ситуация. Задолго до потепления (ВСП) были отмечены значительные усиления амплитуды планетарной волны с m =1 в дни 16.12.2006 и 01.01.2007 и составили 2700 гпм. А 16.02.2007 во время второго «скачка» температуры в стратосфере уже усилилась амплитуда планетарной волны с m = 2 до 1050 гпм.

Зимой 2013-2014 гг. отмечалось увеличение температуры в стратосфере на 22 К в период 02.02.2014-08.02.2014 и ветер сменился на восточное направление до 10 м/с. На высоте 40 км температура увеличилась на 35 К с 02.02.2014-05.02.2014, ветер также поменял направление и достиг 20 м/с. За месяц до ВСП, а именно с 01.01.2014-01.02.2014 усилилась амплитуда ПВ1 и составила 2000 гпм. ПВ2 усилилась с 01-14.01.2014 и достигло 1200 гпм. 03.02.2014 также ПВ2 достигла 1050 гпм.

Говоря о приземных барических образованиях в период зимы 2006-2007, отмечались полярные антициклоны 30.01.2007 – 04.02.2007 (1044 гПа), а над территорией РФ преобладали области низкого давления и седловины. С 11.02.2007 – 13.02.2007 располагались антициклоны над Среднесибирским плоскогорьем и также над Северным Ледовитым океаном. С 14.02.2007 – 17.02.2007 над Северным полюсом, над европейской территорией и над всем севером страны (кроме единственного циклона над п-ов Ямал) – антициклоны. Схожая синоптическая ситуация, при которой антициклоны смещались в сторону Среднесибирского плоскогорья, фиксировалась также для зим 2010-2011 и 2013-2014 гг. Индекс арктического колебания был отрицательным и составил -1.3 для февраля 2007, а для февраля 2014 - был положительным (+0.04).

Для зимы 2019-2020 гг. зафиксировано увеличение температуры в стратосфере на 23 К в период с 01.02.2020-04.02.2020, однако ветер не менял направление и не ослабевал. В то же время на высоте 40 км температура увеличилась на 28 К, а на 50 км ветер всё же ослаб до нуля. Амплитуда ПВ1 увеличивалась задолго до ВСП с 18.12.2019-01.01.2020 и составила 2100 гпм. И такой же величины она зафиксировалась 05.02.2020 г. Амплитуда ПВ2 увеличивалась 18.01.2020, затем 03.02.2020 и 18.02.2020 и составила 750-800 гпм. на высоте примерно 30 км.

Проанализировав синоптику, можно утверждать, что с 04.02.2020 циклон с о. Гренландия движется через Баренцево и Карское моря и достигает 07.02.2020 п-ов Ямал (982 гПа). В это время над Северным Ледовитым океаном – область высокого давления. 09.02.2020 антициклон проникает на п-ов Таймыр с севера (1000 гПа). А с о. Гренландия смещался обширный глубокий циклон, который проходил через север и центральную часть Европы, и уходил на север в Баренцево море, заполняя бОльшую часть Северного Ледовитого океана (14.02.2020). А 15.02.2020 от Португалии до Чукотского п-ова наблюдалась область высокого давления. Индекс арктического колебания был положительным и составил +3.4 для февраля 2020.

Резюмируя анализ 6 рассмотренных зим, можно заключить, что для них типичным было увеличение температуры в стратосфере на величину порядка 22-25 К, однако зональная компонента ветра не обращалась (4 случая из 6) и в 2х оставшихся случаях достигала значений 10 м/с или ослабевала до 0. Что касается синоптической ситуации у поверхности, то чаще всего антициклоны смещались с севера на Западно-Сибирскую равнину (3 случая: зимы 1995-1996, 2004-2005, 2010-2011 гг.), Средне-Сибирское плоскогорье (3 случая: зимы 2004-2005, 2010-2011, 2013-2014) и также на территории п-ова Таймыр, Якутии и Чукотского п-ова. В среднем через 10-14 дней тропосфера реагировала на смену режима стратосферного полярного вихря, принося с собой антициклональный тип погоды и волны холода на вышесказанные территории.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УРБАНИЗАЦИИ НА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ПРИРОДНЫХ ЗОНАХ

Клецова В.А., Анискина О.Г.,
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
vlada.kletsova@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматривается влияние урбанизации на метеорологические условия для государственного природного заказника «Мшинское болото». Проведен анализ распределения скорости и направления ветра и температуры на основе результатов гидродинамического моделирования с использованием модели WRF-ARW.
Ключевые слова. Урбанизация, численное моделирование, WRF-ARW, Санкт-Петербург, Ленинградская область, метеорологические условия.

HYDRODYNAMIC MODELING OF URBANIZATION IMPACT ON METEOROLOGICAL CONDITIONS IN NATURAL AREAS

Kletsova V.A., Aniskina O.G.
Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg

Annotation. The study examines the impact of urbanization on meteorological conditions in the State Nature Reserve "Mshinskoye Boloto". An analysis of wind roses and prognostic temperature fields was conducted based on hydrodynamic modeling using the WRF-ARW model.
Keywords. Urbanization, numerical modeling, WRF-ARW, Leningrad Region, meteorological conditions.

Урбанизация оказывает значительное влияние на метеорологические условия, изменяя динамику и термический режим атмосферы.

Влияние урбанизации на такие метеорологические величины, как скорость ветра и температура воздуха, изучается для оценки воздействия городской среды на локальный климат. В данном исследовании для изучения этого влияния использовались результаты мезомасштабной гидродинамической модели WRF-ARW.

Численные эксперименты проводились для Ленинградской области, включая природную территорию государственного заказника «Мшинское болото», и для г. Санкт-Петербурга. Мшинское болото выбрано в качестве репрезентативной природной территории, где влияние антропогенных факторов минимально, что позволяет оценить отличия в метеорологических условиях между урбанизированной и природной средой.

Моделирование проводилось на двух сетках (материнская и вложенная) и оценивались результаты на вложенной сетке (94x163 узлов, шаг по горизонтали 2000 м, шаг по времени 10 секунд) за период с 1 по 31 января 2020 года с заблаговременностью 36 часов с перекрытием в 12 часов. Анализировались данные за каждый час прогноза, как с учетом (параметризации) урбанизации, так и без нее.

Моделирование влияния урбанизации предполагает описание взаимодействия городских поверхностей с атмосферой. Понятие «городская поверхность» включает геометрию городской застройки, свойства подстилающих поверхностей (асфальт, бетон, зеленые насаждения) и их влияние на теплообмен с атмосферой и на воздушные потоки. Параметризация состоит из двух блоков:

- Параметризация городской застройки (BEP) [1] включает описание процессов внутри и вокруг зданий, таких как геометрия зданий, свойства материалов (теплопроводность, теплопотери, абсорбция солнечной радиации), внутренние тепловые нагрузки и управление энергопотреблением.
- Параметризация энергопотребления зданий (BEM) [2] оценивают энергетические потоки в зданиях, включая теплопотери, эффективность систем отопления и кондиционирования, а также влияние городской среды на энергопотребление зданий.

Для оценки влияния урбанизации рассмотрены:

1. Розы ветров для Мшинского болота, демонстрирующие распределение направлений и скоростей ветра.

2. Прогностические поля температуры воздуха для Ленинградской области, включая Санкт-Петербург.

Сравнение модельных полей температуры с учетом урбанизации и без нее показало значительные различия в температурных режимах. Без учета урбанизации температура в районе Санкт-Петербурга и в его окрестностях были ниже, эффекта «остров тепла» не наблюдалось. Поле температуры однородное и не наблюдается значительных аномалий. В модели с учетом урбанизации температура в городской черте была значительно выше, что указывает на наличие «острова тепла». Ночная температура превышала на 10°C температуру при моделировании без учета урбанизации. В природных районах таких изменений не наблюдается.

Анализ розы ветров, рассчитанных для района Мшинского болота, выявил различия в распределении скоростей и направлений ветра в зависимости от наличия или отсутствия параметризации урбанизации.

При учёте урбанизации наблюдается преобладание ветров юго-западного сектора, при этом частота сильных ветров, скорость которых превышает 6 м/с, значительно увеличивается именно в этом направлении. Характерной особенностью является наличие ветров с высокими скоростями, достигающими 9 м/с и выше, которые формируют ярко выраженные пики в юго-западном секторе. Максимальная скорость ветра достигает 10 м/с, что связано с влиянием урбанизированных территорий, создающих эффект «каналов» воздушных потоков.

В условиях отсутствия урбанизации также сохраняется доминирование ветров юго-западного сектора, однако скорости ветра в этом направлении оказывается ниже. Частота слабых ветров с диапазоном скоростей от 0 до 3 м/с увеличивается, что приводит к более сглаженному распределению. Максимальная скорость ветра при этом также достигает 9 м/с, однако пики менее выражены по сравнению с урбанизированной моделью.

Результаты анализа показывают, что урбанизация оказывает влияние на метеорологические условия как в городских, так и в природных районах. Для Мшинского болота влияние урбанизации выражается в усилении ветровых потоков, особенно юго-западного направления, что связано с перераспределением воздушных масс и изменением характеристик подстилающей поверхности. Максимальные скорости ветра с урбанизацией чаще достигают 10 м/с, а частота слабых ветров снижается. Прогностические поля температуры также подтверждают наличие эффектов урбанизации, таких как повышение ночных температур в городских районах. Это подчеркивает необходимость учета параметризации урбанизации при моделировании метеорологических процессов, особенно в регионах с высокой степенью антропогенного воздействия.

Список литературы

1. Клецова В.А., 2024: Моделирование атмосферных процессов в масштабе города. Сборник научных трудов БГФ, 2024. Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, стр. 239-242 [Электронный ресурс]. URL: *https://psv4.userapi.com/s/v1/d/fIbIh4KAvzVDL0CaqGKATjqeEbbA1oI1iI-ZQAlCibx5x_9ZgH1DSwMPlPgFUyqjFdVnRzE8bYyNwu7cz_2t9sJzTkIcm9qRt_ad_uRMh5dKwbxtWvQs_g/Sbornik_BGF_2024.pdf* (дата обращения: 25.11.2024).
2. 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.

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ С ДАННЫМИ ГРОЗОПЕЛЕНГАТОРОВ

Тюриков И.А.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
ityurikovman@mail.ru

Аннотация. Производится сравнение информации о грозовой активности, регистрируемой метеорологическими радиолокаторами и грозопеленгационной сетью Blitzortung.
Ключевые слова. Радиолокация, грозопеленгация, гроза, грозовая активность, мезомасштабная конвективная система.

COMPARISON OF RADAR RESULTS OBSERVATIONS WITH DATA FROM LIGHTNING DIRECTION FINDERS

Tyurikov I.A.
Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

Annotation. Information on thunderstorm activity recorded by meteorological radars and the Blitzortung lightning direction finding network is compared.
Keywords. Radar, lightning direction finding, thunderstorm, thunderstorm activity, mesoscale convective system.

Рассматриваются данные радиолокационной сети Беларуси во время прохождения мезомасштабной конвективной системы, связанной с прохождением холодного фронта 7 августа 2023. На линии фронта наблюдалась высокая грозовая активность, ливни, град и шквалистый ветер. Вместе с радиолокационными системами РБ одновременно работала грозопеленгационная сеть (ГПС) Blitzortung – международная некоммерческая многопунктовая ГПС для определения разрядов в атмосфере в режиме реального времени.

В рамках работы данные ГПС сравнивались с информацией о грозовой активности, получаемой с помощью системы обработки радиолокационных данных «МетеоЯчейка». В основе радиолокационного метода традиционно лежат такие предикторы, как Y-параметр, поляриметрическая информация, вертикальное распределение отражаемости.

Информация, полученная от Blitzortung, была приведена к дискретности 10 минут для их удобного сравнения за аналогичные сроки. Для получения пространственной структуры группы точек разрядов были использованы, так называемые, альфа-формы, основанные на применении алгоритма Делоне. Использование альфа-форм помогло перейти к структуре, которую удобное накладывать на регулярную сетку.

Полученные объекты альфа-форм, аппроксимирующие разряды, сравнивались по местоположению с явлениями погоды, определяемыми радиолокатором (гроза с вероятностью 30-70%, гроза с вероятностью 70-90%, гроза с вероятностью >90%, а также более опасные явления погоды, такие, как град).

Список литературы

1. *Куров А.Б., Геккиева Ж.М., Синькевич А.А., Абшаев А.М., Михайловский Ю.П., Аджиев А.Х.* Исследование особенностей работы грозопеленгационной системы BLITZORTUNG, Труды Главной Геофизической Обсерватории, 2022
2. *Бочарников Н.В., Брылев Г.Б., Кузнецова Л.И., Линев А.Г., Лялюшкин А.С., Оленев В.А., Паркинен Т.В., Солонин А.С., Устинов В.К., Фролов В.И., Четверикова Е.С.*

Якимайнен Н.А. Автоматизированные метеорологические радиолокационные комплексы «Метеоячейка». Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2007. 238с.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В МОДЕЛИ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ОКЕАНА

Бухарев А.А.
Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург, Россия
anton.bukharev@gmail.com

Аннотация. Сравниваются различные методы параметризации турбулентности в верхнем слое океана. Оценивается влияние усложнения схема параметризации и введения дополнительных уравнений на качество моделирования. Проведено сравнение модельных данных выполненных при различных методах параметризации турбулентности с фактическими данными и данными реанализа. Показано, что усложнение схемы параметризации не приводит к однозначному улучшению результатов.
Ключевые слова. Параметризация турбулентности, коэффициент турбулентности, математическое моделирование, верхний слой океана.

COMPARISON OF TURBULENCE PARAMETERIZATION METHODS IN AN UPPER OCEAN LAYER MODEL

A.A.Bukharev
Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia

Abstract. Various methods of turbulence parameterization in the upper ocean layer are compared. The impact of increasing the complexity of parameterization schemes and introducing additional equations on the quality of modeling is evaluated. A comparison is conducted between model data obtained using different turbulence parameterization methods and actual data as well as reanalysis data. It is shown that increasing the complexity of the parameterization scheme does not unequivocally lead to improved results.
Keywords. Turbulence parameterization, turbulence coefficient, mathematical modeling, upper ocean layer.

При проведении исследований, включающих в себя работу с моделями океана, необходимо так или иначе описывать турбулентное перевешивание. При это зачастую выбирается какой-то 1 метод реализации схемы турбулентного перемешивания [1], в то время как одна и та же схема может демонстрировать различные результаты из-за математической реализации конкретной модели [2] или незначительных модификаций [3].

Кроме того, выбор той или иной схемы может быть затруднен дополнительными усилиями необходимыми для ее имплементации и настройки, в то время как результат нельзя предсказать однозначно.

Ранее проводились сравнения отдельных реализаций с ограниченным количеством экспериментов [4, 5]. Однако, вопрос об обширном сравнении результатов моделирования, проведенных с большим количеством различных методов представления турбулентности, остается открытым.

Во многих современных моделях циркуляции океана для описания процессов турбулентного перемешивания используют так называемые TKE-схемы, в которых вышеуказанные коэффициенты определяются через кинетическую энергию

турбулентности (*b*), расчет которого осуществляется с помощью уравнения для кинетической энергии турбулентности

$$\frac{\partial b}{\partial t} = k_h \left(\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right) - \frac{\partial}{\partial z} k_m \frac{\partial b}{\partial z} + k_m \frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} - \varepsilon \quad (1)$$

где b – кинетическая энергия турбулентности; k_m и k_h– коэффициенты турбулентного обмена для скалярной величины и импульса; u, v – горизонтальные компоненты скорости; ρ–плотность; ε– скорость диссипации кинетической энергии турбулентности.

Применяются и упрощенные варианты TKE-схем, например, используя алгебраический вид уравнения (1), в котором кинетическая энергия турбулентности принимается стационарной величиной, а ее диффузия равна 0:

$$0 = k_h \left(\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right) - k_m \frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z} - \varepsilon \quad (2)$$

Меллором и Ямадой [6] так же была предложена запись уравнения (1) через другую величину:

$$\frac{q^2}{2} = b$$

тогда уравнение (1) можно записать в виде Меллора-Ямады:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{q^2}{2}\right) = \frac{\partial}{\partial z}\left(q S_q \frac{\partial q^2}{\partial z} \right) + k_h E_1 \left(\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right) + E_3 \frac{g}{\Theta} \frac{\partial \Theta}{\partial z} - \varepsilon, \quad \varepsilon = \frac{q^3}{B_1 l} \quad (3)$$

Для определения этих неизвестных вводят дополнительные уравнения и соотношения, называемые замыканиями. Степень сложности TKE-схемы определяется способом определения k_m, k_h, ε. Чаще всего используют замыкание на основе характерного масштаба турбулентных образований.

$$\varepsilon = \mathrm{C}_2 b^{3/2} l^{-1} \quad (4)$$

$$k_m = \mathrm{C}_1 l \sqrt{b} \quad (5)$$

$$k_h = \mathrm{C}_3 l \sqrt{b} \quad (6)$$

где C_1, C_2, C_3, – константы, l – масштаб турбулентности

Для масштаба турбулентности существует множество различных гипотез, наиболее часто применяются следующие из них:

- параболический профиль

$$l = \kappa \frac{(d_s + z_0^s)(d_s + z_0^b)}{d_s + d_b + z_0^b + z_0^s} \quad (7)$$

- дельтовидный профиль

$$l = \kappa \min\left(d_s + z_0^s,\ d_b + z_0^b\right) \quad (8)$$

- метод Синга и Дэвиса

$$l = \kappa \frac{(d_s + z_0^s)(d_b^{Xing} + z_0^b)}{d_s + d_b^{Xing} + z_0^s + z_0^b}, \; d_b^{Xing} = d_b \exp(-\beta \frac{d_b}{d_b + d_s}) \quad (9)$$

- метод Роберта и Улетта

$$l = \kappa(d_b + z_0^b)\sqrt{1 - \frac{d_b - z_0^b}{d_b + d_s}} \quad (10)$$

- метод Блэкадара

$$l = (\frac{1}{\kappa(d_s + z_0^s)} + \frac{1}{\kappa(d_b + z_0^b)} + \frac{1}{l_a}), \; l_a = \gamma_0 \frac{\int_{-H}^{\eta} b^{1/2} z dz}{\int_{-H}^{\eta} b^{1/2} dz} \quad (11)$$

- метод Эйфлера и Шримфа

$$l = \kappa \frac{\kappa \tilde{z}}{1 + \frac{\kappa \tilde{z}}{\gamma h_m}} (1 - R_f)^{\nu}, \; Ri = \frac{g}{\Theta} \frac{\frac{\partial \Theta}{\partial z}}{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z}\right)^2} \quad (12)$$

где к – постоянная Кармана; d_s и d_b – расстояние от поверхности и дна соответственно; z_0^s и z_0^b – параметр шероховатости поверхности и дна; $\beta, \gamma, \gamma_0, \eta, \nu$ – константы

Более сложные способы замыкания используют дополнительное прогностическое уравнение. Например, для скорости диссипации (BE-схема):

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \frac{k_m}{\sigma_e} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} + \frac{e}{b} \left(C_{e1} k_h \left(\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right) + C_{e3} k_m \frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z} - C_{e2} \varepsilon \right) \quad (13)$$

При сопоставлении данных моделирования с использованием большого числа различных схем параметризации кинетической энергии становится ясно, что введение дополнительных уравнений и констант далеко не всегда приводит к улучшению результатов моделирования.

Кроме того, нельзя однозначно выделить какую-то одну или несколько схем, применение которых бы однозначно приводило к лучшим результатам моделирования по сравнению с остальными. Более того, иногда схема, которая показала худшие результаты в одном из пунктов работает лучше остальных в другом пункте.

Можно так же отметить, что использование динамического уравнения в виде Меллора-Ямады в среднем приводит к улучшению результатов, однако этот прирост оказывается значительным только в сравнении с наименее удачными схемами для тех же пунктов наблюдений. В некоторых же случаях прирост качества по сравнению с алгебраическим видом составляет доли процента или вовсе приводит к ухудшению результатов.

Так же стоит отметить, что использованию функциональной зависимости числа Прандтля от числа Ричардсона не приводит к значительному улучшению или ухудшению результатов.

Наконец, использование расчитанной адвекции по данным реанализа в модели верхнего слоя океана не всегда улучшает результаты модели. Даже несмотря на то, что реанализ при этом очень близок к данным наблюдений. По-видимому, это связано с тем,

что точность реанализа достигается ассимиляцией данных, в результате чего может происходить несогласованность полей океанологических характеристик.

Список литературы

1. *Ďurán, I. B., J. Geleyn, F. Váňa, J. Schmidli, and R. Brožková*, 2018: A Turbulence Scheme with Two Prognostic Turbulence Energies. J. Atmos. Sci., 75, 3381–3402, https://doi.org/10.1175/JAS-D-18-0026.1.
2. *Li, Q., Reichl, B. G., Fox-Kemper, B., Adcroft, A. J., Belcher, S. E., Danabasoglu, G., Grant, A. L. M., Griffies, S. M., Hallberg, R., Hara, T., Harcourt, R. R., Kukulka, T., Large, W. G., McWilliams, J. C., Pearson, B., Sullivan, P. P., Van Roekel, L., Wang, P., and Zheng, Z.*: Comparing Ocean Surface Boundary Vertical Mixing Schemes Including Langmuir Turbulence, J. Adv. Model. Earth Sy., 11, 3545–3592, https://doi.org/10.1029/2019MS001810, 2019.
3. *Danabasoglu, G., Large, W. G., Tribbia, J. T., Gent, P. R., Briegleb, B. P., and McWilliams, J. C.*: Diurnal Coupling in the Tropical Oceans of CCSM3, J. Climate, 19, 2347–2365, https://doi.org/10.1175/JCLI3739.1, 2006.
4. *Gutjahr, O., Brüggemann, N., Haak, H., Jungclaus, J. H., Putrasahan, D. A., Lohmann, K., and von Storch, J.-S.:* Comparison of ocean vertical mixing schemes in the Max Planck Institute Earth System Model (MPI-ESM1.2), Geosci. Model Dev., 14, 2317–2349, https://doi.org/10.5194/gmd-14-2317-2021, 2021.
5. *Pandey, L. K., & Dwivedi, S. (2020*). Comparing the Performance of Turbulent Kinetic Energy and K-Profile Parameterization Vertical Parameterization Schemes over the Tropical Indian Ocean. Marine Geodesy, 44(1), 42–69. https://doi.org/10.1080/01490419.2020.1835758
6. *Mellor, G.L.* A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers [Text] / G.L. Mellor, T. Yamada // J. Atmospheric sciences. –1974. – Vol. 31. –P. 1791–1806.

ПРОГНОЗ ОСАДКОВ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ БУРУНИ С ПОМОЩЬЮ МЕЗОМАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ WRF-ARW

Нсабимана Шабани
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт Петербург
shabani93@mail.ru

Аннотация. Исследована климатология осадков на территории Бурунди и разработана методика их гидродинамического прогноза с использованием гидродинамической мезомасштабной модели WRF-ARW. Описана верификация прогнозов по данным наблюдений на метеорологических станциях. Доказана возможность использования данной модели для прогноза осадков в исследуемой области.
Ключевые слова. прогноз осадков, Бурунди, климат, сезон, численные эксперименты.

RAINFALL FORECAST FOR TERRITORY OF BURUNDI USING WRF-ARW MODEL

Nsabimana Shabani
Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

Abstract. The rainfall climatology for Burundi has been studied and a method for their hydrodynamic forecast has been developed using the hydrodynamic mesoscale model WRF-ARW. The verification of forecasts based on observation data from meteorological stations has been described. The possibility of using this model to forecast precipitation in the study area.
*Keywords***.** rainfall forecast, Burundi, season, numerical experiments.

Актуальность Республика Бурунди это одна из значимых стран Африканского континента, а её экономика в большей степени базируется на сельском хозяйстве. Прогностическая информация о наличии или отсутствии осадков, а также о их

количестве, позволит потребителям планировать свою деятельность. Поскольку в Бурунди осадки могут иметь катастрофический характер, то прогнозы осадков необходимы и министерству гражданской обороны для планирования спасательных операций и оказания помощи населению, оказавшемуся на затопленных территориях. Важность разработки методов прогнозов осадков возросла в последние десятилетия в связи с изменением климата. Долгосрочные прогнозы осадков необходимы правительственный органам для выработки и реализации адаптационных мероприятий.

Всё вышеперечисленное определяет актуальность данного исследования, которое посвящено изучению климатологии осадков Бурунди и разработке модели гидродинамического моделирования осадков.

Краткое описание климатологии осадков. В Бурунди тропический дождливый климат с годовым количеством осадков от 700 до 1800 мм. Для изучения климатических закономерностей полей осадков в Бурунди в данном исследовании использованы данные измерений на метеорологических станциях, предоставленные гидрометеорологическим департаментом Географического института Бурунди (*https://www.igebu.bi/*). Получено пространственное распределение суммарное годовое количества осадков на территории Бурунди (рисунок 1) по данным за период 1991 -2020 гг. Треугольники на рисунке 1 показывают распределение метеорологических станций, по данным с которых проводился анализ.

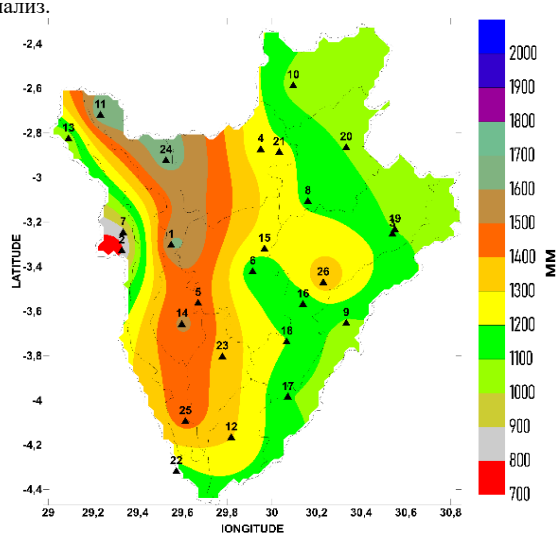


Рисунок 1 – Суммарное годовое количество осадков (мм, период 1991-2020 гг.)

По полученным результатом можно сделать вывод о меридиональном распределении суммарных осадков. Выделяющийся регион (около станции номер 26) это горная местность со своим особым режимом осадков.

Проанализирован годовой ход суммарного количества осадков по всей территории Бурунди (рисунок 2) и для каждого региона отдельно. Временной ход суммарного количества осадков однотипен во всех регионах – минимум (практически полное отсутствие осадков) в июле и максимум в зимние месяцы.

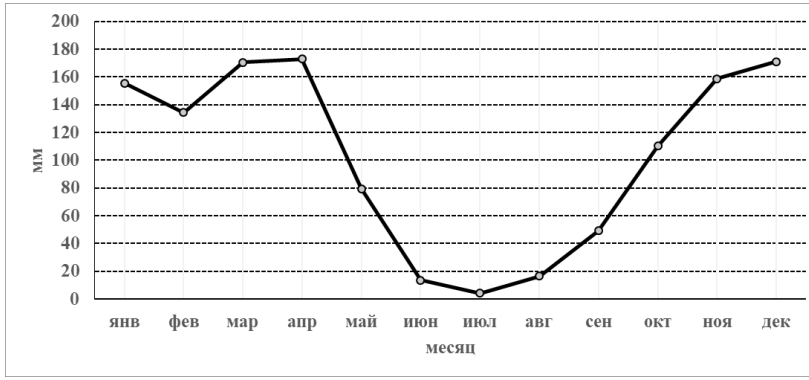


Рисунок 2 – Годовой ход осадков (климатические среднемесячные за 30 лет 1991-2020)

По количеству осадков можно выделить четыре климатических сезона:

длинный сезон дождей с сентября по декабрь,

короткий сезон дождей с марта по май,

переходный сезон с января по февраль, малое количество осадков по сравнению с сезонами дождей, сухой сезон с июня по август дождей мало или совсем нет.

Количество осадков во всех сезонах связано с глобальной циркуляции, например, с явлением Эль-Ниньо/Южное колебание.

Пространственное распределение осадков по территории Бурунди представлено на рисунке 3. Видно, что сохраняется меридиональность в распределении осадков. От засухи страдают южные и западные регионы (возможны человеческие жертвы и значительные потери для экономики страны), в то время как на востоке страны в длинный сезон дождей выпадает очень большое количество осадков. На количество осадков в сезон дождей значительно влияние оказывает рельеф местности. Экстремальное количество осадков отмечено в горной местности (высота над уровнем моря выше 2000 м).

УЛУЧШЕНИЕ АЛГОРИТМА КЛАССИФИКАЦИИ МОЛНИЕВЫХ РАЗРЯДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Фурлетов Н. М.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
meteofurletov@gmail.com

Аннотация. Разрабатывается алгоритм для классификации молниевых разрядов по данным доплеровского метеорологического радара с использованием алгоритмов машинного обучения и нейронных сетей.

Ключевые слова. Метеорологический радиолокатор, машинное обучение, нейронные сети.

IMPROVING THE LIGHTNING CLASSIFICATION ALGORITHM BASED ON NEURAL NETS

Nikita Furletov
Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg

Annotation. An algorithm is being developed for classifying lightning discharges based on Doppler weather radar data using machine learning algorithms and neural networks.

*Keywords***.** Doppler weather radar, machine learning, neural networks.

Использование машинного обучения в задаче классификации молниевых разрядов позволяет получить значительный прирост в качестве, в сравнении с классическими методами, такими как параметр Y и VIL.

Анализ сравнения различных методов машинного обучения показал, что наиболее производительные модели для решения данной задачи, являются нейронные сети.

В итоге, был получен универсальный алгоритм для обучения и тестирования моделей машинного обучения, который может быть использован для любого доплеровского радара.

Список литературы

1. *Doe J., Smith, A.* Lightning Strike Location Identification Based on 3D Weather Radar Data, 2021 Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/353687475_Lightning_Strike_Location_Identification_Based_on_3D_Weather_Radar_Data

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕТАЛИЗИРОВАННОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ НА ПРОГНОЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ПО ДАННЫМ МОДЕЛИ WRF-CHEM

Черкашин Д.М.
Российский государственный гидрометеорологический университет,
denny.axov@gmail.com

Аннотация. В исследовании рассматривается оценка разности метеорологических (температура воздуха, скорость ветра, отношение смеси водяного пара) и химических величин (отношение смеси диоксида серы (SO_2) и моноксида углерода (CO)) с учетом и без учета детализированной застройки г. Санкт-Петербург.
Ключевые слова. WRF-Chem, городская застройка, Санкт-Петербург

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF DETAILED URBAN DEVELOPMENT OF ST. PETERSBURG ON THE FORECAST METEOROLOGICAL AND CHEMICAL VALUES ACCORDING TO THE WRF-CHEM MODEL DATA

Cherkashin D.M.
Russian State Hydrometeorology University

Abstract. In study considers assessment of the difference of meteorological (temperature air, wind velocity, water vapor mixing ratio) and chemical values (sulfur dioxide (SO_2) and monoxide carbon (CO) mixing ratio) with and without taking into account the detailed urban development of St. Petersburg.
Keywords. WRF-Chem, urban development, St. Petersburg

В условиях мегаполисов существенное влияние оказывается на окружающую среду, в том числе и на метрологические 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].

В качестве данных использовались результаты численного моделирования WRF-Chem (за период 3-8 июля 2021 года) с учетом и без учета детализированной застройки г. Санкт-Петербург. Данные представлены в виде пространственно-временного распределения метеорологических и химических величин на разных вертикальных уровнях.

Анализ показал, что разность между данными моделирования с учетом и без учета детализированной застройки г. Санкт-Петербург для температуры воздуха варьируется в среднем (± 2 ℃), скорости ветра (± 2 м/с), отношения смеси водяного пара ($\pm 2 \cdot 10^{-3}$ кг/кг), отношения смеси SO_2 ($\pm 0{,}05$ ppm) и отношения смеси CO ($\pm 0{,}05$ ppm) 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 моделирования уменьшается и становится менее существенна, варьируясь около 0.

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; 9(2):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. *Izv. Atmos. Ocean. Phys.* 59, 111–130 (2023).

МОДЕЛИРИВАНИЕ МЕЗОМАСШТАБНОЙ КОНВЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ В ВЫСОКОМ РАЗШЕНЕНИИ

Тюриков И.А.[1,2], Анискина О.Г.[1]
[1] Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
[2] ООО «Институт Радарной Метеорологии», Санкт-Петербург
ityurikovman@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются результаты по моделированию мезомасштабной конвективной системы с использованием модели WRF-ARW. Данные моделирования сравниваются с данными радиолокационных наблюдений, а также с данными гидродинамической модели с более низким пространственным разрешением.
Ключевые слова. Моделирование, радиолокация, радиолокационная сеть, верификация.

HIGH RESOLUTION MESOSCALE CONVECTIVE SYSTEM MODELING

Tyurikov I.A.[1,2], Aniskina O.G.[1]
[1] Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg
[2] LLC «Institute of Radar Meteorology», St. Petersburg

Annotation. The results of high-resolution modeling mesoscale convective system with WRF-ARW model are addressed. Forecasted data is compared to weather radar observations and numerical model with coarser resolution.
Keywords. Modeling, weather radar, radar network, verification

Прогнозирование опасных явлений погоды было и остается одной из наиболее важных задач для предупреждения населения и возможного снижения рисков и финансовых потерь. Опасные явления погоды, такие как шквалы, грозы, град, сопровождают прохождение больших фронтовых систем. Гидродинамическое моделирование в высоком разрешении в рамках данной задачи позволяет получать

информацию о внутреннем строении таких конвективных систем, точном местоположении наиболее опасных очагов конвекции.

В данной работе были проведены численные эксперименты по моделированию атмосферных условий во время прохождения мезомасштабной конвективной системы, связанной с холодным фронтом, проходившим по территории Беларуси 7 августа 2023 года. Синоптическая обстановка обуславливались циклоном, центр которого находился над южной частью Швеции и Балтийским морем. Холодный фронт был связан с барической ложбиной циклона. Прохождение фронта сопровождалось грозовой активностью, ливнями, шквалистым ветром и градом. В Минске итогом непогоды стали поваленные деревья и затрудненное движение транспорта из-за большого количества выпавших осадков. Скорость ветра, зафиксированная некоторыми наземными автоматическими метеостанциями в регионах страны, превышала 20 м/с.

Расчеты проводились с использованием мезомасштабной гидродинамической модели WRF-ARW. В качестве начальных и граничных условий были использованы данные модели GFS с разрешением 0,25°. Использование вложенных сеток позволило достичь высокого пространственного разрешения, приблизительно равного 900 м. на последнем уровне вложенности. Территориально последняя сетка полностью охватывает территорию Беларуси.

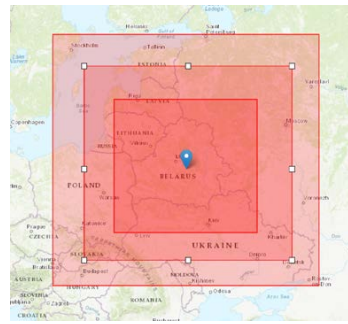


Рисунок 1 – Расположение вложенных сеток модели.

Отдельное внимание было уделено постпроцессингу и расчету дополнительных величин, таких как конвективная доступная потенциальная энергия, радиолокационная отражаемость, вихрь скорости ветра.

Важными для рассмотрения следует отметить полученные значения вихря скорости ветра. Как видно из рисунка, положительные значения вихря имеет каждая линия шквалов, входящая в мезомасштабную конвективную систему. В моделях с более низким пространственным разрешением данная особенность чаще всего не выявляется (рисунок №) и поворотом ветра характеризуется скорее вся конвективная система. Ось поворота ветра в таком случае ложится на саму линию фронта. На данных модели WRF-ARW также отмечаются зоны с отрицательными значениями вихря. Это хорошо характеризует зону сходимости в рамках барической ложбины.

Полученные результаты моделирования сравнивались с данными радиолокационных наблюдений на территории республики Беларусь. Радиолокационная сеть РБ состоит из пяти доплеровских метеорологических радиолокаторов, расположенных в Витебске, Бресте, Гомеле, Гродно и Минске. Современные радиолокационные системы позволяют в оперативном режиме получать информацию о состоянии атмосферы на большой территории и в высоком пространственном разрешении [1]. Сравнение результатов постпроцессинга производилось с композитной

картой максимальной радиолокационной отражаемости. В качестве метрики был выбран метод MODE (Method for Object-Based Diagnostic Evaluation). Данный метод сравнения применим к любым двум полям сеточных данных, в которых могут быть однозначно выделены объекты.

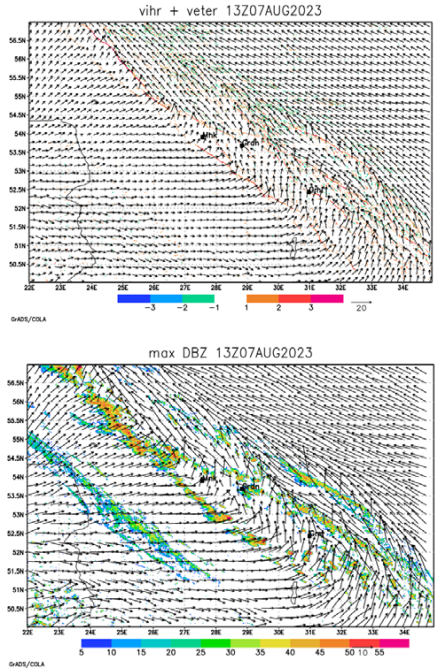


Рисунок 2 – Вихрь скорости ветра (слева) и максимальная радиолокационная отражаемость (справа). Модель WRF-ARW с разрешением 0.0083 град.

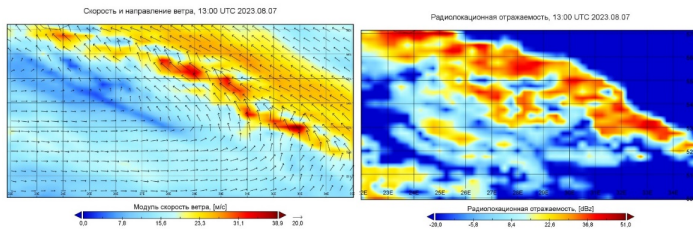


Рисунок 3 – Скорость и направление ветра (слева), радиолокационная отражаемость (справа). Модель GFS с разрешением 0.25 град.

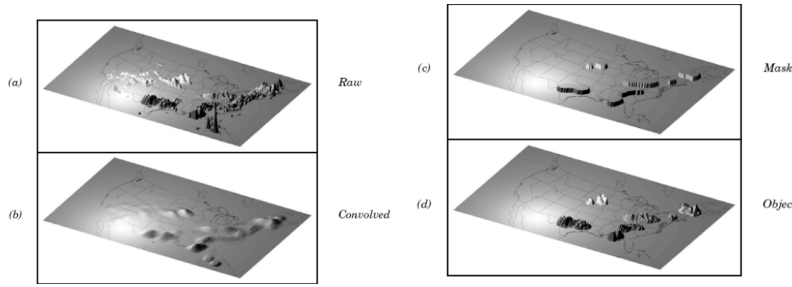


Рисунок 4 – Этапы обработки прогностического поля и получения объектов метрикой MODE. A) Выходные данные моделирования. B) После применения сверточного сглаживающего фильтра. C) Создание маски объекта. D) Итоговые объекты.

Объекты получаются из поля прогноза и поля наблюдений путем сглаживания и фильтрации по заданному пороговому значению. Для каждого полученного объекта затем рассчитывается ряд характеристик, таких как площадь, центр масс, угол наклона оси. После сопоставления пар объектов прогноз-наблюдение, производится расчет различия между их атрибутами: например, отношение площадей, расстояние между центрами масс, площадь перекрытия. Далее, применив функции нечеткой логики можно получить метрику того, насколько тот или иной объект был успешно спрогнозирован в сравнении с сопоставленным ему наблюденным. Применение этих функций позволяет оценить влияние каждого атрибута, после чего найти общее значение – Total Interest.

$$TI_j = \frac{\sum_i I_{ij}}{\sum_i w_i \, c_i} \tag{1}$$

$$I_{ij} = F_{ij} w_i c_i \tag{2}$$

где

TI_j – Total Interest, суммарная важность для всех объектов в поле прогноза,
I_{ij} – Interest. Значение конкретного атрибута,
F_{ij} – функция нечеткой логики данного атрибута для пары объектов прогноз-наблюдение,
w_i – вес данного атрибута,
c_i – коэффициент надежности данного атрибута,
i – номер атрибута,
j – номер пары прогноз-наблюдение.

Таким образом получается оценивать схожесть полей прогноза и наблюдения сразу по нескольким критериям.

Значение порога для получения объектов было установлено как 10 дBZ. Радиус сглаживающего фильтра составил 17 узлов сетки.

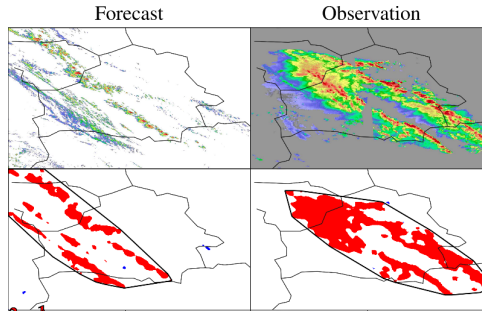


Рисунок 4 – Сравнение модели WRF-ARW с данными радиолокационных наблюдений на момент 12:00 UTC 2023.08.07.

На данный момент показатели верификации остаются достаточно невысокими. Это может быть связано с тем, что метрика MODE оригинально использовалась для верификации сумм накопленных осадков, а не моментальных значений отражаемости. Тем не менее нельзя не отметить, что модель все-таки занижает значения как интенсивности очагов отражаемости, так и общую площадь облаков. Также на данный момент во время верификации не были учтены те очаги отражаемости, которые выходят за зону видимости радаров.

В качестве вывода можно сказать, что модель достаточно успешно воспроизводит общую структуру прохождения холодного фронта, а также такие особенности, как наличие нескольких линий шквалов и их взаимное расположение. Тем не менее, в сравнении с натурными наблюдениями, очевидны различия и следует продолжить численные эксперименты с различными параметрами WRF.

Список литературы

1. *Бочарников Н.В., Брылев Г.Б., Кузнецова Л.И., Линев А.Г., Лялюшкин А.С., Оленев В.А., Паркинен Т.В., Солонин А.С., Устинов В.К., Фролов В.И., Четверикова Е.С. Якимайнен Н.А.* Автоматизированные метеорологические радиолокационные комплексы «Метеоячейка». Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2007. 238с.
2. *Кисельникова В.З.* Результаты объектно-ориентированной оценки качества прогнозов осадков по мезомасштабной модели гидрометцентра России / Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации, 2014 г.- №351, С. 34-42.
3. *Кисельникова В.*З. Объектно-ориентированная оценка качества прогноза осадков / Метеорология и гидрология, 2013 г.- №4, С. 5-11.
4. *Киктев Д.Б. Муравьев А.В. Бундель А.Ю.* Методические рекомендации по верификации метеорологических прогнозов, ФГБУ «Гидрометцентр России», Москва 2021.

АНАЛИЗ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ НА ЮГЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА В ИЮЛЕ

Смирнова Я.А., Ефимова Ю.В., Лаврова И.В.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, yana009072000@yandex.ru

Аннотация. В статье проанализированы циркуляционные особенности на юге Дальнего Востока в июле за период с 1980 по 2020 гг. Получены типовые траектории циклонов. Проанализировано влияние циклонических траекторий на аномальные осадки на юге Дальнего Востока.
Ключевые слова. типовые траектории циклонов, аномальные осадки, юг Дальнего Востока

ANALYSIS OF CIRCULATION FEATURES IN THE SOUTH OF THE FAR EAST IN JUNE

Smirnova Ya.A., Efimova Yu.V., Lavrova I.V.
Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg

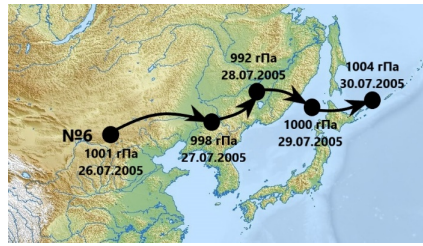
Abstract. The article analyzes the circulation features in the south of the Far East in Jule for the period from 1980 to 2020. Typical trajectories of cyclones are obtained. The influence of cyclonic trajectories on abnormal precipitation in the south of the Far East is analyzed.
Keywords. typical trajectories of cyclones, abnormal precipitation, the south of the Far East

Целью данной научно-исследовательской работы является исследование циркуляционного механизма, формирующего элементы муссонного режима южной части Дальнего Востока в летние месяцы. Основное проявление муссонного климата наблюдается с июля по сентябрь [1].

Июль в Приморье является вторым наиболее дождливым месяцем теплого полугодия. [2]. Анализ особенностей циклонической циркуляции в регионе исследования в июле является задачей, несомненно, интересной и актуальной.

В научно-исследовательской работе были выявлены и проанализированы траектории циклонов, проходящих над Приморьем в июле за период с 1980 года по 2020 год. Для анализа режима осадков и выявления влияющих на него циклонических траекторий на территории южной части Дальнего Востока были выбраны следующие метеорологические станции, равномерно покрывающие район исследования и имеющие длительные ряды наблюдений: Пограничный (31915), Владивосток (31960), Преображение (31989), Свягино (31931), Терней (31909), Красный Яр (31845), Лермонтовка (31788), Хабаровск (31735), Смидович (31725), Солекуль (31677), Нижнетамбовское (31562). Архив суточных сумм осадков за период с 1980 года по 2020 год для каждой станции был получен с использованием базы данных ВНИИГМЦД МЦД [3].

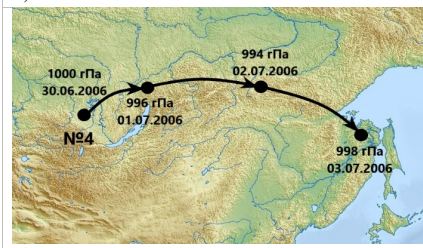
В ходе исследования были построены и проанализированы все траектории барических образований над регионом исследования в июле за период с 1980 по 2020 гг. Для выявления циклонических траекторий был использован архив карт модели реанализа MERRA-2, с шагом по времени 3 часа [4]. Примеры конкретных случаев циклонов, проходящих по выявленным траекториям представлены на рисунке 1, а-в.



А)



Б)



В)

Рисунок 1 – Примеры построения

Выявленные траектории подверглись осреднению, в результате которого были получены шесть типовых траекторий для циклонических образований (рисунок 2).

Рассмотрим представленные на рисунке 2 осредненные траектории циклонов, влияющих на погодные условия южного Приморья более подробно.

Траектория №1 начинается в Филиппинском море и через Японию проходит до Алеутских островов. Иногда такие циклоны соединяются с циклонами шестой траектории и регенерируют, продолжая движение по новому пути.

Траектория №2 в июне пролегала от юга Казахстана через север Китая, в июле же она сместилась южнее, образуя мощный циклонический очаг в северной части Тибетского нагорья. Перемещаясь вдоль горной системы Наньшань и пересекая территории Монголии и северо-восточного Китая, циклоны выходят на Приморский край, принося наибольшее количество осадков в сравнении с другими видами траекторий.



Рисунок 2 - Осреднённые траектории циклонов

Циклоны траектории №3 берут начало в Красноярском крае и, пересекая северную часть Якутии, заполняются недалеко от северо-западного побережья Охотского моря.

Траектория №4 - циклонические образования приходят из Западной Сибири через Якутию к побережью Охотского моря.

При траектории №5 формирование циклонов начинается в Филиппинском море. Развиваясь, они двигаются над водами Японского моря через КНДР к Приморскому краю, заполняясь в большинстве случаев после прохождения Курильских островов или вблизи них.

Траектория №6 в июне начиналась в Охотском море, пересекала Камчатку и Западные Алеутские острова в северо-восточном направлении, заканчиваясь в Беринговом море. В июле очаг зарождения циклонов данной траектории сместился на северо-восток Китая и, двигаясь через Владивосток, циклоны пересекают Курильские острова, заканчивая свой жизненный цикл в океане или регенерируя, благодаря слиянию с циклонами океанических траекторий (№5 или №1).

В результате исследования осредненных циклонических траекторий можно заключить, что основная циркуляционная деятельность происходила как над водами океана, прилегающими к Сахалину, восточному побережью Дальнего Востока и островам Японии, включая прибрежные моря, так и над горными системами северной части Тибетского нагорья. Траектории циклонов имели в основном северо-восточное направление.

Таким образом был типизирован циклонический циркуляционный режим в июле над югом Дальнего Востока за период с1980 по 2020 гг.

На основе полученных траекторий был проведен анализ их влияния на случаи выпадения аномальных сумм осадков на территории юга Дальнего Востока.

Для решения поставленной задачи для каждой станции за период с 1980 по 2020 гг. были выделены дни с аномальным количеством осадков. Они были разделены на две группы: «единичные» и «ансамблевые», и сопоставлены с архивом полученных траекторий циклонов. К ансамблевой группе были отнесены аномальные суммы осадков, которые фиксировались на двух и более станциях района исследования.

За весь период исследования над Приморьем было выявлено и проанализировано 188 случаев прохождения циклонов, отметившихся аномальными осадками на метеорологических станциях. Из них 89 были отнесены к единичным случаям и 99 случаев – к ансамблевым.

На рисунке 3 (а, б) представлена повторяемость траекторий циклонов единичной и ансамблевой групп, а также суммарное количество принесённых ими осадков.

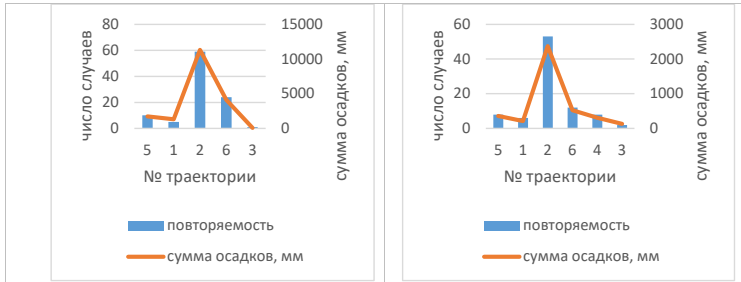


Рисунок 3 – Повторяемость циклонов и суммарное количество выпавших осадков: а) для случаев аномальных осадков ансамблевой группы; б) для случаев аномальных осадков единичной группы

Для иллюстрации влияния этих траекторий на рассматриваемую территорию на рисунке 4 представлен пример прохождения циклона по траектории №2 - наиболее частой и «дождливой», где красной стрелкой указана зона выпадения аномальных осадков на территории исследования, а ниже приведён его более подробный анализ.

3 июля 1981 года у северо-восточного склона горной системы Наньшань начал зарождаться молодой циклон. Давление в центре возмущения составляло 996 гПа, а на приземных барических картах оно прослеживалось в виде небольшой ложбины, однако за сутки циклон быстро прошёл Лессовое плато и добрался до южной части Большого Хингана, углубившись при этом на 3 гПа. Набирая мощь, он двигался вдоль хребта и 5 июля стал причиной аномальных осадков на юге Дальнего Востока России, в этот день были отмечены: 75,8 мм осадков на станции «Преображение»; 42 мм в Свягино; 67,2 мм осадков во Владивостоке; 32,8 мм на станции «Пограничный»; 72,9 мм в Теренее; 36,7 мм в Красном Яре; 40,2 мм на станции «Лермонтовка» и 34,4 мм осадков в Хабаровске. Аномальные осадки продолжились и на следующий день, и на северо-западных станциях исследуемой территории, а именно в Хабаровске и Смидовиче, выпало от 39 до 44 мм из окклюдированной части циклона. 7 июля центр циклона уже вышел через Сахалин в Охотское море, давление в нём составило 1002 гПа, и в течение суток, уходя за Курильские острова в океан, циклон прекратил своё существование.

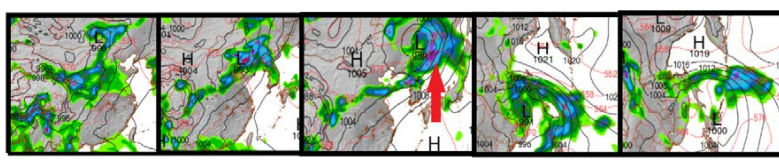


Рисунок 4 – Прохождение циклона по траектории №2 при выпадении аномального количества осадков

В результате анализа базы данных по аномальным осадкам можно сделать вывод о том, что наибольшую повторяемость как в единичных, так и в ансамблевых случаях имеют циклоны с траекториями №2 (60 % от общего количества случаев) и №6 (19 % от общего количества). Эти же траектории вносят и наибольший вклад в суммарное количество осадков.

Полученные результаты являются частью научно-исследовательской работы по изучению циркуляционного режима в летние месяцы на юге Дальнего Востока. В июле выявлено 6 основных траекторий циклонов, влияющих на территорию исследования. Из них траектория №2 имеет наибольше влияние на формирование аномальных осадков. Начало данной траектории относится к северной части Тибетского нагорья. В этой области сосредотачиваются влажные воздушные массы азиатского муссона, которые в дальнейшем вовлекаются в циркуляцию циклона, смещающегося по второй траектории.

Список литература

1. *Корнилов А. С.* Итоги селекционной работы по вигне-адзуки (Vigna angularis (Willd)) для муссонного климата Дальнего Востока России / А. С. Корнилов, Н. А. Сакара, И. А. Ванюшкина // Овощи России. – 2023. – № 5. – С. 24-27. – DOI 10.18619/2072-9146-2023-5-24-27.

2. *Данова Т.Е., Григорьева Е.А., Густенко А.С.* Современная динамика летних осадков на юге Дальнего Востока России. Журнал Белгородского государственного национального исследовательского университета «Научные ведомости Белгородского государственного университета», номер 23. 2014. -172-179с.

3. *Цурикова Т. В.* Муссоны. Отдел взаимодействия и обслуживания потребителей Приморскгидромета [Электронный ресурс] URL: https://primpogoda.ru/articles/prosto_o_pogode/mussony (Дата обращения: 10.01.2022).

4. Карты реанализа MERRA-2 Weather Maps. [Электронный ресурс] URL: https://fluid.nccs.nasa.gov/reanalysis/classic_merra2/?one_click=1&tau=06&stream=MERRA2&level=0&track=none&region=siberia&fcst=19910605&field=ptype&animate=1759 (Дата обращения: 15.02.2022).