



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра метеорологии, климатологии и охраны атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему: «Исследование особенностей шквалов на территории РФ»

Исполнитель Фокина Александра Андреевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Кашлева Лариса Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»
заведующий кафедрой**


(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Сероухова Ольга Станиславовна
(фамилия, имя, отчество)

« » 2021 г.

Санкт-Петербург
2021

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-----------|
| Введение | 1 |
| 1. Мезомасштабные линии шквалов..... | 3 |
| 1.1. Воздушные потоки в зоне кучево-дождевых облаков..... | 3 |
| 1.2. Мезоантициклон | 5 |
| 1.3. Шквал..... | 10 |
| 1.3.1. Физика процесса | 10 |
| 1.3.2. Движение шквала..... | 13 |
| 1.3.3. Классификация шквалов | 15 |
| 2. Шквалы на территории Российской Федерации..... | 21 |
| 2.1. Обзор и систематизация шквалов за 2017-2021 г..... | 22 |
| 2.2. Создание электронной базы данных по шквалам на территории РФ ... | 23 |
| 2.3. Распределение количества шквалов на территории РФ | 24 |
| 2.3.1. Распределение шквалов по широтам | 24 |
| 2.3.2. Распределение шквалов по долготам | 27 |
| 2.3.3. Карта распределение шквалов по территории РФ..... | 29 |
| 2.3.4. Карта распределение шквалов по территории ЕТР..... | 33 |
| 3. Оценка интенсивности шквалов, порождаемых воздушными потоками в зоне кучево-дождевых облаков | 36 |
| 3.1. Подходы к прогнозированию шквала..... | 37 |
| 3.1.1. Физико-статистические методы | 39 |
| 3.1.2. Расчет параметров неустойчивости | 41 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2. Метод Г.Д. Решетова | 42 |
| 3.3. Метод ДМРЛ для обнаружения шквала | 44 |
| 3.4. Метод численного моделирования..... | 49 |
| 3.5. Дешифрирование шквала с помощью ветровала | 50 |
| Заключение..... | 53 |
| Список использованной литературы..... | 56 |
| Приложения..... | 58 |

ВВЕДЕНИЕ

Шквал является опасным гидрометеорологическим явлением. Он развивается под действием атмосферной конвекции мезомасштаба. Шквалы кратковременны по времени воздействия и локальны в пространстве, поэтому сложно поддаются оперативному регистрированию стандартными способами.

Шквальный ветер, достигая скоростей более 15 м/с, срывает крыши со зданий, разрушает дома, ломает деревья, также может перевернуть машины и способствовать смерти людей. Шквал может сопровождаться другими опасными конвективными явлениями, такими как град и ливень, которые также могут приносить вред сельскому хозяйству.

До сих пор нет надежных методов прогноза, позволяющих с высокой точностью прогнозировать такие явления, как шквалистый ветер. Несмотря на успешное использование мезомасштабных моделей в России и за рубежом, проблема надежного прогноза шквала еще не решена, и исследования, посвященные изучению особенностей возникновения сильных шквалов, их анализу и прогнозированию **актуальны** в наше время.

Целью исследования является рассмотрение нами способов определения, прогнозирования и анализа шквала различными методами, а также выявление особенностей шквалов в различных регионах, что в будущем может дать возможность предварительного анализа скорости и направления ветра в шквале, а также позволит определить примерные масштабы разрушений и принять превентивные меры защиты.

Для того, чтобы добиться поставленных целей была составлена собственная электронная база данных по случаям шквалов за последние 5 лет (2017 – 2021 г.), описание которой подробно представлено во 2 главе данной диссертации. Для понимания особенностей шквалов на территории Р.Ф. были рассмотрены и проанализированы случаи усиления ветра до шквалистого за со скоростями ветра более 15 м/с на метеостанциях крупных городов в различных

регионах Российской Федерации. Данные о шквалах взяты из СМИ, сводок МЧС и архивов гидрометеорологических центров.

Для достижения прогностических целей, в данной работе в 3 главе рассматриваются некоторые наиболее часто используемые в России методы прогноза и дещефрирования шквала и производится анализ наиболее эффективных из них.

1. МЕЗОМАСШТАБНЫЕ ЛИНИИ ШКВАЛОВ

1.1. Воздушные потоки в зоне кучево-дождевых облаков

Кучево-дождевые облака – это облака, образующиеся в результате конвекционных процессов и адиабатического охлаждения поднимающегося влажного воздуха. Именно эти облака являются основным переносчиком осадков на земную поверхность. Внешне эти облака представляет собой плотную массу темно-серого цвета с размытой нижней границей. Чаще всего имеют сверху наковальню, а снизу полосы падения осадков. Процесс образования кучево-дождевого облака представлен на рисунке 1.

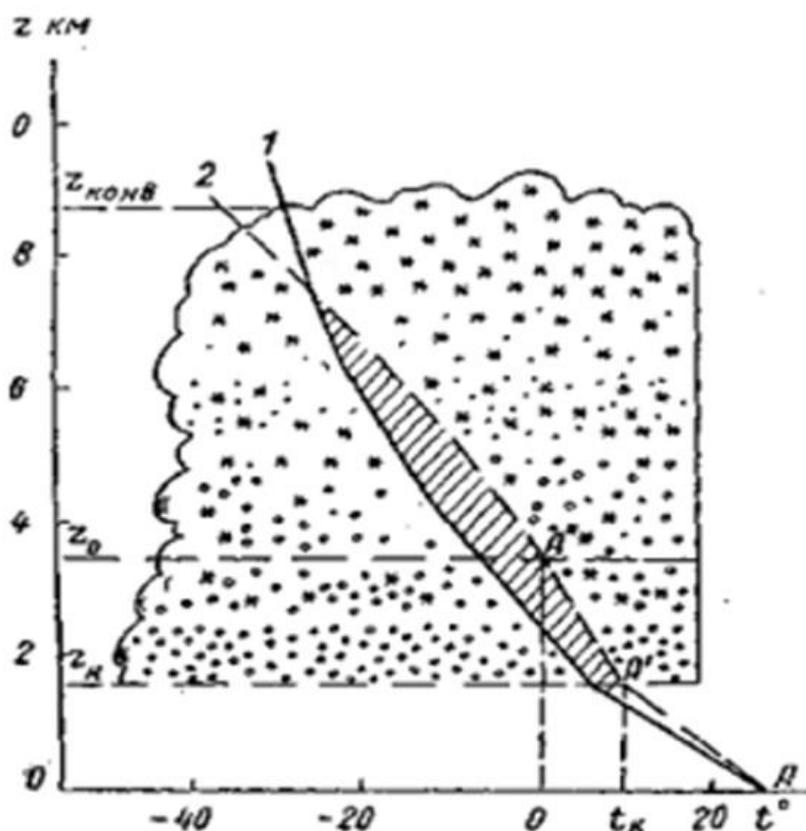


Рисунок 1. Схема образования кучево-дождевого облака: 1 – кривая стратификации; 2 – кривая состояния [1, с. 42]

На схеме показано образование кучево-дождевого облака с точки зрения адиабатических процессов. Тепловая энергия помогает частицам перегретого воздуха подниматься вверх. Подъем частиц идет по адиабате AA' , а достигнув уровня конденсации Zk , подъем начинает происходить по влажной адиабате. Далее, при снижении температуры окружающего воздуха на большой высоте происходит процесс образования конденсатов воды и кристаллов льда. Время жизни облака может варьироваться от 15 минут до 40-60 минут.

Воздушные потоки в кучево-дождевых облаках образуются не одновременно. Если посмотреть на схему, можно увидеть, что на начальной фазе формирования облака существуют восходящий поток. Здесь идет процесс формирования осадков. Далее мы видим процесс «зрелости» кучево-дождевого облака, когда зона осадков уже сформирована, и размеры частиц осадков очень велики, следовательно, возрастает и скорость их падения. Восходящий, относительно теплый поток не справляется, и рядом с ним образуется холодный нисходящий поток, который усиливается увлечением воздуха частицами осадков. Нисходящий поток также приводит к сильным ветрам у поверхности земли [1, с. 68]. Схема расположения воздушных потоков в кучево-дождевом облаке представлена на рисунке 2.

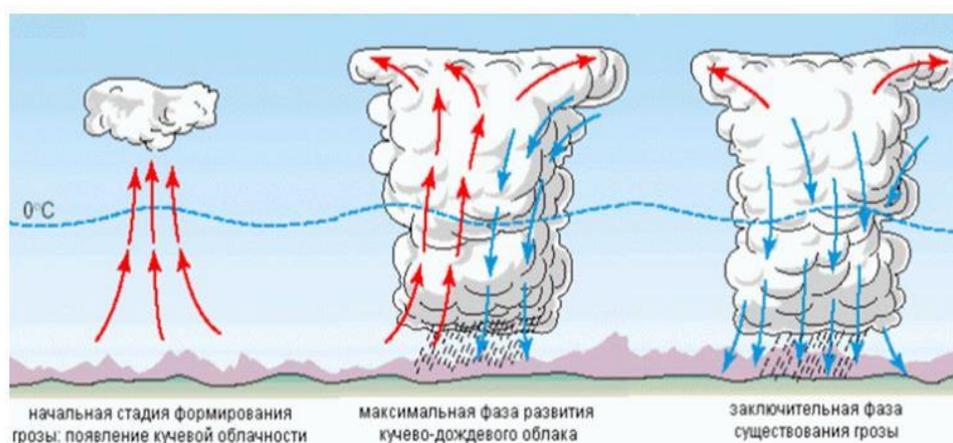


Рисунок 2. Схема расположения воздушных потоков

Нисходящие потоки обладают большой энергией, и площадь, охваченная ими внутри облака, может в несколько раз превосходить площадь восходящих

потоков. Поэтому, именно с нисходящими потоками связано образование мезомасштабных процессов, которые представляют собой опасность для людей, авиации и сельского хозяйства.

Мезомасштабные процессы представляют собой процессы, горизонтальный масштаб которых находится в пределах 10-1000 км. Одним из таких явлений является шквал [2, с. 200].

1.2. Мезоантициклон

В 1947 году, Фудзита проявил живой интерес к влиянию конвекции на погоду. Его первоначальный интерес к этой теме возник из-за того, что он отметил, что направление и скорость местных ветров во время конвективных штормов полностью отличались от тех, которые были выведены из крупномасштабных синоптических карт. 24 августа 1947 года у него была возможность непосредственно наблюдать грозу со станции на вершине горы Себурияма высотой 1054 м на острове Кюсю [3, с. 14]. По измерениям давления на станции, вычислениям гидростатического давления и поправкам на всасывающие эффекты здания при ветре он смог вычислить негидростатическое давление вблизи основания облака и сделать вывод о существовании сильного нисходящего течения во время грозы было новой идеей в Японии и не получило широкого признания. Тем не менее, его наблюдения привели его к постулированию впечатляюще реалистичной модели грозы (рис. 3), которая была опубликована на несколько лет позже (Fujita 1951). Фудзита проанализировал серию карт поверхностного давления для этого случая, используя давление на 30 станциях (рис. 4).

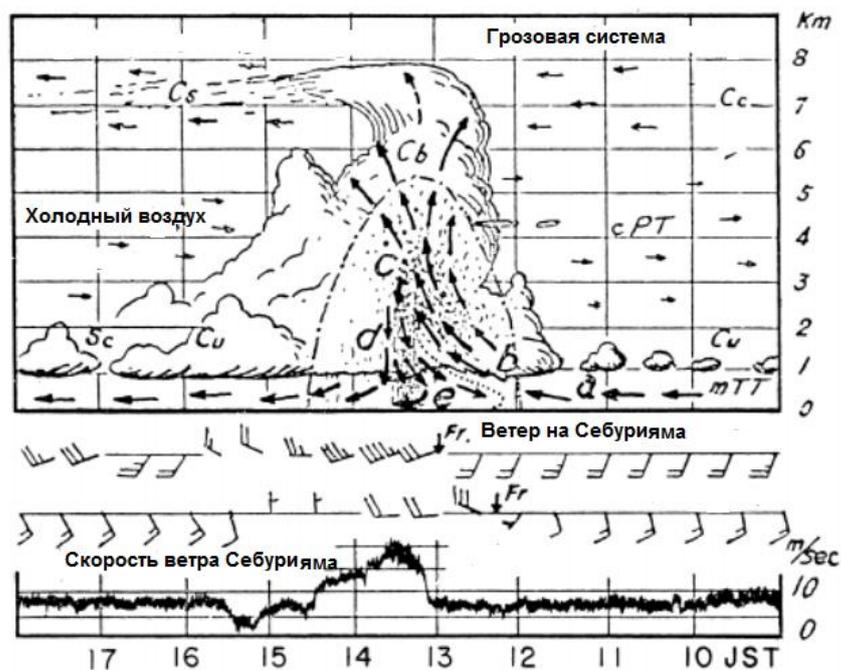


Рисунок 3. Модель грозы по Фудзита [3, с. 14]

Основываясь на сопоставлении данных о давлении во времени и пространстве, он смог изобразить ряд быстро развивающихся грозовых максимумов 20-100 км в горизонтальном измерении. Поскольку тенденции к повышению и падению давления имели вид человеческого носа, он назвал высокое давление, связанное с грозой, громовым или шкваловым носом.

Карты на рис. 4 представляют первые диаграммы мезоанализа Фудзита, хотя в то время он называл этот локальный анализ как микроанализ. Далее Фудзита начал свои исследования мезоанализа в Соединенных Штатах. В 1951 году на центральных равнинах была создана специальная наблюдательная сеть в поддержку исследовательской деятельности Отдела исследований сильных местных штормов Бюро погоды США. Масштабы сети были беспрецедентными: к 1953 году почти 200 станций (включая как регулярно сообщающие, так и специальные сайты) разнесены на ~50 км, они были развернуты по шести штатам — самая обширная мезосеть, когда-либо созданная. Микробарографы, гигротермографы, термографы, а также наблюдения за ветром и осадками представляли прекрасную возможность для Фудзита для полного изучения шквалов и гроз.

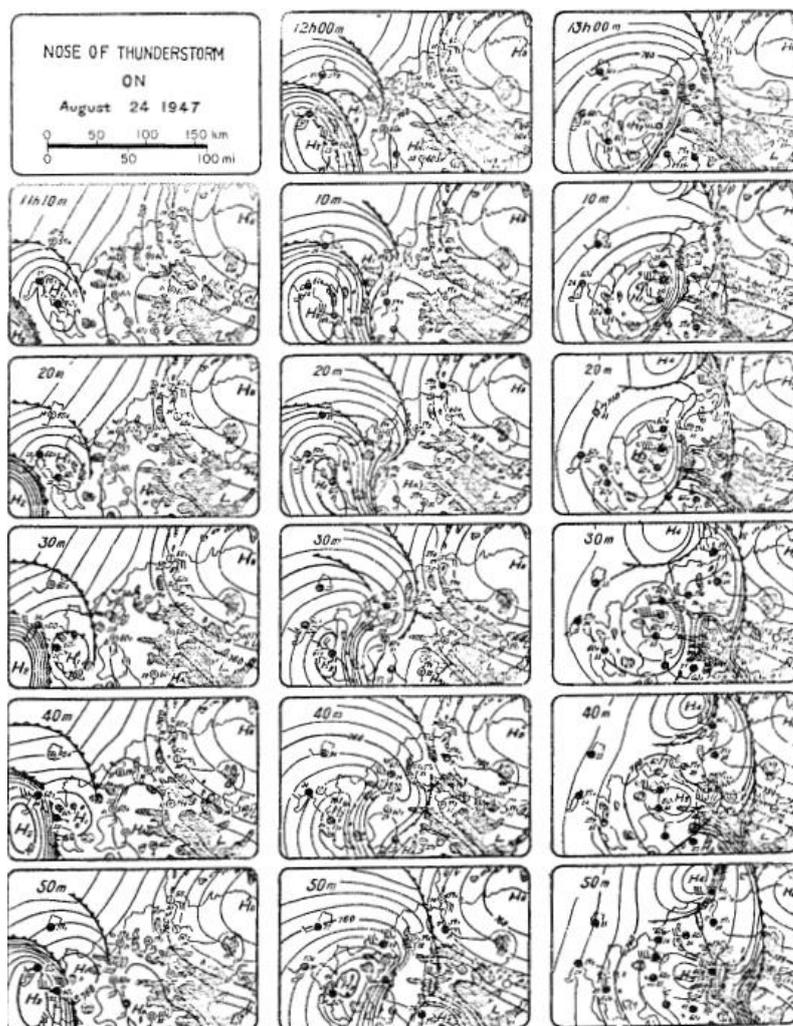


Рисунок 4. Быстро развивающиеся грозовые максимумы [3, с. 15]

Используя преобразование времени в пространство следов барографа, Фудзита построил грозовой мезоантициклон, подобный «капле» холодного воздуха поперечником до нескольких десятков километров и высотой 300—1500 м, в виде купола, перемещающегося вместе с очагом ливневых облаков. В его передней части как раз и образуется мезомасштабный холодный шкваловый псевдофронт, зона порывов ветра. Структура потоков и поля давления под мощным грозово-шкваловым облаком. Именно на этом холодном мезофронте возникают шквалы, а в некоторых случаях — смерчи. В момент прохождения фронта порывов ветра отмечается грозовой «нос». Ветер силен и над мезоантициклоном, здесь возникает струя — сильный ветер на малой высоте. Даже слабая конвективная система обладает мезоструей со значительным

исследований последних лет. Эта работа привела к разработке концептуальной модели поля поверхностного давления линии шквала (рис. 3), в которой были определены три основные характеристики поля давления: скачок давления, грозовая высота [упоминается в Fujita et al. (1956) как мезогигант], и депрессия бодрствования. Фудзита объяснил скачок давления и высокую грозу испарением осадков в нисходящих потоках, как показано на рис. 4. Этот механизм для грозового максимума был предложен ранее (Humphreys 1929; Suckstorff 1935), где первый утверждал, что замедление трения поверхностного оттока от испарительно приводимых в движение нисходящих потоков является важным фактором увеличения поверхностного давления.

Фудзита (1959) указал, что основной вклад в поверхностный холодный купол вносит испарение осадков ниже основания облаков. Однако Фудзита также отметил, что дополнительное повышение давления на ~1-2 мб может произойти во время сильного дождя непосредственно под нисходящим потоком из-за негидростатических эффектов, особенность, которую он назвал носом давления (Fujita 1963). Фудзита (1959) также предположил, что таяние снега или града также может способствовать повышению мезогигиены поверхности, и эта идея позже была подтверждена и количественно оценена Atlas et al. (1969). Фудзита (1955) первоначально объяснил депрессию следа как динамическую реакцию на относительный фронтальный поток шторма вокруг холодного купола (открытые стрелки нарис. 4), во многом похожую на низкое давление, создаваемое потоком [3, с.15].

Если бы поток низкого уровня относительно холодного купола был обращен вспять, то, утверждал Фудзита, депрессия следа была бы обнаружена перед грозой. Однако позже Фудзита (1963) отказался от этих идей на том основании, что горизонтальные размеры мезогигиены слишком велики, чтобы позволить развитие потоков следа, показанных в Рис. 4. Таким образом, он рекомендовал отменить термин "депрессия бодрствования" и

рекомендовал использовать мезодепессию за отсутствием более подходящего термина. Последующие исследования (которые будут

обсуждаться позже) пролили свет на новый свет на механизмы мезомасштабных возмущений низкого давления, связанных с линиями шквалов [4].

1.3. Шквал

Шквал – резкое усиление ветра при изменении его направления в течение короткого промежутка времени. Вместе со шквалом из кучево-дождевого облака выпадают осадки, возможен град. Скорость ветра в шквале варьируется от 15 м/с до 30 м/с и может достигать больших скоростей. Средняя скорость ветра обычно составляет 25-30 м/с. Шквал представляет собой вихрь с горизонтальной осью вращения, его максимальная повторяемость отмечается в послеполуденные и вечерние часы [6, с. 80].

Рождающие шквал кучево-дождевые облака являются очень мощными. Они всасывают окружающий воздух в центр и вершину облака, поэтому они являются очень опасными для авиации. Есть данные, что даже радиозонды были втянуты в нижнюю часть кучево-дождевого облака, когда проводились измерения [6, с. 80].

1.3.1. Физика процесса

Шквалы являются опасными явлениями погоды, сила ветра в которых может достигать разрушительной силы. Само явление длится несколько минут.

Шквалы образуются в мощных кучево-дождевых облаках, внутри которых существуют интенсивные вертикальные потоки, переносящие большое количество влаги в верхние слои, и там её аккумулирующие [7, с.27]. Зона

сосредоточения влаги находится чуть выше середины облака, на высоте примерно 5-7 км.

Тысячи тонн влаги в облаке поддерживаются восходящими потоками до тех пор, пока скорость падения капель меньше или равна скорости восходящих потоков. При достижении облаком максимального развития, скорость вертикальных потоков уменьшается, и они уже не способны удерживать влагу на высоте. В облаке начинает формироваться нисходящий поток с насыщенным воздухом, температура которого при опускании повышается медленнее, чем в окружающем воздухе, а, следовательно, опускаясь, он будет более холодным относительно окружающего воздуха, и скорость, направленная вниз, будет увеличиваться. Иллюстрация шквала представлена на рисунке 6.

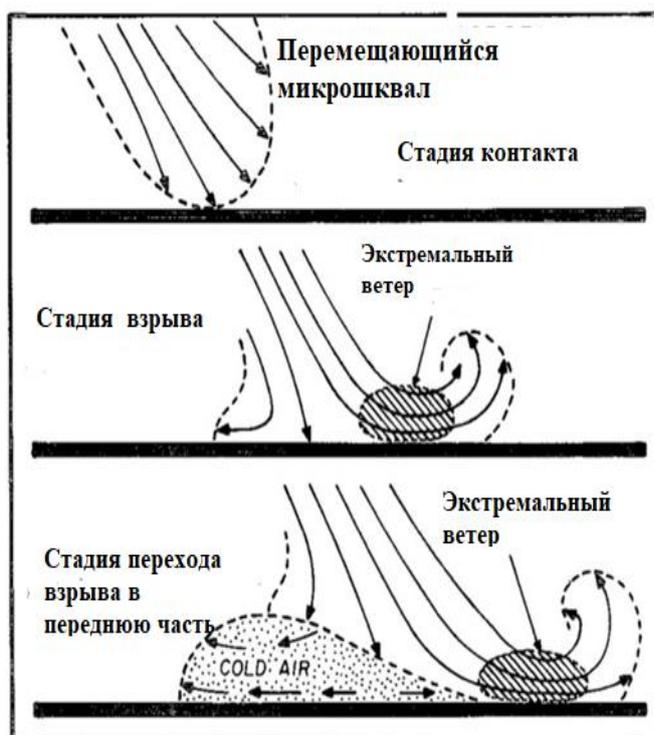


Рисунок 6. Иллюстрация перемещающегося шквала [5, с. 1513]

Чем больше путь нисходящего потока в зоне осадков в конвективном облаке и под ним, и чем неустойчивее стратификация в окружающем воздухе, тем больше скорость опускания потока у земли. При соприкосновении с землей холодный воздух расплзается в горизонтальном направлении, вызывая

внезапное и сильное усиление ветра и изменение его направления, что как раз и является шквалом.

Чем сильнее ветер в средних и нижних слоях тропосферы, тем скорость шквала будет больше прирастать к скорости растекания у поверхности земли, и тем самым скорость ветра при шквале увеличивается. А при малой мощности кучево-дождевого облака вклад энергии неустойчивости незначителен, и сильный шквал может случиться вследствие переноса нисходящим потоком достаточного количества горизонтального движения нижней половины тропосферы.

Относительно недавно появились сведения о параметрах шкваловых облаков. Скорости восходящего потока доходят до 63 м/с, вершины облаков состоят из нескольких облачных куполов, размером от 200 до 2000 м. Поперечное сечение мелких вихрей внутри облака равно 25-300 м. Рост облака неравномерный: оно растет только с одной стороны, а с другой рассеивается. Скорость роста облака примерно равна 2,6 м/с. Верхняя кромка шкваловых облаков находится выше 11-12 км. Мощные облака, вершина которых проникает на высоту более 4-5 км над основанием тропопаузы, чаще всего являются порождающими шквалы облаками [4].

Клин холодного воздуха, находящегося в передней части холодного фронта имеет форму «головы», которая достигает в высоту 2-3 км. Это может дать объяснение невероятной силе явлений, порывам ветра перед шквалом и скачок давления у поверхности земли. Активный подъем воздуха перед «головой» на ее передней части образует шкваловый вал, вихрь с горизонтальной осью, нижняя часть которого и производит на земле разрушительное действие. Верхняя часть вихря движется вперед, а нижняя – назад, поэтому получается эффект, что он катится [4].

Доказано, что одиночное кучево-дождевое облако переносит в стратосферу 3600 тонн воды в час, следовательно, такие облака справедливо можно назвать своеобразными «котлами», в которых рождаются стихии:

водяной пар превращается в ливневый дождь, а скрытое тепло конденсации — в ощутимую кинетическую энергию бури, шквалов.

Шкваловая зона фронта имеет длину до 200—800 км; каждое облако, входящее в линию шквалов в передней нижней части имеет вихрь дугообразной формы – облачного вала или «рукава». При опускании холодного воздуха в зоне осадков, он нагревается менее быстро, чем охлаждался при подъеме. Градиент сменяется с 1°С на 100 м до на 0,6°С на 100 м. Именно поэтому воздух в тыльной части шквала холоднее окружающего холодного воздуха. Зимнее похолодание часто приходит вместе с интенсивными снегопадами при порывах холодного ветра над поверхностью незамерзшего моря [8, с. 80].

Под кучево-дождевым облаком у поверхности земли могут возникать вторичные шкваловые порывы ветра, характеризующиеся вертикальной нестабильностью воздуха. Такие порывы называют болтанкой.

В момент сильного порыва ветра в передней части шквала при общем понижении давления, наблюдается его резкое повышение. Иногда повышение составляет несколько гПа за несколько минут, а затем идет опять понижение давления. Барограмма записывает такой скачок. Для него придумали название «шкваловый нос». Скачок происходит при взаимодействии спускающегося холодного воздуха с поверхностью земли.

1.3.2. Перемещение шквала

Направление порыва ветра не всегда обозначает траекторию движения шквала. А путь его движения и смещение зависят от распределения ветра по высоте в тропосфере и от размеров облака.

Есть средний ветер, от которого крупные кучево-дождевые облака чаще всего смещаются вправо. Это действие силы Кориолиса. При вращении облака вдоль вертикальной оси, то на облако также действует эффект Магнуса. В правой части облака новые ячейки продолжают расти, а с левого — рассеиваться. Также облако, находящееся еще в стадии развития может

разделиться: одна часть движется вправо, а другая – влево, вращаясь циклонически. Если ветер с высотой поворачивает вправо (например, у земли — западный, а на высоте — северо-западный), то восходящий поток теплого воздуха в облаке формируется правее, а нисходящий — левее середины Сб. Все эти процессы влияют на эволюцию и смещение облака. А уже наклоненные шкваловые облака развиваются быстрее, то есть «растягиваются».

Восходящий поток в верхней части облака наклоняется по ветру и влево и выносится из наковальни вперед. При этом горизонтальные размеры восходящего потока несколько уменьшаются с высотой, вихрь вытягивается вдоль ведущего края шторма иногда более чем на 10 км. Этот же сдвиг ветра может разрушить облака в одних случаях, и способствовать развитию смерчей — в других.

Еще одним фактором, влияющим на движение кучево-дождевого шквалового облака, является рельеф подстилающей поверхности. В горных районах Сб тормозятся сильнее, чем на равнинах, и лишь при тропосферном ветре сильнее 40 км/ч влияние рельефа ослабевает. С облаком перемещается и связанный с ним мезофронт, псевдофронт. Поднимая перед собой влажный неустойчивый воздух, фронт способствует развитию новых Сб, новых шквалов. Кроме того, воздушный поток изгибает Сб, нижняя и верхняя части которого могут опережать среднюю. С боков облака могут втягивать в себя струи ветра, усиливая вращение облака и смещая его относительно общего воздушного потока. Исследование взаимодействия воздушных потоков в облачном слое с особенностями структуры облаков в последнее десятилетие привлекает все большее внимание ученых [10, с.].

1.3.3. Условия развития шквала

Развитие шквалов, в основном, происходит перед холодными атмосферными фронтами или вблизи центров небольших подвижных циклонов при соприкосновении холодных масс воздуха с теплыми воздушными массами.

Теплый воздух вытесняет холодный, тем самым вынуждая его подниматься с большой скоростью. Разница температур холодного и теплого потоков может превышать 15°C. Чем больше градусов составляет эта разница, тем больше сила шквала.

Если отслеживать динамику изменения температуры до и после шквала, то можно сделать вывод о том, что после шквала температура заметно понижается. Самое благоприятное время года для возникновения шквала – лето, так как земля прогревается сильнее. Но при этом шквал может происходить в любой сезон года и в любое время суток. Из-за своей непредсказуемости шквал считается опасным явлением погоды.

Рассмотрим факторы, которые влияют на развитие облаков Сб. Это важно, так как шквалы образуются именно из кучево-дождевых облаков [11]:

Конвективная неустойчивость атмосферы.

Является самым важным из всех факторов, так как кучево-дождевые облака относятся к облакам конвекции. Из конвективных облаков выпадают достаточно мощные, но краткосрочные ливневые осадки.

Развитие конвекции определяется степенью устойчивости термической стратификации атмосферы относительно вертикальных перемещений воздуха. Конвекция увеличивается, когда стратификация неустойчива, и уменьшается, когда устойчива.

Влажность и температура

Относительная влажность является важным фактором зарождения кучево-дождевых облаков, так как у земли зарождается большая часть термиков. От влажности у земной поверхности и распределения ее с высотой в конвективном слое зависит высота основания облака и уровень влияния на параметры облаков процесса вовлечения.

Температура и влажность определяют влагосодержание воздуха у основания облака, водность и дает количественную характеристику тепла,

выделяемого при фазовых переходах. Следовательно, влагу можно назвать основным источником энергии кучево-и-кучево-дождевой конвекции.

Наковальня появляется у кучево-дождевого облака из-за изменяющейся с высотой температуры воздуха. Физически, этот процесс можно охарактеризовать следующим образом: в верхней части тропосферы воздух достигает уровня тропопаузы и перестает охлаждаться, то есть теперь температура становится неизменной. Этому явлению дано название «термальный потолок» - уровень, под которым растекается облако.

Запас теплого и влажного воздуха обеспечивает энергию для роста кучево-дождевого облака. Приток воздуха, порождающий восходящие потоки в кучево-дождевом облаке, когда он сам по себе является теплым и влажным, во время образования в облаке капель воды, высвобождается большое количество тепла. И тогда воздушные массы в облаке становятся очень подвижными, усиливаются восходящие потоки, и, как следствие, происходит дальнейший рост кучево-дождевого облака.

Подстилающая поверхность

Неравномерно прогретые участки подстилающей поверхности являются одним из основных условий возникновения кучево-дождевой облачности, и, как следствие, шквалов. Ранее было описано, что температура и влажность являются основополагающими факторами развития конвективной облачности.

Синоптическая ситуация

Атмосферные фронты являются источниками вынужденной конвекции. В зоне холодных фронтов конвергенция потоков создает мощные восходящие движения, которые иногда приводят к нарушению термического равновесия атмосферы выше уровня конденсации.

Наиболее интенсивное развитие конвективной облачности происходит перед быстро перемещающимися холодными фронтами, так как они имеют большой наклон передней части, и, следовательно, с большой силой вытесняют вверх подфронтальный воздух. Холодная воздушная масса за фронтом

неустойчива, а именно это и может поспособствовать развитию мощных кучево-дождевых облаков.

1.3.4. Классификации шквалов

Можно разделить шквалы на внутримассовые и фронтальные [11]. Внутримассовые шквалы отличаются тем, что они связаны с конвективными мощными облаками, которые преимущественно образуются в летнюю жаркую погоду или в холодных неустойчиво стратифицированных воздушных массах над теплой подстилающей поверхностью. Такой вид шквалов образуется, так как в передней части облака возникает сильнейшее восходящее движение воздуха, а в центральной и тыловой частях – нисходящее, которое обусловлено ливневыми осадками. Внутри и внизу облака создается вихревое движение воздуха с горизонтально направленной осью. В него вливается воздух из окружающих районов [11].

Такого рода шквалы обычно являются либо умеренными, либо слабыми. Их типичный сезон возникновения – с мая по август. Чаще всего возникают после 12 часов дня, когда образуется термическая конвекция в теплой воздушной массе или в холодном неустойчивом воздухе в тыловой части циклона.

Шквал движется совместно с кучево-дождевым облаком, которое его породило, из-за чего можно проследить последствия шквала в пределах полосы, называемой «след шквала».

Шквалы фронтального типа чаще всего имеют связь с холодными атмосферными фронтами и с предшествующими им кучево-дождевыми облаками. Здесь также играют роль восходящее движение теплого воздуха перед продвигающимся холодным фронтом и нисходящее движение в голове холодного воздуха за фронтом, принимающее форму резкого "обрушения".

Такого типа шквалы можно наблюдать вдоль фронта в нескольких местах, поэтому, когда в 19 веке обнаружили существование холодных фронтов, и иногда начали называть линиями шквалов.

Также фронтальные шквалы могут быть связаны с холодными фронтами окклюзии. Вообще все фронтальные шквалы делятся еще на четыре подтипа:

Первый тип прослеживается при синоптических условиях, когда наблюдается хорошо выраженный в поле температур малоподвижный холодный фронт с волнами;

Второй тип наблюдается при быстродвижущемся холодном фронте с большими (более 10 град. Цельсия) контрастами температуры воздуха у поверхности земли;

Третий тип наблюдается вблизи точки окклюзии – на стыке теплого и холодного атмосферных фронтов, хорошо выраженных в поле температуры воздуха;

Четвертый тип фронтального шквала наблюдается в тыловой части циклона в неустойчиво стратифицированной воздушной массе при прохождении вторичных холодных атмосферных фронтов.

В обоих случаях наблюдается вихревое движение воздуха с горизонтальной осью вращения в облаках и под ними. Выделяют орографические шквалы, возникающие в результате влияния орографии на основные воздушные потоки в атмосфере. К ним относятся, например, бора и фен.

По сопровождающим шквал явлениям [4] они подразделяются на:

Белый шквал, который может возникнуть при контакте воздушных потоков разной температуры;

Черный шквал, обязательно сопровождается пасмурной погодой;

Сухой шквал, называющийся таким образом, так как воздух настолько сухой, что осадки не достигают поверхности земли;

Грозовой шквал, сопровождающийся резкими порывами ветра перед грозой или при ее разряде молнии;

Дождевой шквал, сопровождающийся мощным ливнем;

Пыльный шквал, сопровождающийся пыльной бурей.

Существует классификация шквалов по скорости ветра, такая классификация используется для того, чтобы прописывать силу шквала в прогнозе погоды:

Слабые шквалы – при скорости ветра 20 м/с;

Умеренные шквалы – при скорости ветра 20-25 м/с;

Сильные шквалы – при скорости ветра 25-30 м/с;

Особенно сильные шквалы – при скорости ветра более 30 м/с.

Для того, чтобы оценить силу ветра по воздействию на предметы, находящиеся на улице или в открытом море, была принята двенадцатибалльная шкала Бофорта, где скорость указывается на стандартной высоте 10 метров. Шкала была разработана Фрэнсисом Бофортом в 1805 году и введена в использование Всемирной Метеорологической Организацией в 1874 году. Таблица со скоростями ветра и их влиянию на объекты представлена на рисунке 7.

Из данных шкалы Бофорта нас интересуют ветры силой более 15 м/с: крепкие, очень крепкие, шторм и т.д. Именно эти ветры связаны с кучево-дождевой облачностью и силой воздушных потоков в них.

| Балл | Скорость в м/с | Характеристика | Видимое действие |
|------|----------------|----------------|--|
| 0 | 0,0 - 0,2 | Штиль | Дым поднимается вертикально, листья на деревьях неподвижны |
| 1 | 0,3 - 1,5 | Тихий ветер | Дым слегка отклоняется, лёгкое движение воздуха |
| 2 | 1,6 - 3,3 | Лёгкий ветер | Ветер чувствуется лицом, листья шелестят |
| 3 | 3,4 - 5,4 | Слабый ветер | Колышутся листья и тонкие ветки |
| 4 | 5,5 - 7,9 | Умеренный | Вершины деревьев гнутся, шевелятся небольшие сучья |
| 5 | 8,0 - 10,7 | Свежий ветер | Колыхаются сучья и тонкие стволы деревьев |
| 6 | 10,8 - 13,8 | Сильный ветер | Качаются сучья, гудят телефонные провода |
| 7 | 13,9 - 17,1 | Крепкий ветер | Раскачиваются сволы, идти против ветра тяжело |
| 8 | 17,2 - 20,7 | Очень крепкий | Раскачиваются большие деревья, ломаются небольшие сучья |
| 9 | 20,8 - 24,4 | Шторм | Небольшие повреждения зданий, ломаются толстые сучья |
| 10 | 24,5 - 28,4 | Сильный шторм | Деревья ломаются или вырываются с корнем |
| 11 | 28,5 - 32,6 | Жестокий шторм | Большие разрушения |
| 12 | 32,7 - 36,9 | Ураган | Опустошительные разрушения |

Рисунок 7. Шкала Бофорта

Шквальный ветер раскачивает деревья, может приносить ущерб зданиям, при сильном ветре более 24 м/с ломает деревья и приносит большие разрушения.

2. ШКВАЛЫ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

По данным СМИ в 2020 году Росгидромет назвал шквалистый ветер самым опасным явлением в Российской Федерации.

Шквалы составляют чуть более четверти всех опасных явлений погоды. Доверяя статистике, можно отметить, что за последние десятилетия частота шквалистых ветров резко увеличилась. Сообщается, что возможной причиной может служить глобальное изменение климата. Повышение температуры способствует конвекции, с которой связано большинство опасных явлений погоды.

Шквалы могут принести большой материальный ущерб государству, различным областям сельского хозяйства, а также индивидуальным лицам. Поэтому так невероятно важно производить изучение и анализ шквалов.

В данной главе проводится подробный анализ распределения шквалов на территории Российской Федерации и их особенностей. Интерес представляет выявление зависимости распределения шквалов от географической широты и долготы, орографических особенностей местности, синоптической обстановки и т.д.

Также в этой главе представлен архив случаев шквала в различных регионах за последние пять лет. Архив составлен вручную специально для выполнения поставленных задач. Данные из него систематизируются в графики распределения шквалов и карты РФ с количеством шквалов.

Важность архива состоит в том, что с его помощью возможно определить статистику по количеству шквалов и силе ветра в каждом из регионов Российской Федерации, сделать заключение о том где сильные ветра наиболее опасны и к чему нужно готовиться в будущем. Польза, также, состоит в том, что зная некие закономерности, легче подбирать методы прогноза подобных опасных явлений и заранее оценивать ущерб, который они могут нанести.

2.1. Обзор и систематизация случаев шквалов в 2017-2021 г.

Объектом данного исследования являются шквалы в различных регионах Российской Федерации, а предметом исследования являются условия их возникновения в том или ином регионе. Рассматриваются следующие характеристики: распределение шквалов по широте и долготе; метеорологические величины, сопровождающие шквалы; синоптическая ситуация; особенности подстилающей поверхности.

Для осуществления исследования требуется создание собственного архива шквалов.

Данные по шквалам взяты из общедоступных источников, СМИ, сводок МЧС, архивов погоды. Информация СМИ о прошедших шквалах в регионе за 2017-2021 годы была проверена посредством поиска соответствия дня и времени сильного ветра, а также присутствия именно кучево-дождевой облачности, и только после этого добавлена в архив.

Чтобы систематизировать случаи шквалов, территория Российской Федерации была разбита на округа, затем на регионы или субъекты, и далее на города. В каждом субъекте РФ были рассмотрены случаи шквалов в крупном городе, чаще всего столице региона. Обязательным условием было существование метеостанции или аэропорта в рассмотренном городе.

Важно отметить, что на стадии обзора шквала была обнаружена следующая проблема: сеть метеостанций в некоторых округах РФ, таких как, например, Сибирский сеть метеостанций очень редкая, а, следовательно, некоторые случаи шквалов не были учтены, так как не попали в данные ни одной метеостанции. Это делает статистику несколько менее точной.

Для анализа шквалов на территории Р.Ф. необходимо знать [17, с. 68]: время шквала, скорость и направление ветра, широта и долгота пункта наблюдения, температура и давление на метеостанции, где был зафиксирован случай шквала.

Далее регионы распределялись в порядке возрастания широты и долготы с юга на север и с запада на восток, для более удобного анализа и определения закономерностей.

Также данные температуры и давления нам были нужны для того, чтобы определить статистические зависимости между возникновением явления шквала и метеорологической ситуацией в регионе без шквала и с ним и сравнения различных регионов между собой.

Итого было найдено и обработано более 1200 случаев за 2017-2021 год. Все примеры шквалов объединены в общую таблицу и составляют вместе электронную базу данных, из которой далее проводится анализ зависимости шквалов от географического положения пункта.

2.2. Создание электронной базы данных по шквалам на территории Российской Федерации

Здесь мы можем представить фрагмент таблицы данных о шквалах на территории регионов Российской Федерации. Для понимания представлена таблица (таблица 1) шквалов в городе Майкоп, республика Адыгея.

Таблица 1.

Фрагмент электронной базы данных шквалов

| | Округ | Регион | Пункт | Широта | Долгота | Дата | Срок/ местное время | Макс. сила ветра | Направление | Давление | Температура |
|----|-------|--------|--------|--------|---------|------------|---------------------|------------------|-------------|----------|-------------|
| 1 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 24.02.2017 | 3 | 20 | ЮЮЗ | 759,1 | 8,4 |
| 2 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 26.02.2017 | 0 | 23 | З | 763,6 | - |
| 3 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 19.04.2017 | 15 | 23 | ЮЗ | 763,1 | 10,9 |
| 4 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 22.04.2017 | 12 | 18 | ЮЗ | 765,3 | 6,5 |
| 5 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 24.04.2017 | 15 | 22 | ЮЮЗ | 762,4 | 7,8 |
| 6 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 27.05.2017 | 15 | 17 | ЮВ | 759,1 | 20,4 |
| 7 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 10.06.2017 | 18 | 17 | Ю | 758,1 | 17,1 |
| 8 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 11.12.2017 | 3 | 16 | ЮЮЗ | 765,6 | 5,5 |
| 9 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 25.12.2017 | 3 | 19 | ЗЮЗ | 759,8 | 4,7 |
| 10 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 31.01.2018 | 3 | 17 | ЗЮЗ | 761,1 | 5,2 |
| 11 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 25.12.2018 | 15 | 17 | ЮЗ | 756,1 | 10,7 |
| 12 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 05.01.2019 | 0 | 16 | ЮЗ | 763,1 | 5,1 |
| 13 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 22.02.2019 | 6 | 17 | ЗЮЗ | 763,9 | 3,8 |
| 14 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 01.03.2019 | 15 | 19 | ЗЮЗ | 749,3 | 1,4 |
| 15 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 13.06.2019 | 15 | 16 | ЮЮЗ | 759,2 | 19,1 |
| 16 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 23.01.2020 | 6 | 17 | ЮЗ | 756,6 | 4,1 |
| 17 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 04.02.2020 | 0 | 15 | ЮЮЗ | 750,5 | 8,1 |
| 18 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 24.02.2020 | 21 | 20 | Ю | 750,2 | 9,1 |
| 19 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 28.02.2020 | 21 | 17 | ЮЮЗ | 759,4 | 8,6 |
| 20 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 16.05.2020 | 18 | 17 | ЗСЗ | 761,3 | 20,1 |
| 21 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 17.06.2020 | 18 | 16 | ЮЮВ | 758,6 | 19,1 |
| 22 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 05.02.2021 | 3 | 16 | Ю | 759,6 | 8,9 |
| 23 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 12.02.2021 | 21 | 17 | ЗСЗ | 760,1 | 2,2 |
| 24 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 03.03.2021 | 9 | 15 | З | 765,1 | 2,5 |
| 25 | Южный | Адыгея | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 11.05.2021 | 15 | 16 | ЮЗ | 761,7 | 11,1 |

В таблицу внесены данные о датах прохождения шквалов, сроке, предшествующем шквалу, максимальной скорости порыва, направлении ветра, давлении и температуре [6,7].. Подобным способом заполнена таблица и по другим субъектам Российской Федерации. Дополненный архив представлен в приложении А.

2.3. Распределение количества шквалов на территории Российской Федерации

2.3.1. Распределение шквалов по широтам

Далее нас интересует распределение количества шквалов в зависимости от географического положения. Используем для этого наш электронный архив. Создаем таблицу распределения количества шквалов за последние 5 лет по широтам в порядке увеличения широты. Затем, по имеющимся данным создан график распределения количества шквалов от географической широты города (рис.8).



Рисунок 8. Зависимость шквалов от широты

На представленном графике четко прослеживается зависимость количества шквалов от широты. Мы видим, что с увеличением широты количество шквалов уменьшается. Таким образом, в южных регионах наблюдается примерно в три раза больше шквалов, чем в северных, и в два раза больше, чем в средних. Исключением стал город Грозный, республика Махачкала. Там наблюдалось всего 7 случаев шквалов за пять лет, и это связано с орографическими особенностями положения города. Он не защищен от северных ветров, но с юга его закрывают горы. Также и города Майкоп, Нальчик и Минеральные воды имеют меньшее, чем в целом, на юге, количество шквалов, так как расположены вблизи гор. Данные представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Данные по распределению шквалов по широтам

| Город | Широта | Кол-во шквалов |
|------------------|--------|----------------|
| Махачкала | 42,8 | 50 |
| Владикавказ | 43,1 | 15 |
| Владивосток | 43,1 | 80 |
| Грозный | 43,3 | 7 |
| Нальчик | 43,5 | 28 |
| Минеральные Воды | 44,2 | 25 |
| Майкоп | 44,7 | 25 |
| Севастополь | 44,7 | 38 |
| Краснодар | 45,03 | 34 |
| Ставрополь | 45,1 | 83 |
| Астрахань | 46,3 | 22 |
| Элиста | 46,4 | 55 |
| Южно-Сахалинск | 46,9 | 65 |
| Ростов | 47,3 | 63 |
| Хабаровск | 48,5 | 76 |
| Биробиджан | 48,7 | 18 |
| Волгоград | 48,8 | 41 |
| Белгород | 50,6 | 18 |
| Улан-Удэ | 51,8 | 64 |
| Иркутск | 52,3 | 38 |
| Барнаул | 53,4 | 21 |
| Тула | 54,2 | 32 |
| Калининград | 54,7 | 15 |
| Челябинск | 55,2 | 29 |
| Курган | 55,5 | 31 |
| красноярск | 56,2 | 36 |
| Екатеринбург | 56,8 | 55 |
| Тверь | 56,8 | 5 |
| Иваново | 56,9 | 40 |
| Тюмень | 57,1 | 23 |
| Ярославль | 57,6 | 14 |
| Кострома | 57,7 | 23 |
| Псков | 57,8 | 14 |
| Пермь | 58 | 40 |
| Киров | 58,6 | 5 |
| Новгород | 58,6 | 34 |
| Вологда | 59,3 | 13 |
| Санкт-Петербург | 60 | 6 |
| Нижневартовск | 60,8 | 31 |
| Ханты-Мансийск | 61 | 17 |
| Сыктывкар | 61,7 | 9 |
| Петрозаводск | 61,8 | 18 |

Ставрополь и Владивосток оказались городами, в которых количество шквалов за последние 5 лет достигло восьмидесяти случаев.

Во Владивостоке это, чаще всего, зимние шквалы. Здесь, особенно в августе и сентябре, проходят тайфуны. В связи с чем, некоторые случаи могли попасть в наш архив.

А в Ставрополе самый ветреный месяц – март. В целом, Ставропольский край считается среди всех регионов Российской Федерации самым подверженным к происхождению неблагоприятных и опасных явлений погоды. Существует статистика, что 40% всех стихийных гидрометеорологических явлений СК Федерального Округа приходится на Ставропольский край. Например, в Ставрополе обнаружены случаи прохождения шквалов силой 15-35 м/с, которые причиняют ущерб экономике края. Также, шквалы сопровождаются ливнями и крупным градом. В этом играют важную роль рельеф и подстилающая поверхность края: высокие горы Кавказского хребта на юге, близость Черного моря на западе и Каспийского моря – на востоке, Калмыцкие степи – на севере и востоке, а также Ставропольское плато в центре края.

Так же выделились два города с абсолютным минимумом по количеству прохождения шквалов – это Тверь и Киров. Здесь происходит примерно 1 шквал в год.

В Твери преобладающими ветрами по направлению являются западные и юго-западные. Среднегодовая скорость ветра в Твери — 3,8 м/с, наибольшая скорость ветра — 20 м/с. Вероятность возникновения ветров со скоростью более 8 м/с — не более 5 %. Это обусловлено тем, что Тверь располагается на Волго-Тверецкой низине.

Киров, по данным статистики, является городом с малым количеством случаев шквала. Скорости 15 м/с и более зимой и осенью наблюдаются один раз в два года, весной — два раза в три года, а в августе и сентябре реже — один раз в три года (табл. 3). При этом таких дней бывает обычно один за месяц, а в мае, июне, сентябре и январе один раз в три — пять лет они

отмечаются на протяжении четырех — шести дней. Самым ветренным месяцем считается май.

Таблица 3.

Повторяемость дней с сильным ветром в Кирове

| Число дней | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Год |
|------------|----|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|-----|
| 1—3 | 75 | 91 | 84 | 86 | 70 | 64 | 0 | 93 | 79 | 92 | 79 | 81 | 81 |
| 4—6 | 21 | 9 | 10 | 14 | 20 | 32 | | 7 | 21 | 8 | 17 | 14 | 15 |
| 7—9 | 4 | 0 | 3 | 0 | 7 | 4 | 5 | 0 | 0 | 0 | 4 | 5 | 3 |
| ≥10 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Наибольшее | 8 | 5 | 10 | 4 | 11 | 8 | 7 | 4 | 4 | 5 | 8 | 9 | 35 |

Кировская область подвергается частым циклоническим вторжениям с запада, юго-запада, северо-запада и антициклоническим — с северо-запада, запада [10, с. 30]. Преобладание над ней 20 южных и юго-западных ветров (по многолетним данным метеостанций области) свидетельствует о том, что центры этих циклонов часто проходят севернее Кирова, а антициклоны нередко проходят область своей северной частью.

На графике сильно заметен минимум с количеством шквалов 6 случаев за 5 лет — Санкт-Петербурге. Представлена такая статистика, что в основном, в Санкт-Петербурге преобладают слабые ветра, скоростью от 0 до 5 м/с. Их повторяемость составляет 80-90% в течение всего года. Умеренные ветры 6-9 м/с имеют повторяемость 25-26% на открытых станциях. А сильные ветры более 15 м/с повторяются с вероятностью 6-9% зимой и 1% в летний сезон и то, не ежегодно. Зависимость количества дней с ветром более 15 м/с определяется местоположением. В основном в центре города сильные ветры встречаются 2 раза в год, а в прибрежных районах около 14 [12].

2.3.2. Распределение шквалов по долготам

Рассмотрим распределение шквалов на территории Российской Федерации по географической долготе. Для анализа взяты данные по

количеству шквалов за последние 5 лет в 42 регионах России. График представлен на рисунке 9.

Из представленного графика видно, что распределение шквалов не зависит от географической долготы. То есть их прохождение с запада на восток равномерное и не имеет тенденции к увеличению или уменьшению их количества с изменением долготы.

Здесь мы также видим выпадающие точки. Этими городами, так же, как и в графике распределения шквалов по широтам, являются Ставрополь и Владивосток.

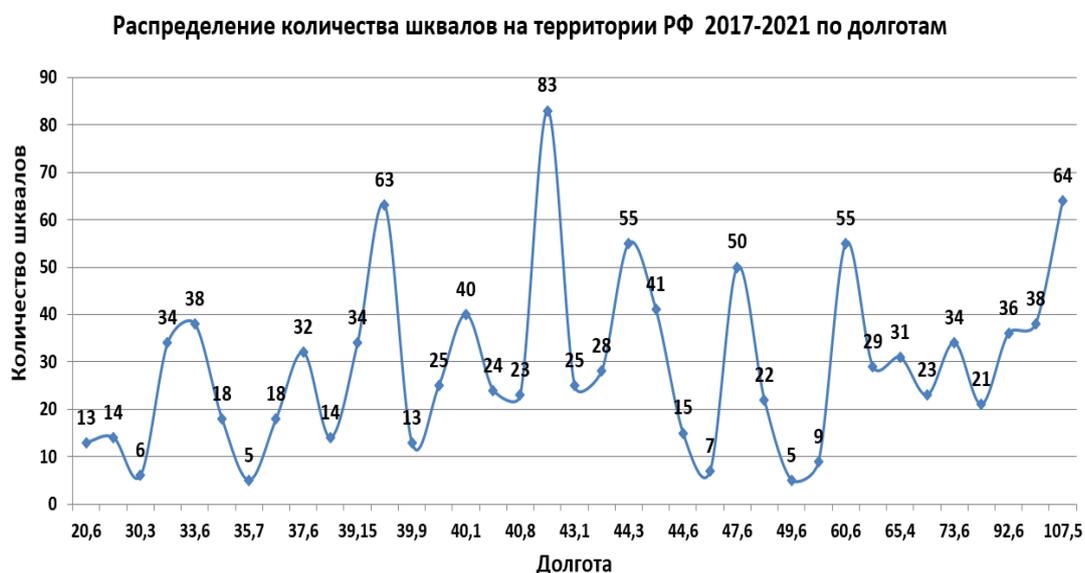


Рисунок 9. Зависимость распределения шквалов от долготы

На графике распределения числа шквалов по широтам можно увидеть некую зону, где количество шквалов увеличено. Она располагается между широтами 46 с.ш – 48 с.ш. Для проверки распределения шквалов на одной широте и разных долготах, сделаем новый график (рисунок 10) для 5 городов, располагающийся на северных широтах 46-47. Отследим динамику изменения их количества за последние 5 лет.

График еще раз показал, что нет однозначной зависимости между распределением шквалов на одной широте, но разным долготам.

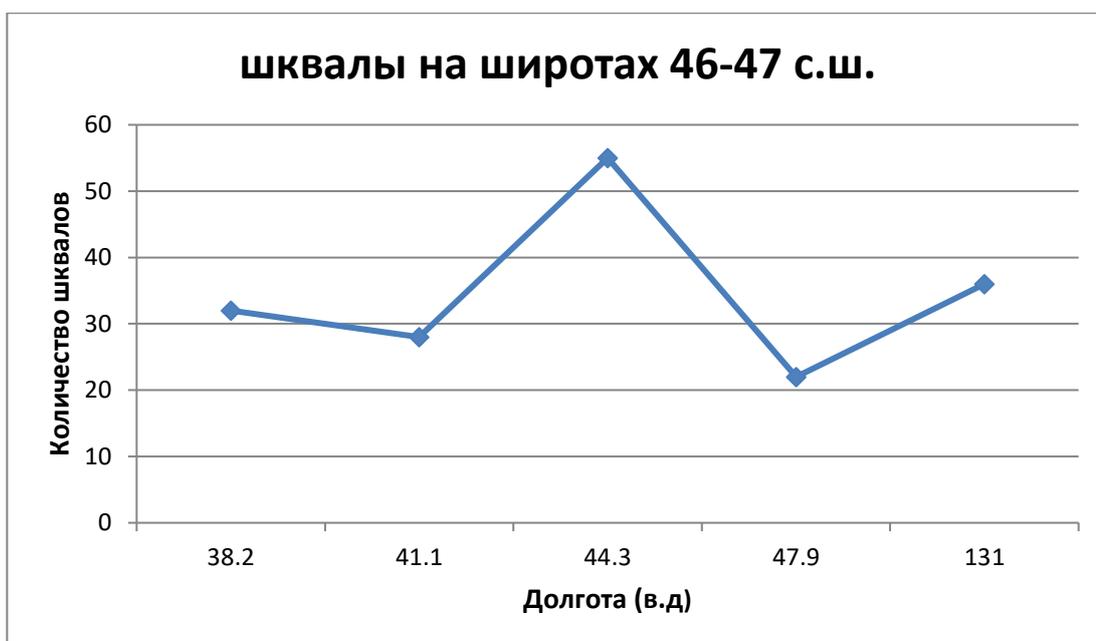


Рисунок 10. Зависимость распределения шквалов на одной широте

Таблица 4.

Данные по распределению шквалов на одной широте и различной долготе

| Город | Широта (с.ш) | Долгота (в.д) | Количество шквалов |
|----------------------|--------------|---------------|--------------------|
| Приморско-Ахтарск | 46 | 38,2 | 32 |
| Константиновск | 47,6 | 41,1 | 28 |
| Элиста | 46,4 | 44,3 | 55 |
| Астрахань | 46,3 | 47,9 | 22 |
| Екатерино-никольское | 47,7 | 131 | 36 |

2.3.3. Карта распределения шквалов по территории Российской Федерации

После создания архива шквалов на территории РФ, все шквалы были распределены в итоговую таблицу. Таблица включает в себя номер станции, где был просмотрены климатические характеристики ветра за 2017-2021 гг, ее широта и долгота, а также количество обнаруженных шквалов за последние 5 лет.

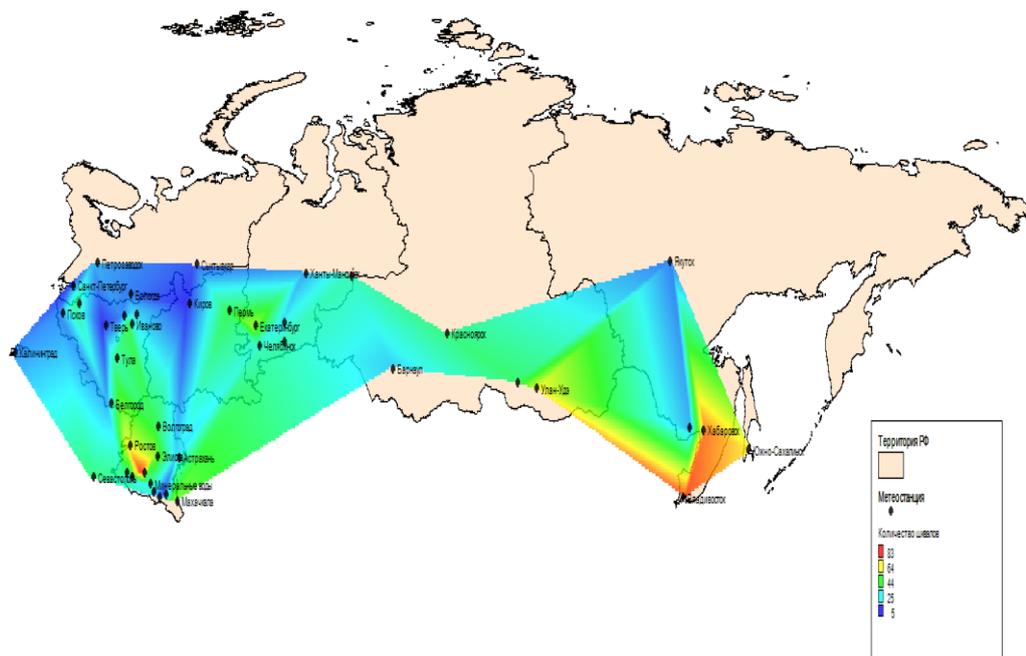


Рисунок 11. Карта распределения количества швалов по территории РФ

По полученным данным из архива погоды была составлена карта с помощью пакета программ Mapinfo. Данная карта создана на основе интерполяции методом треугольников. Показывает распределение количества швалов по территории. Данные ограничены на севере страны. Самый западный город на карте – Калининград, самый восточный – Южно-Сахалинск.

На карте представлены градации по количеству швалов за последние 5 лет в различных регионах страны. Цвет меняется от наименьшего числа наблюдаемых швалов (синий), до наибольшего числа (красный). Таким образом, мы можем увидеть на карте районы с большим количеством швалов (красного и желтого цвета) на юге страны, особенно – горные области, и наименьшее – в более северных регионах России.

Карта была составлена по полученным данным, сформированным в таблицу 5.

Данные для карты распределения шквалов по территории РФ

| Номер станции | Город | с.ш. | в.д. | кол-во | Номер станции | Город | с.ш. | в.д. | кол-во |
|---------------|------------------|-------|-------|--------|---------------|------------------|------|-------|--------|
| 37472 | Махачкала | 42,8 | 47,6 | 50 | 29838 | Барнаул | 53,4 | 83,5 | 21 |
| 37228 | Владикавказ | 43,1 | 44,6 | 15 | 27719 | Тула | 54,2 | 37,6 | 32 |
| 31960 | Владивосток | 43,1 | 131,9 | 80 | 26702 | Калининград | 54,7 | 20,6 | 15 |
| 37235 | Грозный | 43,3 | 45,7 | 7 | 28645 | Челябинск | 55,2 | 61,3 | 29 |
| 37212 | Нальчик | 43,5 | 43,7 | 28 | 28661 | Курган | 55,5 | 65,4 | 31 |
| 37054 | Минеральные воды | 44,2 | 43,1 | 25 | 29572 | Красноярск | 56,2 | 92,6 | 36 |
| 37021 | Майкоп | 44,7 | 40,1 | 25 | 28440 | Екатеринбург | 56,8 | 60,6 | 55 |
| 33994 | Севастополь | 44,7 | 33,6 | 38 | 27402 | Тверь | 56,8 | 35,7 | 5 |
| 34927 | Краснодар | 45,03 | 39,15 | 34 | 27347 | Иваново | 56,9 | 40,1 | 40 |
| 34949 | Ставрополь | 45,1 | 42,1 | 83 | 28367 | Тюмень | 57,1 | 65,4 | 23 |
| 31921 | Астрахань | 46,3 | 47,9 | 22 | 27330 | Ярославль | 57,6 | 38,8 | 14 |
| 34861 | Элиста | 46,4 | 44,3 | 55 | 27333 | Кострома | 57,7 | 40,8 | 23 |
| 32150 | Южно-Сахалинск | 46,9 | 142,7 | 65 | 26258 | Псков | 57,8 | 28,5 | 14 |
| 27329 | Ростов | 47,3 | 39,8 | 63 | 28224 | Пермь | 58 | 56,3 | 40 |
| 31735 | Хабаровск | 48,5 | 135,2 | 76 | 27199 | Киров | 58,6 | 49,6 | 5 |
| 31713 | Биробиджан | 48,7 | 132,9 | 18 | 26179 | Великий Новгород | 58,6 | 31,2 | 34 |
| 34560 | Волгоград | 48,8 | 44,4 | 41 | 27037 | Вологда | 59,3 | 39,9 | 13 |
| 34214 | Белгород | 50,6 | 36,6 | 18 | 26063 | Санкт-Петербург | 60 | 30,3 | 6 |
| 30823 | Улан-Удэ | 51,8 | 107,5 | 64 | 23804 | Сыктывкар | 61,7 | 50,8 | 9 |
| 30710 | Иркутск | 52,3 | 104,3 | 38 | 22820 | Петрозаводск | 61,8 | 34,3 | 18 |
| 29838 | Барнаул | 53,4 | 83,5 | 21 | 23933 | Ханты-Мансийск | 61 | 69 | 17 |
| 27719 | Тула | 54,2 | 37,6 | 32 | 23471 | Нижевартовск | 60,8 | 76,7 | 31 |
| 26702 | Калининград | 54,7 | 20,6 | 15 | 24959 | Якутск | 62 | 129,7 | 13 |

Для сравнения рассмотрим карту территории Российской Федерации со средним количеством гроз за год (рис.12). На ней фиолетовым цветом выделены те регионы, в которых наиболее часто происходит гроза в год. Это, как и в карте со шквалами, южные регионы. Это побережье Черного моря, республика Алтай, часть Читинской области.

Также на карте прослеживается уменьшение количества гроз с юга на север. В северных регионах количество гроз в год стремится к 0. В центральной России это количество составляет от 20 до 30 случаев в год.

Дополнительно рассмотрим карту среднегодовых скоростей ветра на территории Российской Федерации. Она изображена на рисунке 13.

Также на карте прослеживается уменьшение количества гроз с юга на север. В северных регионах количество гроз в год стремится к 0. В центральной России это количество составляет от 20 до 30 случаев в год.



Масштаб 1:30 000 000

Рисунок 12. Карта РФ со средним количеством гроз за год

Также на карте прослеживается уменьшение количества гроз с юга на север. В северных регионах количество гроз в год стремится к 0. В центральной России это количество составляет от 20 до 30 случаев в год.

Дополнительно рассмотрим карту среднегодовых скоростей ветра на территории Российской Федерации. Она изображена на рисунке 13.

На представленной карте присутствует немного другая динамика распространения ветров: более сильные ветры наблюдаются и в южных областях, и в самых северных. Это дает нам подтверждение правильного выбора поиска шквалов до 60 градусов северной широты, так как на более высоких широтах очень просто перепутать шквал, связанный с кучево-дождевой облачностью и ветрами, связанными с синоптическими процессами.

Так же и с процессами на п-ве Камчатка, о. Сахалин. Там на ветры очень сильно могут влиять процессы в Тихом океане.



Рисунок 13. Среднегодовая скорость ветра в регионах РФ

2.3.4. Карта распределения шквалов по Европейской территории России

Так как территория Сибири является очень большой, то невозможно точно показать распределение шквалов по всей территории России. Для этого далее была составлена карта распределения шквалов на Европейской территории России (рис.14).

На представленной карте Европейской территории России видно, что наибольшее количество шквалов наблюдается в Южном Федеральном Округе. И с возрастанием широты, количество шквалов уменьшается.

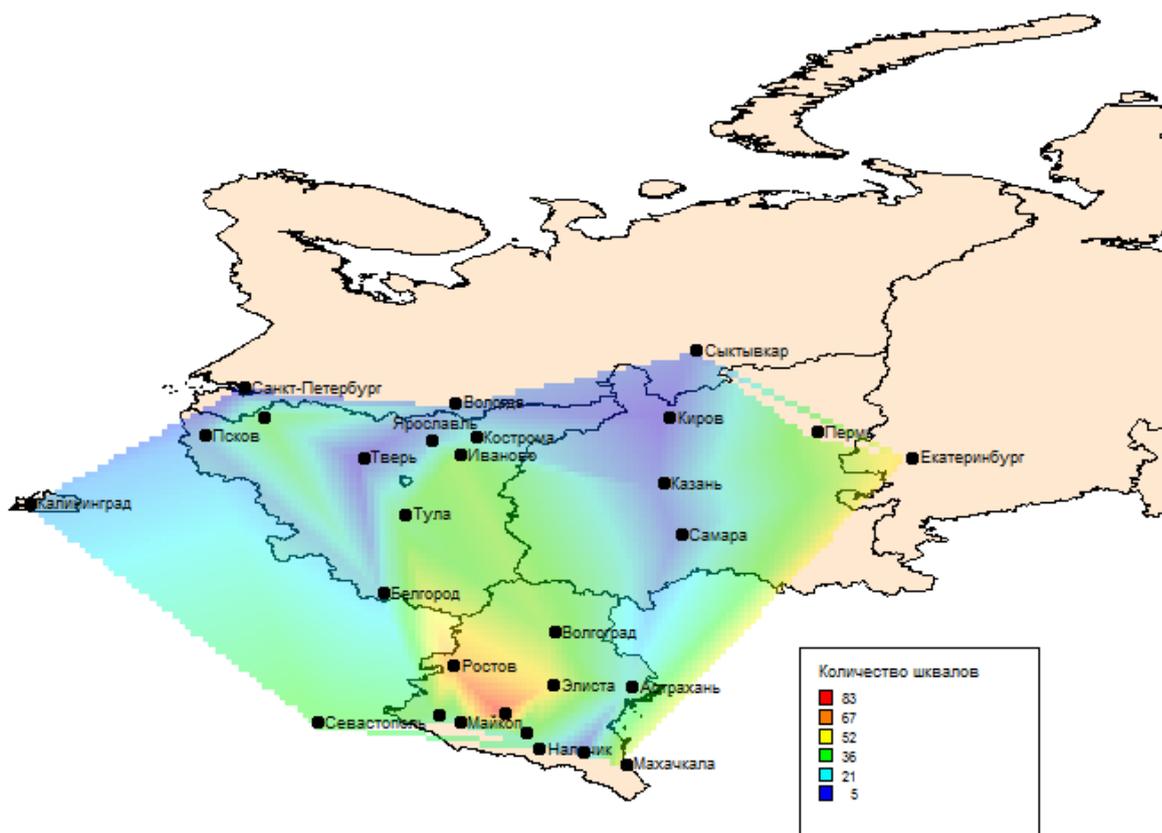


Рисунок 14. Карта распределения шквалов на Европейской территории России

Выводы по 2 главе:

По всей проделанной во второй главе работе можно сделать вывод о том, что шквалы есть явление повсеместное. Существуют зоны с наибольшим и наименьшим количеством шквалов, но однозначно можно судить о том, что в южных широтах и горной местности их количество больше, а в северных равнинных территориях – меньше. На остальной территории шквалы распределены равномерно.

Довольно часто встречаются шквалы на Приволжской, Вольно-Подольской и Среднерусской возвышенностях, на Южном Урале, в крымских Яйлах. На Кавказе, Яблоновом хребте, Тянь-Шане практически по всей территории ежегодно случается до 80 шквалов. Здесь они наиболее частые гости.

Мы выявили зависимость количества шквалов от географической широты: чем севернее широта, тем меньше шквалов.

Также после проверки зависимости распространения шквалов в различных городах России, располагающихся на одних широтах, но различной долготе, зависимости количества шквала от географической долготы не выявилось.

3. ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ШКВАЛОВ, ПОРОЖДАЕМЫХ ВОЗДУШНЫМИ ПОТОКАМИ В ЗОНЕ КУЧЕВО-ДОЖДЕВЫХ ОБЛАКОВ

3.1. Подходы к прогнозированию шквала

Шквалы сложно поддаются диагнозу и прогнозу [15, с. 80]. Сеть метеонаблюдений на территории Российской Федерации недостаточно широка из-за большой территории Российской Федерации. Шквал может возникнуть в облаке, которое находится вне зоны населения людей, на метеостанции его не могут обнаружить, так как масштаб прохождения шквалов – десятки километров, а время жизни – мало. Тогда о явлении можно судить только по последствиям, которые он принес.

Исходя из этого, лучшим средством обнаружения шквала будет обеспечение уже имеющихся станций датчиками непрерывной регистрации метеорологической обстановки – метеорологическими радарными. Они позволяют определять структуру и физические характеристики линий шквалов. В автоматическом режиме доплеровский локатор может распознавать конвективные ОЯ, извлекать информацию о горизонтальной и вертикальной структурах радиолокационной отражаемости штормов, горизонтальной и вертикальной скоростях облачных частиц и капель осадков внутри облака с разрешением до 1 км через 5–10 мин. Проблема пока в том, что в данный момент сеть локаторов охватывает лишь территорию Центрального Ф.О. и находится в стадии формирования на остальной части Р.Ф.

Большую помощь в определении шквалов оказывают наблюдения из космоса [14]. Дистанционное зондирование Земли из космоса предоставляет возможность просматривать снимки высокого качества и разрешения, на которых в течение времени можно отследить пространственное распределение

шквалов по ветровалам и другим видимым последствиям. Космическими наблюдениями можно скорректировать обнаружение шквала при использовании любых расчетных методов. Самым оптимальным инструментом диагноза условий формирования и развития шквалов будет комплекс, сочетающий результаты наблюдений за ОЯ на метеорологических станциях, ДДЗЗ и радиолокационное зондирование.

3.1.1. Физико-математические методы

Рассмотрим некоторые наиболее популярные и часто используемые методы прогнозирования шквала, для которых используются специальные математические расчеты [8]:

Метод Б. Е. Пескова и А. И. Снитковского

можно использовать для прогнозирования шквалов, где скорость ветра превышает 21 м/с. В качестве предикторов берутся мощность облака, средняя скорость ветра в слое земля-500 гПа, а также толщина облака между уровнем конденсации и уровнем изотермы -10 С. Учитывается также синоптическая ситуация для определения благоприятной ситуации для развития шквала, то есть прохождение холодного фронта иио фронта окклюзии.

Метод П. Г Пантелеева

В данном методе смысл заключается в установлении зависимости повторяемости шквалов от степени конвективной устойчивости, барических тенденций и разности температур на фронте. Для того, чтобы выполнить прогноз шквала нужно построить прогностические кривые стратификации температуры и точки росы, по которым можно узнать максимальную температуру воздуха и точки росы. Добавляется кривая состояния для расчета максимальной скорости конвективного потока Н.И. Глушковой. Далее составляем прогноз, используя график. На графике отложены конвективная скорость, максимальная температура. Барическая тенденция и дефицит точки росы.

Метод Фобуша – Миллера

Этот метод был разработан для прогноза внутримассовых шквалов. Используем следующие характеристики: нулевая температура смоченного термометра и максимальная дневная температура. Метод основан на том, что скорость ветра считается пропорциональной разности этих двух характеристик, то есть вычитаем из минимальной температуры нулевую.

Этот метод был дополнен *Р.А. Ягудиным*. Он принял допущение, что в зоне осадков воздушные частицы опускаются влажноадиабатически. И его предложение уменьшить наклон линии регрессии имело смысл. Он предложил заменить нулевую температуру смоченного термометра на температуру, определяемую по влажной адиабате до уровня земли. Также его заслугой было то, что он описал условия отсутствия шквала:

- устойчивый слой восточного переноса в нижнем слое атмосферы;
- максимальная температуры у земной поверхности не выше 19°C, дефицит точки росы меньше 7°C или больше 17°C;
- уровень конденсации выше 780 гПа;
- атмосферное давление на уровне станции выше 1010 гПа;
- грозовой очаг проходит до наступления максимального развития конвекции.

Метод Е. В. Васильева

Для представленного метода исследуются следующие предикторы-характеристики: максимальная конвективная скорость, лапласиан приземного давления, разность температур кривой стратификации и состояния на уровнях 500 и 500 гПа, разность температур воздуха на поверхностях 850 и 700 гПа, а также скорость ветра на земле при шквале.

Метод Э. В. Переходцевой

Этот метод помогает делать прогноз шквала за 12, 24, 36 часов до явления. Предикторы: значение скорости ветра на уровне 700 гПа, уровень нулевой изотермы, разность между значением влажной адиабаты и кривой стратификации на уровне 500 гПа, значение максимальной температуры на

уровне земли, максимальная разность между температурой на фронте на уровне земли в радиусе 250 км от пункта прогноза. Изэнтропический анализ и поля вихря могут способствовать нам в определении зон глубокой конвекции, и, как следствие, шквала.

Существует предположение, что развитие шквала зависит от баланса между величиной вертикального сдвига ветра и массы холодного воздуха, который опускается к поверхности земли нисходящим потоком. Таким образом, этот баланс и обуславливает время жизни шквала. А сдвиг ветра важен в организации конвективного шторма.

Практически все методы прогноза шквалов связаны с прогнозом конвекции и подразделяются на *статистические* (обработка и анализ временных рядов); *физико-статистические* (физические основы развития конвекции); *синоптические* (стратификация атмосферы и возможность формирования шквалов).

Так как кучево-дождевые облака являются конвективными, для их образования должны выполняться не менее трех условий: динамическое вынуждение, в результате которого происходит подъем воздушных частиц до уровня свободной конвекции; неустойчивость в насыщенном воздухе; наличие достаточной влажности в приземном слое.

3.1.2. Расчет индексов неустойчивости

Чтобы определить конвективность используются индексы неустойчивости [8].

Индекс Вайтинга:

$$K = T850 - T500 + Td850 - D700, (1)$$

где $T850$, $T500$ – температура воздуха на уровнях 850 и 500 гПа, $Td850$ – температура точки росы на уровне 850 гПа, $D700$ – дефицит точки росы на

уровне 700 гПа. При значении индекса более 20 есть вероятность развития конвективных явлений.

Индекс Total Totals: используется для прогноза развития конвекции.

$$TT = T850 + Td850 - 2T500, (2)$$

При значении $TT > 49$ следует прогнозировать развитие конвекции.

Индекс Шоултера:

$$SI = T500 - T_{pm500}, (3)$$

где T_{pm500} – температура кривой состояния частицы, поднятой с уровня 850 гПа до уровня конденсации по сухой адиабате, затем до уровня 500 – по влажной адиабате. При этом, температура точки росы частицы принимается средней в слое 850 – 500 гПа. При $SI < -3$ следует ожидать развития конвекции.

Индекс потенциальной неустойчивости (EPI):

$$EPI = \theta_{e,500} - \theta_{e,850}, (4)$$

где θ_e – эквивалентно-потенциальная температура на соответствующем уровне (850 или 500 гПа). Отрицательные значения EPI указывают на неустойчивость в атмосфере и, следовательно, благоприятные условия для развития глубокой конвекции.

Индекс глубокой конвекции (DCI):

$$DCI = T850 + Td850 - LI, (5)$$

где $T850$ и $Td850$ – соответственно температура воздуха и температура точки росы на поверхности 850 гПа, LI – Lifted Index. При $DCI > 30$ следует ожидать развитие конвективных явлений, вызванных глубокой конвекцией.

3.2. Метод Г. Д. Решетова.

Метод позволяет спрогнозировать шквал за 24 часа до его наступления. Изначально анализируется синоптическая ситуация: прохождение холодного фронта или центра циклона. Если ситуация благоволит развитию шквала в кучево-дождевом облаке, то рассчитываются следующие предикторы:

$\sum_{850}^{500}(T' - T)$ – сумма отклонений кривой состояния от кривой стратификации температуры на поверхностях 850, 700, 600, 500 гПа;

$T_{max} - T_{500}$ – разность между максимальной температурой и температурой на поверхности 500 гПа;

$\bar{V} = \frac{1}{4}(V_3 + V_{850} + V_{700} + V_{500})$ – средняя скорость ветра в слое от земли до 500 гПа. Данный предиктор позволяет количественно учесть перенос количества движений за счет нисходящих потоков;

$T_{см}$ - температура точки росы, приведенная к давлению P_0 ;

$T_{max} - T_{см}$ - разность температур, характеризующая возможное понижение температуры воздуха при выпадении дождя.

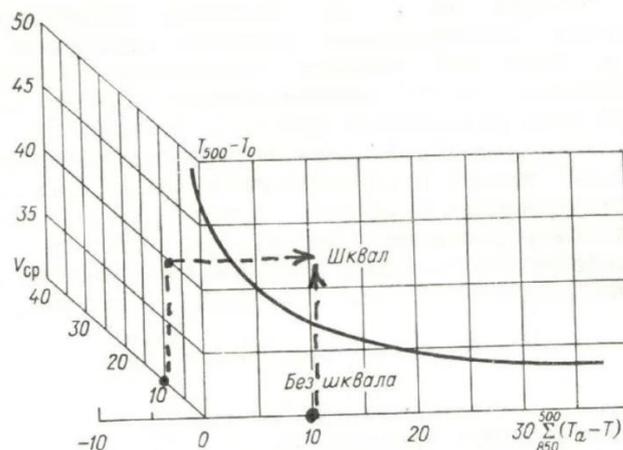


Рисунок 15. Диаграмма для прогноза шквала по методу Г.Д. Решетова

[11]

Далее данные наносятся на диаграмму, которая изображена на рисунке 15. Так мы выясним, возможно ли появление шквала.

Если прогноз положительный, то можно переходить к расчету максимальной скорости ветра в шквале по диаграмме, изображенной на рисунке 16.

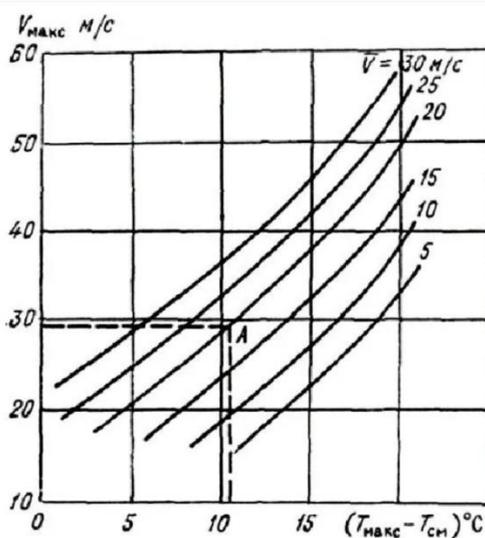


Рисунок 16. График для прогноза максимальной скорости ветра в шквале по методу Г.Д. Решетова

3.3. Метод ДМРЛ для обнаружения шквала

Шквалистое усиление ветра может обнаруживаться с помощью метеорологического доплеровского лоатора [15, с. 70]. Есть метод, при котором шквал распознается некогерентным радиолокатором, основанный на измерении высоты верхней границы облака, скорости перемещения радиоэха и его максимальной отражаемости.

Такой метод работает в 85% случаев. Но есть недостаток в том, что может быть сделана оценка скорости ветра в шквале, а также примерное будущее местоположение шквала, но метод подвержен влиянию экранировки облаков другими облаками и осадками, а также ослаблению излучения на влажном ветрозащитном колпаке антенны.

Если отслеживать шквал доплеровским лоатором, то шквал можно обнаружить и в осадках, и в безоблачной атмосфере.

В первом случае задача достаточно проста, так как отраженный сигнал велик и можно проводить надежные измерения скорости ветра. Шквал индицируется по резкому градиенту радиальной скорости в приземном слое.

Шквал может обнаруживаться доплеровским радиолокатором и вне облака. Формируясь в облаке, шквал приводит к интенсивному нисходящему движению воздуха, которое регистрируется по конвергенции воздуха в облаке на малых высотах. Иногда области конвергенции на радиолокационных дисплеях прослеживаются в виде полосы, что служит указателем наличия протяженной линии шквалов.

Доплеровский локатор может отследить шквал даже в безоблачной атмосфере на большом расстоянии от области радиоэха. Это объясняется повышением чувствительности радиолокационного приема за счет когерентного накопления сигнала. Наличие отраженного сигнала от шквала в ясном небе может объясняться как резкой неоднородностью воздуха, так и наличием в шквале пыли или насекомых.

Можно обнаружить доплеровским радиолокатором даже микрошквал — нисходящие порывы воздуха из основания облака, скорость которых может достигать более 17 м /с. На мониторе его можно определить как замкнутые контуры высоких скоростей, сосредоточенных в малом объеме. В силу кратковременности существования микрошквала (несколько минут) и большой опасности его для авиации мониторинг состояния района глиссады должен проводиться непрерывно при вероятности образования микрошквала. В США реализуется программа оснащения ста крупных аэропортов страны так называемыми терминальными доплеровскими метеорологическими радиолокаторами (концепция TDWR), одной из главных задач которых является мониторинг микрошквалов [3, с. 17]. Как показывает мировая практика, доплеровская станция является эффективным средством предупреждения о шквалах. Вероятность их обнаружения достигает 94—96 % . Пример определения микрошквала с помощью доплеровского локатора представлен на рисунке 17.

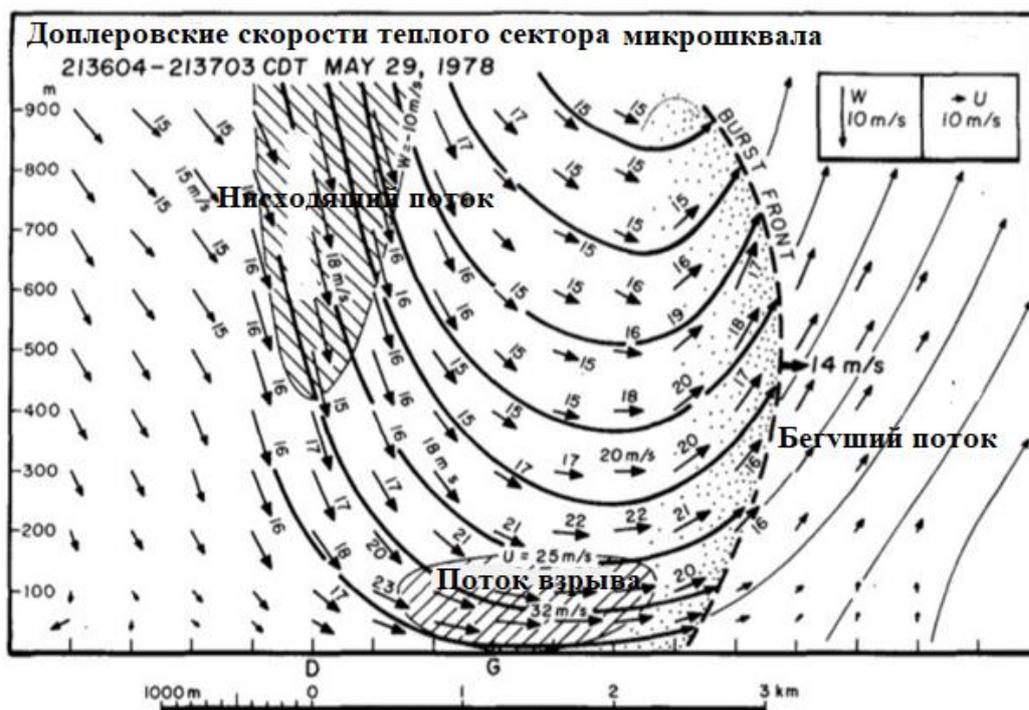


Рисунок 17. Доплеровские скорости микробуря [5, с. 1520]

3.4. Метод численного моделирования

Гидрометцентр России принял физико-статистический подход к прогнозу шквалов на основе выходных данных региональной гидродинамической модели. Информация на выходе образуется с помощью региональной тридцатиуровневой модели прогноза полей метеорологических элементов с пространственным разрешением 75 км.

В качестве предикторов используются фактические и прогностические поля приземного давления и геопотенциала основных изобарических поверхностей, значения температуры воздуха и влажности (точки росы) у поверхности Земли и на высотах изобарических поверхностей, а также диагностические данные упорядоченных вертикальных движений на поверхности 850 гПа. Данный метод с региональными уточнениями используется для Центральной России, Северного Кавказа, Сибири.

Рассмотрим метод численного моделирования шквалов на примере моделирования шквала в Забайкальском крае по Е. Вербицкой [16, с. 73]:

Шквал - это локальное резкое увеличение скорости ветра, сопровождающееся изменением направления ветра. Часто скорость ветра при шквале превышает значение 20-25 м/с. Продолжительность шквала составляет несколько минут. Прогнозирование линий шквалов - сложная задача. Существует множество методов прогнозирования и диагностики линий шквалов. Некоторые из них основаны на статистических закономерностях синоптических погодных условий, а другие анализируют выходное произведение негидростатической численной модели атмосферы для диагностики линий шквалов по значениям энергетических и динамических показателей.

Современные негидростатические численные атмосферные модели включают уравнение для вертикальной составляющей вектора ветра и обеспечивают возможность моделирования линий шквалов на различных временных интервалах. Метод прогнозирования шквалов должен выявлять горизонтальный вихрь крена на выходе модели. Высота этого вихря на поздней стадии зрелости достигает 1,5-2 км над уровнем земли (AGL) и вертикальная скорость ветра превышает значения 2-5 м/с. Поэтому очень важно исследовать моделируемую вертикальную скорость ветра (w) в низких слоях атмосферы, чтобы обнаружить области положительных и отрицательных значений w .

Горизонтальное разрешение сетки и параметризация микрофизики и планетарного пограничного слоя (ППС) численной модели являются ключевыми компонентами для прогнозирования конвективных процессов. Конвективные процессы могут быть адекватно представлены негидростатической численной моделью атмосферы с горизонтальными сеточными расстояниями $O(1 \text{ км})$.

В данном исследовании для моделирования используется усовершенствованная исследовательская версия модели исследования и прогнозирования погоды (WRF-ARW) с горизонтальными сеточными расстояниями 9 и 3 км. Модель WRF-ARW сконфигурирована в двух вариантах

для сравнения влияния параметризации PBL следующим образом: Университет Йонсей и Меллор-Ямада-Джанджич Конфигурация модели WRF-ARW.

Версия модели WRF-ARW с двумя вложенными доменами используется для моделирования линий шквалов на территории Забайкальского края, Россия. Пространственное разрешение внешней области (332×250 точек сетки) составляет 9 км, а для внутренней домен (618×339 точек сетки) составляет 3 км. Детальное представление топографии и землепользования (разрешение данных составляет 30") во внутренней области позволяет получить более реалистичную мезомасштабную циркуляцию по области сложного рельефа во время шквала. В вертикальном измерении модельных областей имеется 31 уровень с наиболее подробным разрешением в PBL; существует 11 уровней для высоты 2 км AGL. Начальные и граничные данные задаются 3-часовым интервальным производением Глобальной системы прогнозирования (GFS) [9]. Модель WRF-ARW сконфигурирована для средних широт и установлены рекомендуемые параметры излучения (модель быстрого переноса излучения), микрофизики (схема Томпсона), процессов на поверхности земли и почвы (универсальная модель Ноя).

Обе версии модели WRF-ARW рассчитаны на Altix S4700 (пиковая производительность составляет 0,7 ТФлопс). Один запуск в течение 24 часов занимает около 2 часов времени обработки. Выходная продукция с шагом по времени 1 минута доступна для анализа. Процедура расчетов включает в себя три основных этапа: предварительная обработка исходных и граничные данные, полученные из выходных данных GFS; расчет модели WRF-ARW; анализ выходных данных WRF для диагностики шквальных событий.

Значительный вклад в усиление приземного ветра вносит турбулентное движение. Параметризация PBL атмосферной модели разрешает потоки турбулентности подсеточного масштаба. Рассмотрены два варианта параметризации поверхностного слоя и ПБЛ. Эти связанные схемы имеют сходство MM5 с Yonsei.

Университет (YSU) и Eta сходство с параметризациями Меллора-Ямады-Джанджича (MYJ) соответственно. YSU-нелокальная схема-К с явным слоем уноса и параболическим профилем К в неустойчивом смешанном слое. Уравнения диффузии турбулентности для прогностических переменных включают термины, описывающие поток из инверсионного слоя и вклад крупномасштабных вихрей в общий поток. Слой, в котором критическое объемное число Ричардсона равно 0,5, соответствует высоте PBL. MYJ-одномерная прогностическая схема турбулентной кинетической энергии (ТКЕ) с локальным вертикальным перемешиванием. Прогностический ТКЕ рассчитывается по всему атмосферному столбу.



Рисунок 18. Горизонтальная область модель WRF-ARW

На первом этапе мы протестировали несколько методов идентификации шквальных событий по выходным данным модели. Самых успешный метод требует расчета особый параметр

$$V_1(i, j) = \max(M_{10m}, M_1) + \sum_{k=1}^N (\max(w_{rd}) - \min(w_{rd})),$$

где $M1$ – скорость ветра, при закрытых на уровне земли модель, $M10m$ – скорость ветра на высоте 10 м, VSP – значения вертикальных скоростей ветра внутри круга с радиусом 30 км с центром в точке (j, j) , k – номер уровня модели (нумерация снизу вверх), N – число вертикальных уровней, на рассмотрении.

Параметр $V1$ учитывает разницу между максимальным и минимальным значениями вертикальной скорости ветра на уровнях модели в PBL в пределах круга, центрированного в точке интереса. Таким образом, последнее слагаемое (2) отражает характеристики горизонтального вихря крена. Значения $V1$ вычисляются с шагом по времени 1 минута автоматически во время запуска модели WRFARW. Мы предполагаем, что модельный шквал в точке сетки (i, j) имеет место, если значение $V1$ в этой точке превышает пороговое значение 18 м/с не более чем на 30 минут. Предполагается, что модельный шквал является правильным, если он находится в пределах круга радиуса 30 км с центром в точке, где регистрируется наблюдаемый шквал, максимальное значение $V1$ в этой области превышает 18 м/с, а разница во времени между моделируемыми и наблюдаемыми событиями шквала занимает не более 3 часов. Карты параметра $V1$ строятся для определения положения линий шквала и определения точности моделирования. Рисунок 19 показывает положение линий шквала на основе значений $V1$. Шквал прошел (10-метровая скорость ветра составляет 24 м/с) в точке 30823 в 0815 UTC 28 июля 2010 года. Максимальные значения $V1$ составляют 20-21 м/с и 22-25 м/с для параметров YSU и MYJ соответственно.

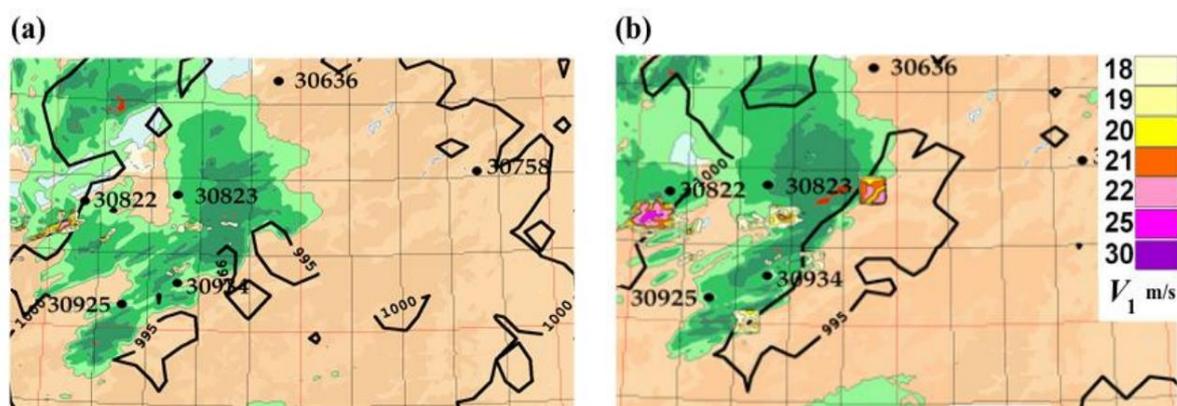


Рисунок 19. Смоделированные значения скорости шквала.

3.4.1 Разработка численной модели

В разработке в данный момент также находится численная модель – программа Cloud, описание которой проходит на языке программирования Fortran.

В данный момент является моделью, принадлежащей кафедре метеорологии и климатологии (МКОА) в Санкт-Петербургском Государственном Гидрометеорологическом Университете (РГГМУ).

В модели используются данные радиозондирования. Постоянными являются следующие величины

Давление в гПа

$rdi=288$ Дж/(кг К)

$e_0=6.1078$ гПа

$L_0=2.5e+5$ Дж/кг

$g=9.8$ м/с²

$c_p=1006$ Дж/(кг К)

$t_0=273.15$

$c=0.22$ - константа вовлечения

$M_{air}=28.97e-3$ кг/Моль молекулярная масса воздуха или 28.97кг/кМоль

$k_b=1.38e-23$ Дж/К постоянная Больцмана

$N_A=6.023e+23$ Моль число Авогадро

Далее происходит ввод данных с зонда. Следующий блок – построение кривой стратификации и кривой состояния, уровень конденсации.

После этого строятся профили гидродинамических параметров облака, находящегося в стадии максимального развития, по данным радиозондирования атмосферы и рассчитанные по 1,5 - мерной модели.

В этом блоке предполагается менять вертикальные скорости и отслеживать изменение радиуса кучево-дождевого облака, так как существует

математическая связь между вертикальной скоростью воздушного потока и радиусом облака.

Далее, меняя вертикальную скорость от 5 до 20, возможно рассчитать радиус облака, которое будет считаться шкваловым.

Тогда, глядя на метеорологический локатор, можно сразу определить по радиусу облака, является ли оно несущим шквал или нет.

3.5. Дешифрирование шквалов:

Шквал можно спрогнозировать, анализируя ветровалы. Это основной вид ущерба от сильных порывов ветра. Так как в лесных зонах нет метеостанций, то анализ ветровала является одним из доступных средств анализа надвигающегося опасного явления и определения примерной скорости ветра, которую следует ожидать [17]. Ниже приведены данные о нескольких случаях шквалов и смерчей на Европейской территории России в период 2007-2012 г., в результате которых был нанесен ущерб лесным ресурсам. Исходя из этих данных, можно утверждать, что массовые сплошные ветровалы на больших площадях обычно связаны с особо сильными шквалами ≥ 28 м/с, или со смерчами.

Исходными данными для определения шквала нужны космические снимки, например LANDSAT-5 TM и LANDSAT-7 ETM+ , а также снимки высокого разрешения SPOT-4 и SPOT-5. На основе снимков LANDSAT было выполняется выявление участков массовых сплошных ветровалов. Данные высокого разрешения использованы для уточнения контуров и пространственной структуры ветровалов, а именно для верификации результатов дешифрирования снимков LANDSAT.

Желательно, чтобы снимки были малооблачными и соответствовали поставленной задаче. Для обнаружения ветровала можно использовать различные методики. Рассмотрим 2 из них.

Первая методика разработана на основе разности коротковолнового вегетационного индекса с предварительным созданием маски леса. Механизм метода работает следующим образом: при повреждении растений и деревьев, снижается фотосинтез и уменьшается отражений в ближней ИК зоне спектра, что обусловлено осушением листьев или хвои.

Индекс SWVI рассчитывается по формуле: $SWVI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$. Где NIR — спектральная яркость в ближней ИК зоне, SWIR — спектральная яркость в коротковолновой ИК-зоне. Для выявления ветровалов использовался пороговый критерий разности индекса SWVI ($\Delta SWVI$), равный 1,5 стандартных отклонений.

Второй метод представляет из себя создание мультивременных композитов из ближнего и среднего ИК-каналов разновременных снимков с последующей неуправляемой классификацией и выделением классов изменений. Данная методика в ряде случаев дает менее надежные результаты (возможен пропуск объектов), однако она более эффективна для снимков с разностью в дате съемки более 5 лет, так как обеспечивает выявление изменений вне зависимости от их давности.

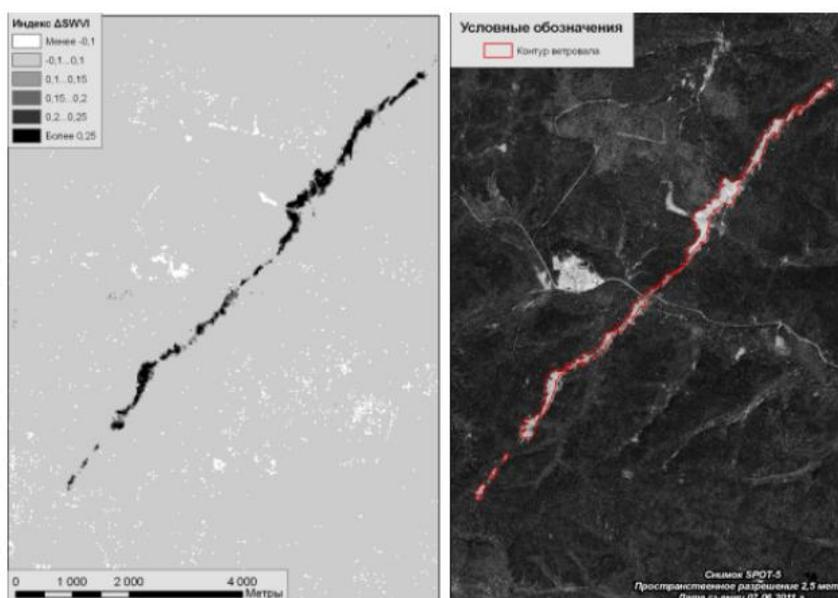


Рисунок 20. Применение индекса SWVI ($\Delta SWVI$) для выявления ветровала [17]

На рисунке совершенно четко заметна полоса сваленного сильным шквалом леса. Для ветровалов, связанных со шквалами, типично сочетание нескольких крупных и большого числа мелких контуров повреждения растительности, мозаичность (особенно в зоне ослабления шквала). Крупные участки сплошного ветровала чаще расположены в его начальной части.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выпускной квалификационной работы были выполнены все поставленные задачи. Изучены механизмы развития шквалов, создан собственный архив (электронная база данных) по шквалам на территории Российской Федерации, проанализирована зависимость распределения шквалов по географическим широтам и долготам.

В первой главе мы выяснили, что шквал - одно из типичных проявлений интенсивной конвекции и в зависимости от масштабов самой конвекции может охватывать от нескольких сотен квадратных метров. Порождающие его кучево-дождевые облака очень масштабны и хранят в себе огромную энергию, за счет существования в них потоков различных направлений и температур. Таким образом, существующий восходящий поток является своего рода «наполняющим» облако, а нисходящий поток разряжает облако и переносит осадки и опасные явления погоды на земную поверхность.

В кучево-дождевых облаках зарождаются такие мезомасштабные процессы, как грозовой мезоантициклон, линии шквалов, смерчи. Мы обратили свое внимание именно на швалы и рассмотрели их передвижение, а также показали различные способы классификации шквалов. Определена опасность такого явления как шквал для сельского хозяйства, экономики, и, особенно, для авиации. В этой же главе рассмотрена статья Richard H. Johnson, который описал эксперимент Т. Фудзита о строении шквала.

Во второй главе рассматривались вызванные кучево-дождевыми облаками швалы, скорость ветра в которых более 15 м/с. Данные собирались из таких источников как архивы погоды, сводки МЧС, данные СМИ. Особенность сбора данных состоит в том, что мы старались не брать города-метеостанции, находящиеся севернее 60 градусов северной широты, так как в этой зоне очень легко спутать процессы, связанные с действием воздушных потоков в кучево-дождевых облаках, с синоптическими или орографическими

особенностями. Далее данные были сведены в таблицу для дальнейшего анализа.

Создан электронный архив шквалов (Приложение Б) практически во всех субъектах Российской Федерации для анализа и иллюстрации их распространения по территории страны, и, отдельно, для Европейской территории России. Построены графики распределения шквалов по территории России сначала по географическим широтам, затем по географическим долготам. Затем с помощью ГИС интерполятора Mapinfo были созданы карты распределения шквалов по территории России и так же на Европейской ее территории.

Выявлены следующие закономерности: шквалы есть явление повсеместное. Существуют зоны с наибольшим и наименьшим количеством шквалов, но однозначно можно судить о том, что в южных широтах и горной местности их количество больше, а в северных равнинных территориях – меньше. На остальной территории шквалы распределены достаточно равномерно.

Довольно часто встречаются шквалы на Приволжской, Вольно-Подольской и Среднерусской возвышенностях, на Южном Урале, в крымских Яйлах. На Кавказе, Яблоновом хребте, Тянь-Шане практически по всей территории ежегодно случается до 80 шквалов. Здесь они происходят наиболее часто. Это связано с неравномерным прогревом земной поверхности, в связи с чем шанс на неустойчивость в атмосфере увеличивается. В тех же самых районах, где шквалов больше, чем в остальных, среднегодовая скорость ветра и процент повторения гроз во все времена года выше.

Мы выявили зависимость количества шквалов от географической широты: чем севернее широта, тем меньше шквалов. Зависимости распределения шквалов от долготы не обнаружено. После проверки зависимости распространения шквалов в различных городах России, располагающихся на одних широтах, но различной долготы, зависимости количества шквала от географической долготы не выявилось.

В третьей главе проводилось знакомство с различными методами прогноза и анализа шквала, его интенсивности. Также рассмотрен такой метод дещефрирования шквала, как ветровалы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шметер С.М. Термодинамика и физика конвективных облаков/ С.М. Шметер. – Л.: Гидрометиздат, 1987. – 287 с.
2. Мазин И.П., Шметер С.М. Облака. Строение и физика образования/ И.П. Мазин, С.М Шметер. – Л.: Гидрометиздат 1983. – 279 с.
3. Richard H. Johnson Surface Mesohighs and Mesolows/ R. Johnson// AMS Journal online, - 2001. –№1. – с.13-32
4. Прогноз торнадо и шквалов <https://collectedpapers.com.ua/ru/tornadoes-and-squalls/prognozi-shkvaliv-ta-smerchiv>
5. T. Theodore Fujita Tornadoes and Downbursts in the Context of Generalized Planetary Scales/ T. Fujita// Journal of the atmospheric sciences, - 1981. - №8. – с. 1511-1534.
6. Архивные данные <https://rp5.ru>
7. Данные <https://www.mchs.gov.ru/>
8. Дмитриева Т.В. Кучево-дождевые облака и их образование в слоях атмосферы с математическим анализом/ Т.В. Дмитриева// Vector of Geoscience- 2019. - №2(3). – с. 78-82.
9. Абдуллаев С.М., О.Ю. Ленская Эволюционная классификация мезомасштабных линий шквалов/ С.М. Абдуллаев, О.Ю. Ленская// Метеорология и гидрология, - 1998. - №3. – с. 24-32.
- 10.Френкель М.О., Швер Ц.А. Климат Кирова/ Френкель. – Л.: Гидрометиздат, 1982. – 216 с.
- 11.Фокина А.А. Воздушные потоки в зоне кучево-дождевых облаков/ Санкт-Петербург, РГГМУ – 2019. – 63 с.
12. Овсянникова М.Н. Биоклиматическая характеристика города Санкт-Петербург/ Туапсе, РГГМУ – 2016. – 74 с.
13. Степаненко С.Н. Лекции по мезометеорологии/ С.Н. Степаненко. -Одесса: ОГМИ, 2001. - 223 с.

14. Исследование шквала <https://collectedpapers.com.ua/ru/tornadoes-and-squalls/viter-tahmari>
15. Щукина Г.Г. Методы активной и пассивной радиолокации в метеорологии/ Г.Г. Щукина. -1991 Л.: Гидрометиздат 124 с.
16. E. Verbitskaya, S. Romanskiy, Z. Verbitskaya Numerical Forecasting of Squall Lines and Strong Winds on the Territory of Transbaikalia Region, Russia/ 2019. – 72-76 с.
17. Исследование шквалов в пермском крае <https://wiki.gis-lab.info>

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение А

Фрагмент архива шквалов на территории РФ

| Регион | Пункт | Дата | Срок шквала/ местное время | Макс. сила ветра |
|-----------------|---------------------------|-------------|-------------------------------|---------------------|
| Адыгея | Майкоп | 30.05.2017 | 18 | 15 |
| Адыгея | Хатукай | 17.06.2020 | 17 | 16 |
| Адыгея | Каменномоетский | 27.07.2020 | 15 | |
| Крым | Симферополь | 30.05.2020 | 15 | 18 |
| Крым | Севастополь | 26-28.07.20 | 03 | 18 |
| Крым | Севастополь | 29.09.2020 | 15 | 20 |
| Крым | Ай-Петри | 06.07.2019 | 21 | 20 |
| Крым | Керчь | 29.07.2017 | 15 | 16 |
| Краснод. Край | Лабинск | 28.07.2020 | 21 | 15 |
| Краснод. Край | Краснодар | 06.09.2019 | 18 | 15 |
| Краснод. Край | Сочи Адлер | 26.01.2021 | 3 | 15 |
| Краснод. Край | Анапа | 06.09.2020 | 3 | 20 |
| Краснод. Край | Краснодар | 02.10.2018 | 15 | 15 |
| Астрах. Обл. | Астрахань | 06.04.2021 | 7 | 22 |
| Астрах. Обл. | Астрахань | 17.05.2020 | 18 | 22 |
| Астрах. Обл. | Астрахань | 04.07.2019 | 20 | 15 |
| Волгогр. Обл. | Волгоград | 11.03.2019 | 9 | 21 |
| Ростов. Обл. | Константиновск | 05.08.2019 | 3 | 18 |
| Ростов. Обл. | Каменск-Шахтинский | 23.07.2017 | 18 | 15 |
| Калмыкия | Элиста | 15.06.2020 | 18 | 17 |
| Карелия | Петрозаводск | 09.02.2016 | 3 | 15 |
| Карелия | Сегежа | 30.03.2021 | 3 | 15 |
| Коми | Ухта | 09.04.2021 | 0 | 20 |
| Коми | Усинск | 16.07.2018 | 18 | 20 |
| Арх. Обл. | Сура | 08.07.2020 | 21 | 33 |
| Арх. Обл. | Карпогоры | 30.07.2017 | 21 | 41 |
| Волог. Обл. | Череповец | 28.09.2019 | 3 | 18 |
| Волог. Обл. | Вологда | 30.03.2021 | 15 | 16 |
| Волог. Обл. | Великий Устюг | 30.05.2019 | 18 | 23 |
| Калинингр. Обл. | Калининград | 13.06.2019 | 17 | 16 |
| Калинингр. Обл. | Балтийск | 02.01.2019 | 23 | 21 |
| Ленингр. Обл. | Новая Ладога | 29.05.2019 | 15 | 17 |
| Ленингр. Обл. | Сосновый Бор/ Шепелево | 30.06.2020 | 18 | 19 |
| Ленингр. Обл. | Выборг | 05.12.2016 | 18 | 19 |

| | | | | |
|-----------------|-------------------|------------|----|----|
| Ленигр. Обл. | Санкт-Петербург | 18.06.2016 | 18 | 20 |
| Новгор. Обл. | Великий Новгород | 06.06.2018 | 15 | 18 |
| Новгор. Обл. | Старая Русса | 27.10.2019 | 21 | 23 |
| Новгор. Обл. | Великий Новгород | 29.05.2019 | 15 | 16 |
| Новгор. Обл. | Великий Новгород | 27.10.2019 | 21 | 25 |
| Новгор. Обл. | Валдай | 19.12.2019 | 3 | 18 |
| Псковская обл. | Псков | 27.10.2019 | 21 | 21 |
| Псковская обл. | Гдов | 11.07.2020 | 21 | 18 |
| Псковская обл. | Великие Луки | 13.03.2020 | 6 | 19 |
| Мурманская обл. | Никель | 10.01.2019 | 21 | 26 |
| Мурманская обл. | Мончегорск | 29.12.2019 | 3 | 21 |
| Мурманская обл. | Мурманск | 30.04.2021 | 12 | 21 |
| НАО | Амдерма | 30.09.2018 | 15 | 27 |
| НАО | Нарьян-Мар | 20.11.2020 | 15 | 24 |
| ЯМАО | Ноябрьск | 22.03.2016 | 23 | 25 |
| ЯМАО | Салехард | 14.04.2017 | 14 | 17 |
| ЯМАО | Салехард | 07.02.2021 | 23 | 21 |
| ХМАО ЮГРА | Сургут | 05.03.2020 | 20 | 17 |
| ХМАО ЮГРА | Нефтеюганск | 03.07.2019 | 14 | 21 |
| ХМАО ЮГРА | Ханты-Мансийск | 20.03.2016 | 14 | 24 |
| ХМАО ЮГРА | Когалым | 15.07.2020 | 23 | 21 |
| Челяб. Обл. | Верхнеуральск | 03.06.2017 | 20 | 21 |
| Челяб. Обл. | Магнитогорск | 23.02.2021 | 23 | 23 |
| Челяб. Обл. | Магнитогорск | 15.07.2019 | 14 | 18 |
| Челяб. Обл. | Троицк | 19.09.2019 | 17 | 24 |
| Челяб. Обл. | Челябинск | 25.05.2020 | 20 | 19 |
| Челяб. Обл. | Челябинск | 19.09.2019 | 17 | 20 |
| Тюменская Обл. | Тюмень | 28.10.2019 | 23 | 19 |
| Тюменская Обл. | Тюмень | 20.05.2018 | 17 | 27 |
| Тюменская Обл. | Ишим | 31.05.2018 | 17 | 20 |
| Свердл. Обл. | Екатеринбург | 25.05.2020 | 20 | 23 |
| Свердл. Обл. | Нижний Тагил | 31.05.2019 | 2 | 17 |
| Свердл. Обл. | Каменск-Уральский | 03.06.2017 | 20 | 18 |
| Свердл. Обл. | Красноуфимск | 08.10.2018 | 23 | 17 |
| Курганская обл. | Курган | 07.04.2020 | 17 | 25 |
| Курганская обл. | Курган | 27.10.2020 | 8 | 20 |
| Курганская обл. | Шадринск | 19.03.2018 | 8 | 19 |
| Дагестан | Махачкала | 09.10.2020 | 15 | 24 |
| Дагестан | Махачкала | 06.03.2020 | 15 | 21 |
| Дагестан | Кизляр | 11.10.2020 | 12 | 22 |
| Ингушетия | Али-Юрта | 03.06.2020 | 18 | 20 |

| | | | | |
|---------------------|------------------|-------------------|------------|----|
| Каб.-Балк. | Нальчик | 13.06.2019 | 18 | 16 |
| Карач.-Черк. | Теберда | 25.10.2018 | 0 | 15 |
| Северная Осетия | Владикавказ | 25.05.2019 | 18 | 20 |
| Северная Осетия | Владикавказ | 14.01.2021 | 3 | 17 |
| Чечня | Грозный | 03.06.2020 | 21 | 20 |
| Ставроп. Край | Ставрополь | 21.11.2016 | 9 | 24 |
| Ставроп. Край | Ставрополь | 13.06.2020 | 18 | 16 |
| Ставроп. Край | Минеральные Воды | 04.07.2019 | 21 | 16 |
| Ставроп. Край | Будённовск | 25.02.2020 | 12 | 29 |
| Красноярск. край | Минино | 19.04.2021 | 16 | 23 |
| Красноярск. край | Норильск | 3-9.02.2020 | 5.02 в 10 | 23 |
| Красноярск. край | Норильск | 01- 02.03.2020 | 01.03 в 22 | 21 |
| Красноярск. край | Норильск | 21- 23.03.2016 | 23.03 в 16 | 33 |
| Красноярск. край | Норильск | 31.01.2017 | 13 | 26 |
| Красноярск. край | Ачинск | 26.05.2020 | 19 | 22 |
| Красноярск. край | Минусинск | 08.07.2017 | 22 | 21 |
| Красноярск. край | Енисейск | 29.10.2018 | 10 | 22 |
| Красноярск. край | Красноярск | 30.04.2020 | 2:30 | 22 |
| Красноярск. край | Красноярск | 19.04.2021 | 14 | 23 |
| Иркутская Обл. | Иркутск | 14.03.2021 | 8 | 20 |
| Иркутская Обл. | Иркутск | 20.04.2016 | 14 | 22 |
| Иркутская Обл. | Тулун | 30.10.2019 | 2 | 20 |
| Иркутская Обл. | Братск | 18.04.2019 | 20:30 | 24 |
| Кемер. Обл. | Кемерово | 24.06.2015 | 22 | 21 |
| Кемер. Обл. | Тисуль | 08.05.2017 | 16 | 29 |
| Кемер. Обл. | Кемерово | 01.06.2017 | 19 | 18 |
| Кемер. Обл. | Анжеро-Судженск | 24.06.2015 | 22 | 18 |
| Новосиб. Обл. | Барабинск | 22.06.2018 | 22 | 26 |
| Новосиб. Обл. | Барабинск | 13.07.2015 | 19 | 27 |
| Новосиб. Обл. | Колывань | 05.07.2016 | 19 | 16 |
| Новосиб. Обл. | Тогучин | 02.01.2015 | 7 | 16 |
| Новосиб. Обл. | Новосибирск | 22.03.2020 | 16 | 18 |
| Новосиб. Обл. | Новосибирск | 30.04.2019 | 16 | 24 |
| Новосиб. Обл. | Новосибирск | 19.04.2015 | 16 | 19 |
| Омская Обл. | Омск | 08.04.2020 | 3 | 22 |
| Омская Обл. | Исилькуль | 19.07.2020 | 18 | 19 |
| Томская Обл. | Томск | 30.04.2019 | 19 | 16 |

| | | | | |
|---------------|------------------|------------|-------|----|
| Хакасия | Черногорск | 21.06.2018 | 19 | 18 |
| Хакасия | Абакан | 18.04.2019 | 17:30 | 24 |
| Хакасия | Шира | 26.05.2020 | 22 | 32 |
| Хакасия | Абакан | 14.05.2020 | 15:30 | 21 |
| Тыва | Чадан | 13.03.2021 | 19 | 22 |
| Тыва | Кызыл | 29.07.2017 | 19 | 22 |
| Тыва | Кызыл | 13.03.2021 | 22 | 25 |
| Алтай | Хабары | 22.06.2018 | 22 | 18 |
| Башкортостан | Уфа | 25.04.2020 | 20 | 18 |
| Башкортостан | Дема | 28.10.2019 | 17 | 15 |
| Башкортостан | Кумертау | 28.04.2018 | 20 | 23 |
| Марий Эл | Йошкар-Ола | 27.06.2020 | 18 | 20 |
| Марий Эл | Йошкар-Ола | 20.06.2018 | 21 | 16 |
| Марий Эл | Козьмодемьянск | 09.07.2020 | 18 | 20 |
| Марий Эл | Козьмодемьянск | 20.06.2018 | 12 | 18 |
| Мордовия | Рузаевка | 30.05.2018 | 18 | 23 |
| Мордовия | Саранск | 14.07.2020 | 18 | 17 |
| Мордовия | Саранск | 29.05.2017 | 21 | 15 |
| Татарстан | Казань | 01.05.2021 | 12 | 20 |
| Татарстан | Нижнекамск | 26.04.2020 | 13:30 | 20 |
| Татарстан | Казань | 28.10.2019 | 15 | 20 |
| Татарстан | Бугульма | 04.06.2017 | 9 | 20 |
| Татарстан | Бугульма | 30.05.2018 | 15 | 20 |
| Татарстан | Елабуга | 18.02.2019 | 21 | 15 |
| Татарстан | Набережные Челны | 27.06.2020 | 18 | 17 |
| Удмуртия | Ижевск | 01.05.2020 | 13 | 21 |
| Удмуртия | Ижевск | 26.04.2020 | 13 | 20 |
| Удмуртия | Ижевск | 29.06.2019 | 19 | 16 |
| Удмуртия | Ижевск | 30.05.2018 | 19 | 20 |
| Удмуртия | Воткинск | 10.06.2019 | 16 | 17 |
| Удмуртия | Глазов | 04.05.2021 | 16 | 20 |
| Чувашия | Чебоксары | 30.05.2018 | 15 | 21 |
| Чувашия | Чебоксары | 17.05.2020 | 15 | 18 |
| Чувашия | Алатырь | 05.06.2018 | 15 | 23 |
| Чувашия | Канаш | 21.04.2021 | 12 | 18 |
| Перм. Край | Пермь | 01.05.2021 | 14 | 21 |
| Перм. Край | Пермь | 03.08.2018 | 17 | 17 |
| Перм. Край | Пермь | 06.08.2019 | 14 | 20 |
| Перм. Край | Березники | 22.05.2018 | 17 | 15 |
| Кировск. Обл. | Киров | 28.10.2019 | 12 | 19 |
| Кировск. Обл. | Вятские Поляны | 19.07.2018 | 21 | 16 |
| Кировск. Обл. | Котельнич | 27.06.2020 | 15 | 24 |
| Кировск. Обл. | Вятские Поляны | 30.05.2018 | 15 | 25 |
| Нижегор. Обл. | Нижний Новгород | 13.03.2020 | 18 | 17 |
| Нижегор. Обл. | Нижний Новгород | 28.10.2018 | 9 | 17 |
| Нижегор. Обл. | Нижний Новгород | 19.12.2019 | 15 | 18 |

| | | | | |
|-----------------|----------------------|------------|----|----|
| Нижегор. Обл. | Арзмас | 28.06.2015 | 18 | 26 |
| Нижегор. Обл. | Арзмас | 08.07.2020 | 21 | 20 |
| Оренбург. Обл. | Оренбург | 31.07.2019 | 20 | 21 |
| Оренбург. Обл. | Оренбург | 27.05.2020 | 8 | 17 |
| Оренбург. Обл. | Оренбург | 07.08.2018 | 14 | 20 |
| Оренбург. Обл. | Оренбург | 19.09.2019 | 14 | 25 |
| Оренбург. Обл. | Оренбург | 21.05.2017 | 20 | 19 |
| Оренбург. Обл. | Абдулино | 05.08.2018 | 23 | 21 |
| Оренбург. Обл. | Абдулино | 24.01.2018 | 14 | 18 |
| Оренбург. Обл. | Бугуруслан | 28.04.2019 | 17 | 25 |
| Оренбург. Обл. | Орск | 27.04.2018 | 8 | 20 |
| Пенз. Обл. | Пенза | 21.04.2021 | 0 | 21 |
| Пенз. Обл. | Пенза | 14.07.2020 | 21 | 24 |
| Самарск. Обл. | Самара | 19.09.2019 | 7 | 20 |
| Самарск. Обл. | Сызрань | 01.06.2017 | 16 | 15 |
| Сарат. Обл. | Саратов | 05.08.2019 | 16 | 23 |
| Сарат. Обл. | Аткарск | 21.04.2021 | 1 | 23 |
| Сарат. Обл. | Аткарск | 12.04.2020 | 13 | 25 |
| Сарат. Обл. | Балаково | 14.07.2020 | 16 | 29 |
| Ульяновск. Обл. | Димитровград | 24.06.2019 | 16 | 25 |
| Ульяновск. Обл. | Ульяновск | 30.05.2018 | 16 | 20 |
| Ульяновск. Обл. | Димитровград | 04.08.2018 | 16 | 22 |
| Саха | Якутск | 28.05.2018 | 21 | 22 |
| Саха | Якутск | 25.03.2017 | 18 | 17 |
| Камчатка | Светлое | 09.04.2021 | 6 | 29 |
| Камчатка | Петропавловск-Камч. | 09.04.2021 | 15 | 36 |
| Камчатка | Петропавловск-Камч. | 16.03.2016 | 15 | 33 |
| Прим. Край | Владивосток | 03.09.2020 | 16 | 41 |
| Прим. Край | Владивосток | 17.02.2020 | 13 | 25 |
| Прим. Край | Владивосток | 27.05.2019 | 19 | 29 |
| Прим. Край | Находка | 08.03.2021 | 1 | 17 |
| Хабар. Край | Хабаровск | 22.04.2020 | 1 | 21 |
| Хабар. Край | Хабаровск | 14.07.2015 | 13 | 23 |
| Хабар. Край | Комсомольск-на-Амуре | 23.03.2021 | 16 | 19 |
| Хабар. Край | Комсомольск-на-Амуре | 04.07.2020 | 16 | 20 |
| Хабар. Край | Советская Гавань | 16.02.2021 | 22 | 33 |
| Хабар. Край | Советская Гавань | 14.11.2020 | 7 | 21 |
| Амур. Обл. | Благовещенск | 16.02.2021 | 21 | 17 |
| Амур. Обл. | Благовещенск | 10.06.2019 | 21 | 18 |
| Амур. Обл. | Благовещенск | 09.06.2017 | 15 | 28 |
| Амур. Обл. | Белогорск | 03.04.2021 | 12 | 19 |
| Амур. Обл. | Зея | 16.03.2021 | 0 | 20 |
| Сахалин | Южно-Сахалинск | 01.05.2021 | 11 | 22 |
| Сахалин | Южно-Сахалинск | 16.02.2018 | 14 | 18 |
| Сахалин | Холмск | 02.10.2015 | 14 | 45 |
| Еврейск. АО | Биробиджан | 04.09.2020 | 4 | 18 |

| | | | | |
|--------------|--------------|------------|----|----|
| Еврейск. АО | Ленинское | 02.04.2020 | 16 | 19 |
| Еврейск. АО | Ленинское | 13.11.2020 | 16 | 18 |
| Бурятия | Улан-Удэ | 20.05.2018 | 14 | 20 |
| Бурятия | Улан-Удэ | 26.07.2018 | 20 | 24 |
| Бурятия | Улан-Удэ | 20.09.2018 | 11 | 23 |
| Бурятия | Улан-Удэ | 25.11.2018 | 23 | 22 |
| Бурятия | Улан-Удэ | 11.05.2020 | 2 | 21 |
| Бурятия | Улан-Удэ | 18.04.2021 | 5 | 17 |
| Бурятия | Нижнеангарск | 31.03.2021 | 14 | 17 |
| Бурятия | Нижнеангарск | 17.03.2018 | 14 | 18 |
| Забайк. Край | Чита | 05.05.2018 | 9 | 22 |
| Забайк. Край | Чита | 19.04.2019 | 21 | 19 |
| Забайк. Край | Чита | 26.11.2018 | 15 | 17 |
| Забайк. Край | Чита | 25.03.2020 | 18 | 21 |
| Забайк. Край | Чита | 27.07.2020 | 18 | 21 |
| Забайк. Край | Чита | 08.03.2021 | 18 | 18 |
| Забайк. Край | Нерчинск | 01.04.2018 | 15 | 17 |
| Забайк. Край | Нерчинск | 22.05.2018 | 15 | 19 |
| Забайк. Край | Нерчинск | 19.03.2019 | 3 | 17 |
| Забайк. Край | Нерчинск | 29.04.2019 | 15 | 21 |
| Забайк. Край | Нерчинск | 07.05.2019 | 21 | 23 |
| Забайк. Край | Нерчинск | 22.06.2019 | 21 | 20 |
| Забайк. Край | Нерчинск | 16.09.2019 | 21 | 18 |
| Забайк. Край | Нерчинск | 25.03.2020 | 18 | 21 |
| Забайк. Край | Нерчинск | 21.04.2020 | 15 | 26 |
| Забайк. Край | Нерчинск | 17.06.2020 | 0 | 21 |
| Забайк. Край | Нерчинск | 15.03.2021 | 3 | 22 |
| Забайк. Край | Нерчинск | 07.05.2021 | 18 | 19 |
| Белгор. Обл. | Белгород | 28.06.2018 | 17 | 17 |
| Белгор. Обл. | Белгород | 03.07.2019 | 15 | 19 |
| Белгор. Обл. | Белгород | 30.01.2020 | 12 | 19 |
| Белгор. Обл. | Белгород | 10.05.2020 | 21 | 19 |
| Белгор. Обл. | Белгород | 05.02.2021 | 9 | 18 |
| Белгор. Обл. | Белгород | 10.05.2021 | 21 | 19 |
| Белгор. Обл. | Старый Оскол | 26.04.2018 | 18 | 18 |
| Белгор. Обл. | Старый Оскол | 05.03.2018 | 15 | 16 |
| Белгор. Обл. | Старый Оскол | 02.04.2019 | 18 | 19 |
| Белгор. Обл. | Старый Оскол | 09.08.2019 | 0 | 18 |
| Белгор. Обл. | Старый Оскол | 31.12.2019 | 3 | 18 |
| Белгор. Обл. | Старый Оскол | 30.01.2020 | 15 | 19 |
| Белгор. Обл. | Старый Оскол | 25.02.2020 | 3 | 21 |
| Белгор. Обл. | Старый Оскол | 14.03.2020 | 18 | 19 |
| Белгор. Обл. | Старый Оскол | 15.07.2020 | 15 | 17 |
| Белгор. Обл. | Старый Оскол | 29.01.2021 | 12 | 18 |
| Белгор. Обл. | Старый Оскол | 07.03.2021 | 15 | 19 |
| Белгор. Обл. | Старый Оскол | 10.05.2021 | 12 | 19 |

| | | | | |
|---------------|--------------|------------|----|----|
| Брянская Обл. | Брянск | 31.01.2018 | 3 | 16 |
| Брянская Обл. | Брянск | 16.09.2019 | 18 | 15 |
| Брянская Обл. | Брянск | 23.04.2020 | 15 | 16 |
| Брянская Обл. | Брянск | 18.05.2020 | 15 | 16 |
| Брянская Обл. | Брянск | 26.01.2021 | 15 | 15 |
| Брянская Обл. | Красная Гора | 24.12.2017 | 18 | 17 |
| Брянская Обл. | Красная Гора | 04.02.2018 | 21 | 16 |
| Брянская Обл. | Красная Гора | 22.04.2018 | 18 | 20 |
| Брянская Обл. | Красная Гора | 22.03.2019 | 15 | 17 |
| Брянская Обл. | Красная Гора | 27.06.2019 | 18 | 16 |
| Брянская Обл. | Красная Гора | 10.02.2020 | 18 | 18 |
| Брянская Обл. | Красная Гора | 13.03.2020 | 0 | 17 |
| Брянская Обл. | Красная Гора | 27.01.2020 | 0 | 18 |
| Брянская Обл. | Красная Гора | 07.03.2021 | 15 | 16 |
| Владим. Обл. | Владимир | 12.04.2017 | 15 | 17 |
| Владим. Обл. | Владимир | 30.06.2017 | 21 | 18 |
| Владим. Обл. | Владимир | 15.09.2017 | 21 | 23 |
| Владим. Обл. | Владимир | 22.04.2018 | 9 | 17 |
| Владим. Обл. | Владимир | 04.08.2018 | 18 | 16 |
| Владим. Обл. | Владимир | 18.02.2019 | 6 | 18 |
| Владим. Обл. | Владимир | 06.03.2019 | 12 | 16 |
| Владим. Обл. | Владимир | 10.05.2019 | 12 | 18 |
| Владим. Обл. | Владимир | 26.08.2020 | 18 | 18 |
| Владим. Обл. | Владимир | 18.09.2020 | 3 | 17 |
| Владим. Обл. | Владимир | 30.04.2021 | 15 | 17 |
| Владим. Обл. | Муром | 08.01.2018 | 0 | 17 |
| Владим. Обл. | Муром | 22.04.2018 | 12 | 18 |
| Владим. Обл. | Муром | 30.05.2018 | 15 | 21 |
| Владим. Обл. | Муром | 23.11.2018 | 0 | 19 |
| Владим. Обл. | Муром | 19.12.2019 | 18 | 21 |
| Владим. Обл. | Муром | 21.04.2020 | 18 | 19 |

Фрагмент электронного архива по шквалам на территории РФ

| Округ | Регион | Пункт | Дата | Макс. сила ветра |
|-------|--------|-------------|------------|------------------|
| Южный | Крым | Севастополь | 22.09.2017 | 16 |
| Южный | Крым | Севастополь | 21.11.2017 | 16 |
| Южный | Крым | Севастополь | 10.12.2017 | 16 |
| Южный | Крым | Севастополь | 23.01.2018 | 17 |
| Южный | Крым | Севастополь | 01.03.2018 | 17 |
| Южный | Крым | Севастополь | 23.03.2018 | 19 |
| Южный | Крым | Севастополь | 25.09.2018 | 18 |
| Южный | Крым | Севастополь | 25.10.2018 | 17 |
| Южный | Крым | Севастополь | 29.11.2018 | 22 |
| Южный | Крым | Севастополь | 11.12.2018 | 20 |
| Южный | Крым | Севастополь | 25.12.2018 | 16 |
| Южный | Крым | Севастополь | 04.01.2019 | 21 |
| Южный | Крым | Севастополь | 10.01.2019 | 21 |
| Южный | Крым | Севастополь | 16.01.2019 | 17 |
| Южный | Крым | Севастополь | 23.01.2019 | 17 |
| Южный | Крым | Севастополь | 07.02.2019 | 16 |
| Южный | Крым | Севастополь | 23.02.2019 | 23 |
| Южный | Крым | Севастополь | 20.04.2019 | 17 |
| Южный | Крым | Севастополь | 29.05.2019 | 17 |
| Южный | Крым | Севастополь | 04.08.2019 | 17 |
| Южный | Крым | Севастополь | 21.09.2019 | 18 |
| Южный | Крым | Севастополь | 07.10.2019 | 16 |
| Южный | Крым | Севастополь | 01.12.2019 | 18 |
| Южный | Крым | Севастополь | 30.12.2019 | 17 |
| Южный | Крым | Севастополь | 06.01.2020 | 16 |
| Южный | Крым | Севастополь | 05.02.2020 | 19 |
| Южный | Крым | Севастополь | 24.02.2020 | 18 |
| Южный | Крым | Севастополь | 03.03.2020 | 18 |
| Южный | Крым | Севастополь | 27.07.2020 | 17 |
| Южный | Крым | Севастополь | 05.09.2020 | 15 |
| Южный | Крым | Севастополь | 05.11.2020 | 16 |
| Южный | Крым | Севастополь | 13.01.2020 | 16 |
| Южный | Крым | Севастополь | 17.01.2020 | 20 |
| Южный | Крым | Севастополь | 26.01.2020 | 17 |
| Южный | Крым | Севастополь | 13.02.2021 | 17 |
| Южный | Крым | Севастополь | 19.02.2021 | 18 |
| Южный | Крым | Севастополь | 23.03.2021 | 17 |
| Южный | Крым | Севастополь | 18.05.2021 | 17 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 24.02.2017 | 20 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 26.02.2017 | 23 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 19.04.2017 | 23 |

| | | | | |
|-------|---------------|-----------|------------|----|
| Южный | Адыгея | Майкоп | 22.04.2017 | 18 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 24.04.2017 | 22 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 27.05.2017 | 17 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 10.06.2017 | 17 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 11.12.2017 | 16 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 25.12.2017 | 19 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 31.01.2018 | 17 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 25.12.2018 | 17 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 05.01.2019 | 16 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 22.02.2019 | 17 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 01.03.2019 | 19 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 13.06.2019 | 16 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 23.01.2020 | 17 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 04.02.2020 | 15 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 24.02.2020 | 20 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 28.02.2020 | 17 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 16.05.2020 | 17 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 17.06.2020 | 16 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 05.02.2021 | 16 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 12.02.2021 | 17 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 03.03.2021 | 15 |
| Южный | Адыгея | Майкоп | 11.05.2021 | 16 |
| Южный | Краснод. Край | Краснодар | 23.02.2017 | 20 |
| Южный | Краснод. Край | Краснодар | 28.03.2017 | 17 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 19.04.2017 | 20 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 29.07.2017 | 17 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 11.12.2017 | 17 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 25.12.2017 | 20 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 21.01.2018 | 19 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 31.01.2018 | 18 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 19.04.2018 | 15 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 12.07.2018 | 25 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 14.07.2018 | 21 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 16.07.2018 | 20 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 20.07.2018 | 20 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 26.07.2018 | 18 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 14.09.2018 | 15 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 27.11.2018 | 17 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 12.12.2018 | 18 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 25.12.2018 | 17 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 05.01.2019 | 19 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 01.03.2019 | 21 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 23.03.2019 | 15 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 25.05.2019 | 15 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 03.06.2019 | 15 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 07.06.2019 | 16 |

| | | | | |
|-------|--------------|-----------|------------|----|
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 13.07.2019 | 16 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 04.08.2019 | 17 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 23.01.2020 | 20 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 03.02.2020 | 22 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 12.02.2020 | 20 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 24.02.2020 | 19 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 19.06.2020 | 15 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 05.07.2020 | 21 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 12.07.2020 | 16 |
| Южный | Краснод. Кр. | Краснодар | 21.07.2020 | 18 |
| Южный | Астрах. Обл. | Астрахань | 29.03.2017 | 20 |
| Южный | Астрах. Обл. | Астрахань | 22.04.2017 | 21 |
| Южный | Астрах. Обл. | Астрахань | 03.06.2017 | 15 |
| Южный | Астрах. Обл. | Астрахань | 16.10.2017 | 16 |
| Южный | Астрах. Обл. | Астрахань | 25.12.2017 | 19 |
| Южный | Астрах. Обл. | Астрахань | 22.04.2018 | 15 |
| Южный | Астрах. Обл. | Астрахань | 20.07.2018 | 18 |
| Южный | Астрах. Обл. | Астрахань | 04.10.2018 | 15 |
| Южный | Астрах. Обл. | Астрахань | 17.04.2019 | 17 |
| Южный | Астрах. Обл. | Астрахань | 25.06.2019 | 16 |
| Южный | Астрах. Обл. | Астрахань | 27.07.2019 | 16 |
| Южный | Астрах. Обл. | Астрахань | 31.07.2019 | 19 |
| Южный | Астрах. Обл. | Астрахань | 26.01.2020 | 16 |
| Южный | Астрах. Обл. | Астрахань | 25.02.2020 | 20 |
| Южный | Астрах. Обл. | Астрахань | 07.03.2020 | 17 |
| Южный | Астрах. Обл. | Астрахань | 06.04.2020 | 20 |
| Южный | Астрах. Обл. | Астрахань | 12.04.2020 | 17 |
| Южный | Астрах. Обл. | Астрахань | 04.06.2020 | 15 |
| Южный | Астрах. Обл. | Астрахань | 06.02.2021 | 18 |
| Южный | Астрах. Обл. | Астрахань | 09.03.2021 | 17 |
| Южный | Астрах. Обл. | Астрахань | 26.03.2021 | 15 |
| Южный | Астрах. Обл. | Астрахань | 06.04.2021 | 21 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 26.02.2017 | 20 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 30.03.2017 | 17 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 15.04.2017 | 21 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 22.04.2017 | 27 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 09.05.2017 | 16 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 16.06.2017 | 16 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 22.06.2017 | 20 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 04.07.2017 | 25 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 20.07.2017 | 15 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 23.08.2017 | 24 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 16.10.2017 | 18 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 02.11.2017 | 19 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 25.12.2017 | 23 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 31.01.2018 | 15 |

| | | | | |
|-------|----------------|--------|------------|----|
| Южный | Калмыкия | Элиста | 19.04.2018 | 15 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 26.07.2018 | 18 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 08.08.2018 | 17 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 17.09.2018 | 15 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 04.10.2018 | 15 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 15.11.2018 | 17 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 18.02.2019 | 20 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 01.03.2019 | 18 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 11.03.2019 | 23 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 17.04.2019 | 19 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 23.05.2019 | 19 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 17.06.2019 | 15 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 01.07.2019 | 16 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 05.08.2019 | 22 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 18.09.2019 | 17 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 21.09.2019 | 16 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 30.10.2019 | 15 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 01.12.2019 | 18 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 01.01.2020 | 17 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 22.01.2020 | 22 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 26.01.2020 | 19 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 03.02.2020 | 19 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 13.02.2020 | 18 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 25.02.2020 | 28 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 12.04.2020 | 20 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 16.05.2020 | 16 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 20.05.2020 | 16 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 30.05.2020 | 21 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 05.06.2020 | 17 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 24.06.2020 | 15 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 21.07.2020 | 16 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 12.08.2020 | 15 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 07.11.2020 | 16 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 05.02.2021 | 21 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 14.02.2021 | 17 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 22.02.2021 | 18 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 03.03.2021 | 17 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 09.03.2021 | 16 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 28.03.2021 | 18 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 06.04.2021 | 22 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 09.05.2021 | 17 |
| Южный | Калмыкия | Элиста | 23.02.2017 | 17 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 23.02.2017 | 18 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 28.03.2017 | 24 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 15.04.2017 | 19 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 19.04.2017 | 20 |

| | | | | |
|-------|----------------|--------|------------|----|
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 15.05.2017 | 18 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 23.06.2017 | 15 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 04.07.2017 | 21 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 15.10.2017 | 16 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 31.10.2017 | 21 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 02.11.2017 | 18 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 24.12.2017 | 21 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 14.01.2018 | 18 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 22.01.2018 | 15 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 30.01.2018 | 16 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 11.02.2018 | 17 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 27.02.2018 | 22 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 01.03.2018 | 18 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 17.03.2018 | 18 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 21.03.2018 | 22 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 19.04.2018 | 16 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 26.06.2018 | 22 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 29.06.2018 | 22 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 16.07.2018 | 20 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 07.09.2018 | 17 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 24.10.2018 | 18 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 13.11.2018 | 16 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 01.12.2018 | 19 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 12.12.2018 | 20 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 25.12.2018 | 20 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 05.01.2019 | 18 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 07.01.2019 | 17 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 16.01.2019 | 18 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 01.03.2019 | 19 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 11.03.2019 | 22 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 23.03.2019 | 23 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 17.04.2019 | 17 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 26.05.2019 | 15 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 21.06.2019 | 17 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 31.07.2019 | 15 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 05.08.2019 | 20 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 18.09.2019 | 19 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 22.09.2019 | 19 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 30.01.2019 | 20 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 03.02.2019 | 21 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 12.02.2020 | 21 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 24.02.2020 | 24 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 11.03.2020 | 19 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 15.04.2020 | 16 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 16.05.2020 | 18 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 30.05.2020 | 20 |

| | | | | |
|-------|----------------|-----------|------------|----|
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 14.06.2020 | 20 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 08.07.2020 | 16 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 30.09.2020 | 17 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 07.12.2020 | 19 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 13.12.2020 | 18 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 05.02.2021 | 18 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 12.02.2021 | 19 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 03.03.2021 | 15 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 03.04.2021 | 18 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 21.04.2021 | 18 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 09.05.2021 | 18 |
| Южный | Ростовск. Обл. | Ростов | 19.05.2021 | 17 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 02.01.2017 | 17 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 23.02.2017 | 17 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 28.03.2017 | 21 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 19.04.2017 | 16 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 25.04.2017 | 18 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 01.06.2017 | 17 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 03.06.2017 | 19 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 13.06.2017 | 18 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 23.06.2017 | 18 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 04.07.2017 | 19 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 25.10.2017 | 16 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 05.02.2018 | 18 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 19.04.2018 | 15 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 16.01.2019 | 17 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 18.02.2019 | 19 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 11.03.2019 | 25 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 04.03.2019 | 18 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 11.03.2019 | 25 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 23.05.2019 | 15 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 03.06.2019 | 15 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 29.07.2019 | 18 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 18.09.2019 | 17 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 22.09.2019 | 19 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 01.10.2019 | 15 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 25.02.2020 | 20 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 28.02.2020 | 18 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 12.03.2020 | 17 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 11.04.2020 | 21 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 21.04.2020 | 19 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 27.04.2020 | 19 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 30.05.2020 | 17 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 12.07.2020 | 17 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 12.08.2020 | 16 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 19.08.2020 | 15 |

| | | | | |
|-------|-------------------|-------------|------------|----|
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 28.08.2020 | 15 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 05.02.2021 | 17 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 06.04.2021 | 24 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 20.04.2021 | 18 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 24.04.2021 | 16 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 09.05.2021 | 16 |
| Южный | Волгор. Обл. | Волгоград | 11.05.2021 | 16 |
| СЗ | Калинингр. Обл. | Калининград | 04.01.2017 | 16 |
| СЗ | Калинингр. Обл. | Калининград | 21.02.2017 | 16 |
| СЗ | Калинингр. Обл. | Калининград | 30.10.2017 | 18 |
| СЗ | Калинингр. Обл. | Калининград | 11.11.2017 | 16 |
| СЗ | Калинингр. Обл. | Калининград | 24.12.2017 | 18 |
| СЗ | Калинингр. Обл. | Калининград | 21.06.2018 | 16 |
| СЗ | Калинингр. Обл. | Калининград | 02.01.2018 | 18 |
| СЗ | Калинингр. Обл. | Калининград | 11.07.2020 | 16 |
| СЗ | Калинингр. Обл. | Калининград | 12.03.2021 | 15 |
| СЗ | Калинингр. Обл. | Калининград | 27.03.2021 | 15 |
| СЗ | Калинингр. Обл. | Калининград | 22.04.2021 | 16 |
| СЗ | Калинингр. Обл. | Калининград | 02.05.2021 | 15 |
| СЗ | Калинингр. Обл. | Калининград | 06.05.2021 | 15 |
| СЗ | Псковская обл. | Псков | 27.03.2017 | 15 |
| СЗ | Псковская обл. | Псков | 26.03.2017 | 15 |
| СЗ | Псковская обл. | Псков | 01.06.2017 | 17 |
| СЗ | Псковская обл. | Псков | 20.06.2017 | 16 |
| СЗ | Псковская обл. | Псков | 24.12.2017 | 15 |
| СЗ | Псковская обл. | Псков | 06.04.2018 | 15 |
| СЗ | Псковская обл. | Псков | 21.04.2018 | 15 |
| СЗ | Псковская обл. | Псков | 21.08.2018 | 17 |
| СЗ | Псковская обл. | Псков | 18.12.2018 | 18 |
| СЗ | Псковская обл. | Псков | 17.02.2019 | 17 |
| СЗ | Псковская обл. | Псков | 13.03.2019 | 15 |
| СЗ | Псковская обл. | Псков | 03.04.2019 | 18 |
| СЗ | Псковская обл. | Псков | 16.04.2019 | 17 |
| СЗ | Псковская обл. | Псков | 17.09.2020 | 16 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 02.06.2017 | 17 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 21.06.2017 | 15 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 22.06.2017 | 15 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 31.10.2017 | 15 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 08.01.2018 | 16 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 21.04.2018 | 19 |
| СЗ | Новгородская | В. Новгород | 19.05.2018 | 15 |

| | | | | |
|----|-------------------|-------------|------------|----|
| | обл. | | | |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 06.06.2018 | 17 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 19.06.2018 | 16 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 20.06.2018 | 17 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 19.07.2018 | 15 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 22.09.2018 | 16 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 26.09.2018 | 15 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 27.09.2018 | 17 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 20.01.2019 | 15 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 21.02.2019 | 16 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 09.03.2019 | 18 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 22.03.2019 | 15 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 31.03.2019 | 17 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 03.05.2019 | 16 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 11.05.2019 | 15 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 29.05.2019 | 16 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 28.07.2019 | 18 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 19.12.2019 | 21 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 21.01.2020 | 15 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 10.02.2020 | 17 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 17.02.2020 | 17 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 23.02.2020 | 17 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 13.03.2020 | 15 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 03.04.2020 | 24 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 14.04.2020 | 16 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 17.04.2020 | 18 |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 09.06.2020 | 25 |

| | | | | |
|----|--------------------|-----------------|------------|----|
| | обл. | | | |
| СЗ | Новгородская обл. | В. Новгород | 10.09.2020 | 18 |
| СЗ | Вологодская обл. | Вологда | 26.04.2017 | 17 |
| СЗ | Вологодская обл. | Вологда | 19.06.2017 | 15 |
| СЗ | Вологодская обл. | Вологда | 15.09.2017 | 17 |
| СЗ | Вологодская обл. | Вологда | 30.05.2018 | 17 |
| СЗ | Вологодская обл. | Вологда | 20.06.2018 | 15 |
| СЗ | Вологодская обл. | Вологда | 03.08.2018 | 18 |
| СЗ | Вологодская обл. | Вологда | 12.08.2018 | 15 |
| СЗ | Вологодская обл. | Вологда | 03.05.2019 | 16 |
| СЗ | Вологодская обл. | Вологда | 11.05.2019 | 15 |
| СЗ | Вологодская обл. | Вологда | 22.04.2020 | 16 |
| СЗ | Вологодская обл. | Вологда | 19.07.2020 | 18 |
| СЗ | Вологодская обл. | Вологда | 24.04.2020 | 15 |
| СЗ | Вологодская обл. | Вологда | 06.05.2021 | 18 |
| СЗ | Ленинградская Обл. | Санкт-Петербург | 06.08.2017 | 20 |
| СЗ | Ленинградская Обл. | Санкт-Петербург | 21.06.2018 | 15 |
| СЗ | Ленинградская Обл. | Санкт-Петербург | 09.03.2018 | 19 |
| СЗ | Ленинградская Обл. | Санкт-Петербург | 10.09.2018 | 17 |
| СЗ | Ленинградская Обл. | Санкт-Петербург | 18.05.2021 | 17 |
| СЗ | Ленинградская Обл. | Санкт-Петербург | 19.05.2021 | 15 |
| СЗ | Коми | Сыктывкар | 01.06.2017 | 17 |
| СЗ | Коми | Сыктывкар | 16.09.2017 | 15 |
| СЗ | Коми | Сыктывкар | 17.10.2018 | 16 |
| СЗ | Коми | Сыктывкар | 03.04.2020 | 17 |
| СЗ | Коми | Сыктывкар | 16.04.2020 | 15 |
| СЗ | Коми | Сыктывкар | 07.05.2020 | 17 |
| СЗ | Коми | Сыктывкар | 09.09.2020 | 17 |
| СЗ | Коми | Сыктывкар | 01.02.2021 | 16 |
| СЗ | Коми | Сыктывкар | 21.05.2021 | 16 |
| СЗ | Карелия | Петрозаводск | 26.01.2017 | 19 |
| СЗ | Карелия | Петрозаводск | 17.03.2017 | 18 |
| СЗ | Карелия | Петрозаводск | 26.04.2017 | 16 |
| СЗ | Карелия | Петрозаводск | 12.07.2017 | 17 |
| СЗ | Карелия | Петрозаводск | 09.10.2017 | 15 |
| СЗ | Карелия | Петрозаводск | 04.06.2018 | 15 |
| СЗ | Карелия | Петрозаводск | 20.06.2018 | 18 |
| СЗ | Карелия | Петрозаводск | 19.08.2018 | 15 |
| СЗ | Карелия | Петрозаводск | 12.09.2018 | 18 |
| СЗ | Карелия | Петрозаводск | 22.09.2018 | 15 |

| | | | | |
|----|-----------|--------------|------------|----|
| СЗ | Карелия | Петрозаводск | 22.10.2018 | 17 |
| СЗ | Карелия | Петрозаводск | 12.01.2019 | 15 |
| СЗ | Карелия | Петрозаводск | 24.06.2019 | 15 |
| СЗ | Карелия | Петрозаводск | 15.07.2019 | 15 |
| СЗ | Карелия | Петрозаводск | 13.09.2020 | 15 |
| СЗ | Карелия | Петрозаводск | 19.11.2020 | 19 |
| СЗ | Карелия | Петрозаводск | 19.05.2021 | 21 |
| СЗ | Карелия | Петрозаводск | 21.05.2021 | 18 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 20.01.2017 | 16 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 21.01.2017 | 18 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 06.05.2017 | 17 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 11.05.2017 | 15 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 13.12.2017 | 18 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 27.05.2018 | 15 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 22.08.2018 | 21 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 22.10.2018 | 19 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 18.11.2018 | 16 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 11.01.2019 | 15 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 17.02.2019 | 17 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 30.03.2019 | 23 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 11.06.2019 | 18 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 15.09.2019 | 18 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 26.10.2019 | 16 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 10.12.2019 | 16 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 23.02.2020 | 15 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 22.04.2020 | 17 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 23.04.2020 | 16 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 12.07.2020 | 18 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 22.09.2020 | 18 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 09.11.2020 | 17 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 06.04.2021 | 15 |
| СЗ | Арх. Обл. | Архангельск | 11.04.2021 | 15 |