



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**  
(бакалаврская работа)

На тему: «Местные ветры и особенности их географическое распределения»

Исполнитель Тастанов Мухтар Арманович  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель к.ф.-м.н., доцент кафедры МКОА  
(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

|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Введение.....</b>                                                                | <b>3</b>  |
| <b>1 Возникновение и распространение местных ветров.....</b>                        | <b>4</b>  |
| 1.1 Ветры с суточной периодичностью.....                                            | 4         |
| 1.1.1 Бризы.....                                                                    | 4         |
| 1.1.2 Горно-долинные ветры.....                                                     | 9         |
| 1.2 Нисходящие ветры.....                                                           | 13        |
| 1.2.1 Фены.....                                                                     | 13        |
| 1.2.2 Бора.....                                                                     | 24        |
| 1.3 Синоптические региональные ветры.....                                           | 36        |
| 1.4 Атмосферные вихри малых размеров.....                                           | 40        |
| <b>2 Особенности новороссийской боры.....</b>                                       | <b>46</b> |
| 2.1 Пространственные структуры поля ветра и температуры при боре. ....              | 46        |
| 2.2 Изменение температуры в зоне перехода суша – море.....                          | 50        |
| <b>3 Синоптические условия и образование экстремальной новороссийской боры.....</b> | <b>56</b> |
| 3.1 Исходные данные .....                                                           | 56        |
| 3.2 Повторяемость Новороссийской боры.....                                          | 58        |
| 3.3 Ветровой режим во время боры .....                                              | 64        |
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>                                                              | <b>68</b> |
| <b>Список использованных источников.....</b>                                        | <b>71</b> |

## **Введение**

Местные ветры - это ветры, которые несколько отличаются от основного характера общей циркуляции атмосферы, но, как и постоянные ветры, они, естественно, повторяются и оказывают заметное влияние на погодный режим в ограниченной части ландшафта или акватории. Изучение особенностей местных ветров является важной задачей не только с научной, но и с практической целью. Это объясняется тем, что опасные проявления местных ветров могут представлять значительную опасность для многих видов производственной деятельности. Именно этим объясняется актуальность представленной работы.

К местным ветрам относятся бриз, которые меняют своё направление два раза в сутки, горно-долинные ветры, фён, бора, суховей, самум и многие другие. Возникновение местных ветров связано главным образом с разностью температурных условий над крупными водоемами «бризы» или горами, их простираанием относительно общих циркуляционных потоков и расположением горных долин «бора, фён горно-долинные», а также с изменением общей циркуляции атмосферы местными условиями «самум, сирокко, хамсин». Некоторые из них по существу являются воздушными течениями общей циркуляции атмосферы, но в определенной области они обладают особыми свойствами, и поэтому называются местными ветрами и дают им свои названия.

Целью представленной работы являлось изучение Новороссийской боры.

Перечислим задачи исследования:

1. Изучение особенностей местных ветров и их распространение по земному шару.

2. Особенности Новороссийской боры

3. Условия образования экстремальной Новороссийской боры.

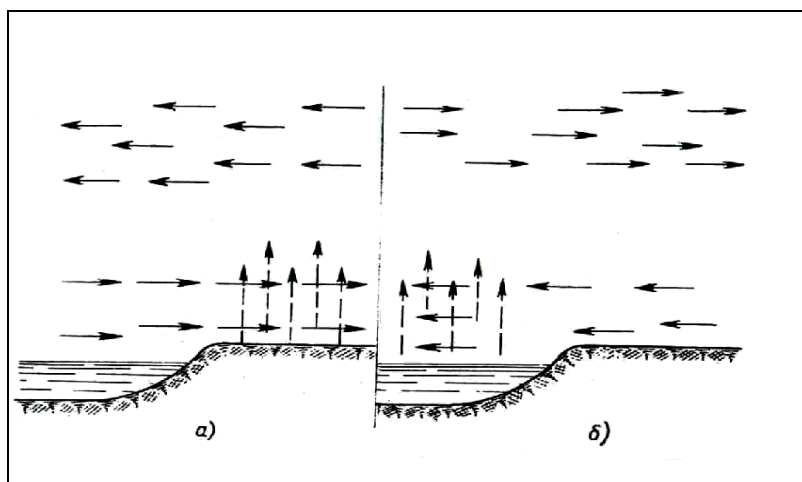
Представленная работа состоит из введения, трех глав и заключения, представлен список литературы, использованной при выполнении работы. Во введении сформулированы актуальность, цель и задачи проводимой работы. В первой главе рассматриваются особенности местных ветров и их распространение по земному шару. Во второй главе подробно рассмотрены условия возникновения Новороссийской боры. В третьей главе рассмотрены условия для экстремальной Новороссийской боры. В заключении сформулированы основные выводы проведенного исследования.

## 1. Возникновение и распространение местных ветров

### 1.1. Ветры с суточной периодичностью

**1.1.1. Бризы.** Существуют много локальных обусловленных или локальных ограниченных ветров, носящих местные наименования. Среди местных ветров обособленную группу образуют морские и береговые бризы, а также горно-долинные ветры. Причиной их возникновения является суточный ход нагревания и охлаждения подстилающей поверхности.

Наиболее простой процесс возникновения ветра часто можно наблюдать летом у берега моря в ясную и тихую погоду (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема возникновения бриза: направление движения воздуха днем (а) и ночью (б).

Стрелками обозначены направления вертикальных и горизонтальных движений воздуха на море

Днем обычно приятный свежий ветер дует на берег, ночью, наоборот, ветер направлен с берега на море. Эта особенность ветра на морском побережье объясняется различием в скорости нагревания и охлаждения воздуха над сушей и морем. Днем поверхность суши, а, следовательно, и прилегающие к ней слои воздуха нагреваются быстрее, чем море и воздух над ним.

Поэтому создается разность между температурой воздуха над сушей и морем. Воздух над сушей, как более теплый и относительно легкий, поднимается вверх, а на его место устремляется более холодный воздух с моря. Ночью, наоборот, воздух над сушей охлаждается быстрее, чем над теплой водой. Поэтому воздух с берега устремляется на море, чтобы занять место поднимающегося здесь более теплого воздуха.

Ветер с моря приходит около 10 час. утра. Ему предшествует так называемый *пляжный ветер* (малый морской бриз, по Конраду). В северных широтах, где солнце летом восходит рано, смена берегового бриза на морской может происходить и в более ранние часы. В тропиках, с их почти постоянной 12-часовой продолжительностью дня, ветер с моря обычно начинает дуть не ранее 10 час. Он начинается спустя три часа после восхода солнца, а прекращается за два часа до захода. Утром смена ветра происходит сравнительно быстро и с высокой степенью постоянства. При градиентном потоке, направленном с суши, порывы ветра могут иметь характер шквалов холодного фронта, и появление ветра противоположного знака запаздывает. В послеполуденные часы смена морского бриза на береговой растягивается

на более длительное время – вплоть до захода солнца. При этом пропадает и постоянство направления ветра. В ночные часы, когда поверхность суши выхолаживается сильнее, чем поверхность воды, циркуляция противоположна дневным условиям, благодаря тому, что ночью разница температур поверхностей суши и моря меньше, чем днем, и в результате большего трения над сушей ночной береговой бриз гораздо слабее и менее устойчив по направлению. Он достигает максимума прохладным утром при восходе солнца. Начинается же он, спустя два-три часа после захода солнца и заканчивается чрез два-три часа после восхода. Неравноценность ветра с моря и ветра с суши особенно бросается в глаза в середине лета в средних и высоких широтах, что связано с уменьшением «в направлении к полюсу» продолжительности ночи. Различие между двумя составляющими циркуляции проявляется как в их вертикальной мощности, так и в горизонтальной протяженности. В средних широтах морской бриз имеет максимальное развитие в высоту порядка 500 м, обычно же он простирается вверх на 200 – 300 м, в тропиках – 1 – 2 км. Вертикальная мощность берегового бриза составляет примерно лишь треть этих величин. В умеренных широтах ветер с моря проникает на 20 – 30 км в глубь суши в тропиках – на 50 – 65 и даже 100 км. Береговой бриз заходит и море не более чем на 9 км у побережья Англии – на 10 – 15 км. Ширина областей воздействия обоих ветров в полосе их зарождения приблизительно одинакова. Ветры с суточной периодичностью наблюдаются и на берегах больших внутренних озер (например, на Боденском озере, хотя и в более слабой форме). С другой стороны, острова удаленные от континентов, могут создавать свою собственную бризовую циркуляцию.

В субтропиках, по крайней мере, летом, преобладает антициклональный тип погоды, способствующий беспрепятственному поступлению солнечной радиации. Для этой зоны ветры с моря и с суши – явление в высшей степени характерное, регулярное и устойчивое. Бризы имеют большую вертикальную мощность (1000 – 1600 м) и значительный радиус действия по горизонтали. Морской бриз может здесь быть не только свежим ветром, но и достигать штормовой силы. Он улучшает климат субтропических портов, поскольку умеряет дневное повышение температур и своим вентилирующим действием способствует понижению температуры кожи. Он играет важную климатическую роль во всей Средиземноморской области. На побережье Каталонии ветер с моря, носящий здесь название «*маринада*», появляется уже в начале марта. Число дней с ним составляет в марте – 30%, в начале июня – 82, в конце июня – 91 и в конце октября – все еще 36% общего числа дней.

В засушливом субтропическом Западном Пакистане (станция Карачи) даже в самый прохладный месяц инсоляция настолько велика, что повторяемость ветра с моря равна в октябре – ноябре 8 – 9%. За период с мая по сентябрь она возрастает до 100%. иными словами – морской бриз дует здесь ежедневно. По Раманатану, его вертикальная мощность достигает, по меньшей мере, 1000 – 1500 м, а в период летнего максимума – даже 2000 м. Его сила составляет 8 – 10 узлов, в период максимума – 15 узлов. Однако здесь следует помнить, что в Западном Пакистане летний морской бриз имеет общее с градиентным ветром направление или лишь слегка от него отклоняется. Поэтому часто он воспринимается лишь как дополнительное усиление. Наоборот, ветер с суши ослабляется. В засушливую зиму верны обратные соотношения. В среднем воздух движется с суши, и поэтому



дневной ветер с моря способен перекрыть общее направление лишь изредка. Хорошим примером может служить морской бриз у побережья Сенегала с его поздним началом в послеполуденные часы. Этот ветер должен перекрыть дующий ему навстречу северо-восточный пассат; поэтому он не только запаздывает, но иногда начинается в несколько этапов.

Таким образом, морской бриз в одном случае преодолевает дующий ему навстречу градиентный ветер, а в другом он всего лишь усиливает ветер, направленный в ту же сторону. Во втором случае бриз, естественно, начинается раньше. Эффект взаимного дополнения может возникнуть при соответствующих синоптических ситуациях и в умеренном климате.

Морской бриз во влажных тропиках – также регулярное явление большой вертикальной мощности, силы и устойчивости. Наибольшего развития он достигает в августе – сентябре, когда амплитуды суточного хода температуры становятся максимальными, а рисовые поля сухими и могут быстро прогреваться, так как поступающее тепло не тратится на испарение. Именно испарение препятствует формированию морского бриза над заболоченными территориями лагунами или выдвинутыми в море островами. Морской бриз в Джакарте начинается между 10 и 11 час. достигает наивысшей интенсивности и мощности между 14 и 17 час. К этому времени он охватывает слой воздуха высотой 1100—1400 м. Ветер с суши, напротив, здесь слаб и маломощен. Примечательна его повторяемость. В период дождей она превышает 80%, а в сухое время года составляет лишь 70 – 80%. Такая регулярная смена ветра имеет большое значение в жизни рыбаков индонезийского побережья: ночью она отплывают с попутным ветром в море, а днем, подгоняемые морским бризом, возвращаются домой.

К системам бризовой циркуляции относится также *высотное компенсационное течение*. Днем оно направлено от суши и располагается выше бризового потока с моря. Этим обуславливается понижение давления над сушей и повышение его над морем, что приводит к возникновению морского бриза. Ночью устанавливается циркуляция обратного знака. Она имеет аналогичный пусковой механизм, но происходит на меньших высотах, в направлении с моря на сушу. Часто можно также наблюдать скопление кучевых облаков, возникающих как следствие питаемой влажным морским ветром конвекции над прибрежной частью суши. В поздние послеполуденные часы облака исчезают. Наиболее хорошо это явление там, где морской бриз особенно мощен и силен.

### **1.1.2. Горно-долинные ветры**

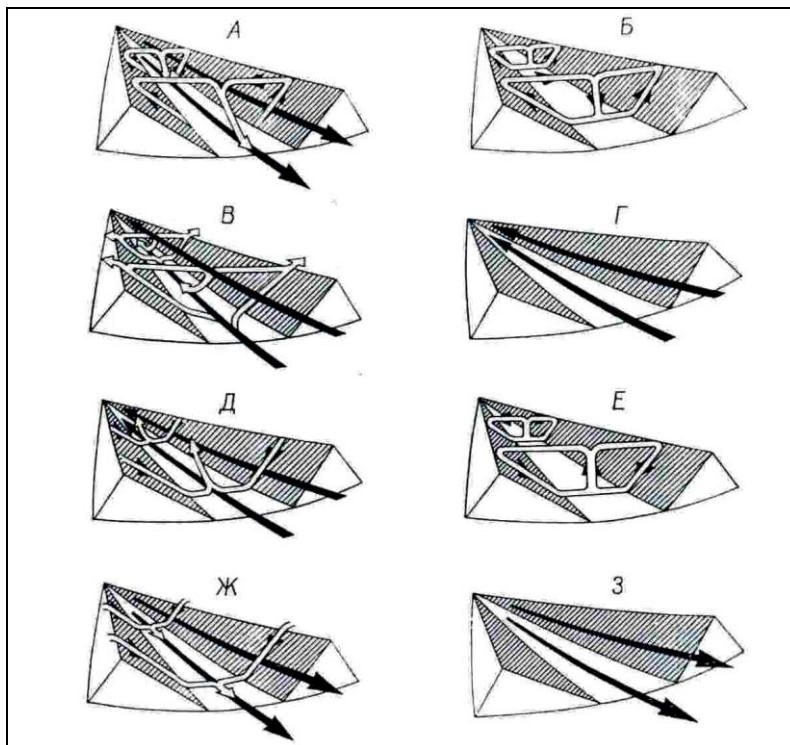
Бризовой циркуляции в принципе родственна имеющая аналогичный термический генезис, те же масштабы и ту же 24-часовую периодичность смена *горно-долинных* ветров. С ней приходится сталкиваться в горных районах при сильно расчлененном рельефе и не только в Средних широтах «Альпы», но и в горах субтропической зоны, где эта циркуляция развита особенно сильно (например, на Памире и в Абиссинии). Ее возникновению также благоприятствует спокойная солнечная антициклоническая погода. На гористых тропических островах «Самоа» может наблюдаться сочетание морского бриза со склоновым ветром или берегового бриза с горным ветром. В таких случаях циркуляция достигает особой силы.

Вагнер в ряде исследований это явление разделил на три самостоятельных процесса:

1) *склоновые ветры* на отдельно стоящих горах или гребнях гор (днем – вверх по Склону, ночью – вниз); они приводят к дневной конденсации;

2) *компенсационные ветры* между высокими плато и низменностями;

3) *собственно горно-долинные ветры*, обычно сопровождаемые склоновыми ветрами, при которых возникает замкнутая циркуляция с против течением на высотах. В случае 2 компенсационное высотное течение отсутствует, и выравнивание обеспечивается полусуточным чередованием ветров .



**Рис. 2.** Схема горно-долинных ветров в Альпах

Горно-долинные ветры возникают подобно морскому бризу (рис. 2). Днем они направлены из долины вверх по горным склонам, а ночью, наоборот, с гор в долины. Это вызвано неодинаковым нагреванием и охлаждением гор и долин, днем воздух над горными склонами, нагреваясь, имеет более высокую температуру, чем воздух на тех же высотах над

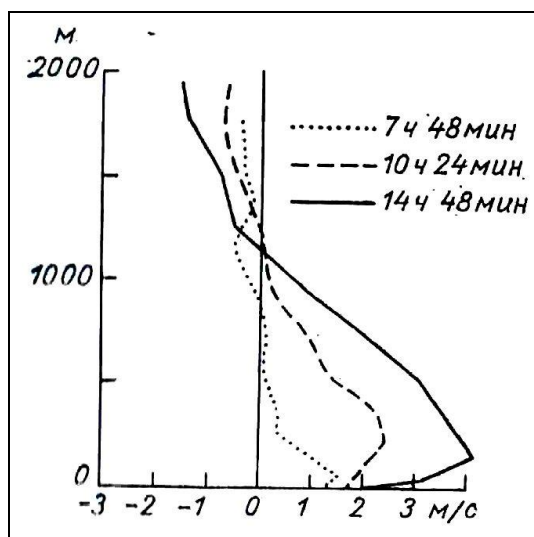
долиной. Поэтому воздух над склонами, как более легкий, поднимается вверх, а воздух со стороны долин устремляется на склоны гор. Ночью, наоборот, склоны гор охлаждаются больше, чем воздух над долинами. Поэтому более холодный воздух с гор устремляется в долины.

В средних широтах горно-долинные ветры наблюдаются летом при тихой погоде до высоты 1 – 3 км. Скорость их обычно не превышает 3 – 5 м/сек. Но в редких случаях, при определенном рельефе и состоянии атмосферы, скорость горно-долинного ветра может достигать 6 м/сек и более. При ненастной погоде горно-долинные ветры не наблюдаются, так как они нарушаются циркуляцией атмосферы более крупного масштаба.

Если долинный ветер при подъеме переваливает через сравнительно невысокий хребет, за которым горная страна продолжается, повышаясь, то в следующей за перевалом долине ветер продолжает дуть в первоначальном направлении, то есть вниз, по долине. Они дуют здесь круглые сутки в одном и том же направлении вдоль долины Энгадин. Таким образом, они не соответствуют указанным выше критериям для горно-долинных ветров лишь внешне.

Как это видно из последовательности фаз, долинный ветер начинается около 9 часам в самых низких местах, но одновременно по всей долине. К 10 часам он уже охватывает максимальный слой своего распространения высотой 700 – 800 м. Однако его скорость продолжает устойчиво возрастать и достигает предельных значений к 15 – 17 час. Наибольшие скорости наблюдаются приблизительно на высоте 200 м над дном долины, что объясняется влиянием трения о подстилающую поверхность в слое, расположенном в непосредственной близости к почве (рис. 3). Ночной *горный ветер* обычно слабее, но его вертикальная мощность не меньше, чем у

долинного ветра. В местах сужений или там, где долина открывается в сторону предгорья, заполненного теплым воздухом, ветер часто достигает и больших скоростей. В долинах с крутыми склонами, направленных с запада на восток, могут развиваться в поперечные ветры, дующие от затененного склона к склону, освещенному солнцем.



**Рис. 3.** Профили скоростей долинного ветра в Цейском ущелье в различное время суток

Что касается отдельно стоящих не рассеченных долинами гор, то местная циркуляция проявляется здесь в том, что днем к вершине направлены со всех сторон склоновые ветры, вызывающие образование над нею, венца кучевых облаков. Такой режим особенно характерен для вулканических конусов во влажных тропиках (Ява).

В климате Средней Европы долинны ветры развиваются лишь летом и преимущественно в дни с интенсивной радиацией. В июле – августе в Зальцбурге такие случаи составляют 25% всех наблюдений. В теплых

климатах с сезонным увлажнением горные ветры возникают чаще в сухой период и дуют с большой регулярностью. Даже в альпийских долинах они могут стать причиной ветровой деформации крон деревьев.

Термическое происхождение имеют также такие микромасштабные циркуляции, как *лесной* и *полевой ветры*. Днем лесной массив прохладнее, а ночью теплее, чем соседнее с ним открытое поле. Сюда относится и так называемый *городской бриз*, особенно ощутимый ранним утром, когда возникает перенос воздуха к более теплomu центру от окраин.

Ветры с суточной периодичностью играют значительную роль в климате тропических гор и влияют на характер растительного покрова. Выше уже указывалось, что эти ветры, по сути дела, представляют собой характерную особенность термически обусловленного суточного хода климата в тропиках.

Речь идет о термически обусловленных ветрах конвекции (склоновых), при которых формируются дополуденные кучевообразные облака, и о ночной тенденции оседания, способствующей размыванию облаков.

## 1.2. Нисходящие ветры

1.2.1. Фёны. Наряду с ветровыми системами с суточной повторяемостью особый климатологический интерес представляют системы, возникающие не периодически, но в четкой зависимости от форм рельефа. Такие ветры способны создать на ограниченных пространствах микро мозаику климатов. Правда при этом вовсе не обязательно, чтобы воздушное течение переваливало через горную цепь, преграждающую ему путь; однако оно всегда испытывает, по крайней мере, частичное отклонение – вынуждено обтекать препятствие или менять направление в соответствии с ним. Если

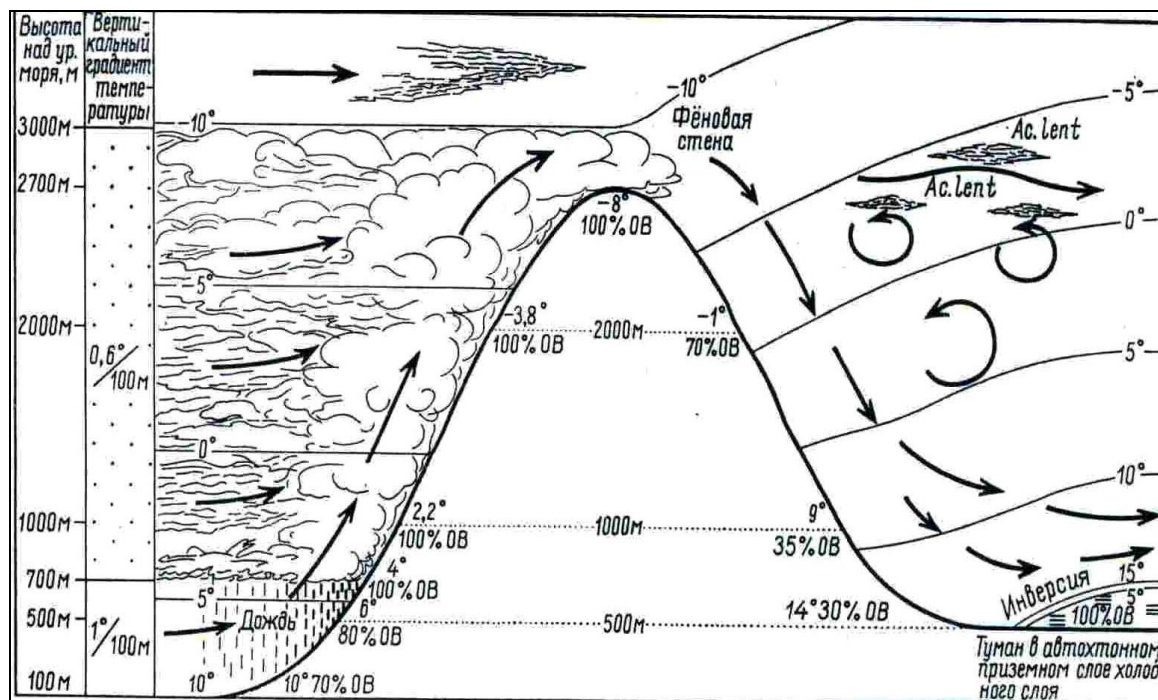
горная цепь имеет большое протяжение, а барический градиент достаточно велик, то воздух вынужден преодолевать препятствие. При этом возникают характерные течения на подветренной стороне, носящие общее название нисходящих ветров .

Фён – это теплый и сухой ветер, дующий со стороны гор в долины. Такие ветры имеют продолжительность от нескольких часов до нескольких суток. Хотя фёны наблюдаются в определенных районах и относятся к местным ветрам, они, в противоположность горно-долинным ветрам, возникают лишь в тех случаях, когда мощные воздушные течения, вызванные макроциркуляционными процессами, переваливают через горный хребет средней высоты. Скорости фёнового ветра бывают значительны и нередко достигают 20 – 25 м/сек.

Сравнительно высокая температура воздуха при фёнах определяется адиабатическим нагреванием его при опускании с вершины хребта в долину. Температура воздуха на одних и тех же высотах на наветренной стороне заметно ниже, чем на подветренной. Это объясняется тем, что на наветренной стороне вертикальный градиент температуры меньше адиабатического. Переваливая через хребет и опускаясь на противоположной стороне в долину, воздух нагревается по адиабатическому закону. Фёны часто наблюдаются в горах Кавказа, Средней Азии, Алтая, в Альпах, Скалистых горах и других горных районах земного шара. В зависимости от времени года температура воздуха бывает разная. Летом она может повыситься до 35 – 40° и более при относительной влажности 10 – 20%. Иногда при фёнах температура в долине возрастает очень быстро. За несколько часов она может повыситься даже на 30 – 40°. На Кавказе фёны

наиболее часты в Рионской долине. Здесь они наблюдаются в среднем более 100 дней в году .

Классическим примером является альпийский южный фен (рис. 4) Впервые механизм его действия правильно разъяснил Ханн, исходящий при этом из идей Эспи. Синоптическая обстановка, при которой возникает фён, такова. Отрог высокого давления располагается над северной Италией ("фёновый изгиб") и над Центральными Альпами.



**Рис. 4.** Схема южного фена в Альпах

Область низкого давления перемещается с Британских островов или с Бискайского залива по направлению к центральным областям Европы. Над ними при наблюдающемся обычно в таких ситуациях падении давления возникает общее южное течение, распространяющееся от Северной Италии до Средней Европы. Иногда этот поток смыкается с *сирокко*, дующим из



Северной Африки. Это подтверждается осадками и явлением помутнения, вызванного пылью пустынь Сахары, имеющей окраску от желтой до красной. Отсюда название мощного фёна в Швейцарии – Dimmerfohn. Следовательно, после того как произойдет сток вниз холодного воздуха, заполняющего долины и предгорья, южный поток приносит более теплые воздушные массы. Их слои, наиболее близкие к земной поверхности, в конечном счете, оказываются вынужденными подниматься вверх, вдоль южных Склонов Альта. Это приводит к образованию облаков и распространению их до гребня Центральных Альп и к выпадению обильных осадков. При переходе к северным склонам, облачность, носящая название "фёновой стены", обычно резко обрывается. В северных долинах и предгорьях Альп ее сменяет ясная теплая фёновая погода с аномальной дальностью видимости. Для нее типичны фёновые просветы в облачности, чечевицеобразные остатки облаков. Стационарные облака – признаки стоячих фановых волн – или совершенно ясное небо.

Нисходящее движение этого адиабатически нагретого воздуха в подходящих для него долинах, как, например, Виппталль под Инсбруком, связанное со шквалистыми порывами, возникает, прежде всего, в верхних частях долин (где, следовательно, фён господствует наиболее длительное время) и представляет известные трудности для объяснения. Во всяком случае, фёновый поток при этом движется рывками, поскольку сначала должен произойти отток весьма устойчивого холодного воздуха из долин и предгорий. Вначале предполагали, что отсасывание холодного воздуха из долин обуславливается в первую очередь усилением барических градиентов «теория Бильвиллера». Тем самым фён рассматривался как продвигающийся толчками сходящий ветер, которому, так сказать, уступает место уходящий

холодный воздух. Другие исследователи, основываясь на шаропилотных данных, пришли к выводу, что при усилении барических градиентов южный ветер создает своего рода эффект отсасывающего вентилятора. Иначе говоря, предполагалось что фён сам является действующей частью механизма, наконец, Фиккер дал объяснение, объединяющее эти две теории и широко принятое сегодня. Он различал три стадии фёна:

1) *антициклональную предварительную*: плотный холодный воздух медленно растекается в долинах, на высотах – сильное адиабатическое прогревание воздуха;

2) *антициклональную фёновую*: сухой теплый воздух опускается с вершин в долины - прорыв фёна;

3) *стационарную фёновую*: максимальная температура в долинах, несколько повышенная относительная влажность, восходящий подпор и осадки на южной стороне с образованием фёновой стены.

Однако не следует слишком обольщаться таким разъяснением, поскольку проявления фёна очень разнообразны. В частности, Вальтер, изучив условия, типичные для Швейцарии, предложил следующую классификацию:

I. Циклонический фён (депрессия расположена севернее или южнее Альп, так что барический градиент направлен по меридиану).

А. Северный фён (низкое давление южнее Альп).

Б. Южный фён (низкое давление севернее Альп):

а) фёновая погода, фёновые прояснения (при слабых градиентах);

б) фён альпийских долин, жестокий фён (при градиентах от средних до больших);

в) диммерфён в альпийских долинах, фён альпийских предгорий в швейцарском среднегорье (при больших, быстро меняющихся градиентах).

II. Антициклональный фён (гребень высокого давления над Альпами, погода обычно лишь слабо феновая, с малыми скоростями ветра. В среднегорье частое образование озер холодного воздуха» с высоким туманом над ними).

Для южного фёна северных альпийских долин характерны порывистость ветра, сухость и высокие температуры воздуха. Эти свойства благоприятствуют таянию снега, высушиванию почвы, созреванию урожая. Фён имеет также и многие другие физические и географические следствия (лавины, повреждения от сильного ветра, опасность пожаров, возможность выращивания теплолюбивых культур, например маиса в Эцтальских Альпах, проникновение в горы субсредиземноморских растений). Значение фёна как «пожирателя снегов» особенно возрастает зимой и весной.

Годовая повторяемость дней с феном в Северных Альпах составляет 70 – 125 дней (на высотах от 660 до 1960 м). Есть тенденция к увеличению повторяемости дней с фёном в некоторые сезоны. Например, в Инсбруке в марте и в апреле наблюдается около 6 дней с фёном, а в летние месяцы – лишь 1 – 2 (при сумме за год 42 дня). В Швейцарии южный фён наблюдался преимущественно в марте — апреле и сентябре – октябре. Однако, как это явствует из приведенной выше классификации Вальтера, барический градиент, возбуждающий фён, может возникать при многих синоптических ситуациях независимо от сезона. Происхождение этих ситуаций, как и предшествующие им в последующие пути перемещения барических систем, могут быть чрезвычайно разнообразными. Так, северный фён имеет

максимальную повторяемость весной. Факт неожиданный, ибо синоптическая ситуация, способствующая его возникновению, должна быть противоположна той, которая существует при южном фёне. Это обстоятельство позволяет сделать вывод, что определяющими в этом процессе являются не только синоптические условия, но и структура самих воздушных масс и ее изменения в течение года, особенно когда это касается порывистости ветра.

Кроме того, альпийский фён приносит с собой теплый южный воздух из Средиземноморья, который при соответствующих обстоятельствах пересекает море в виде сирокко африканского происхождения. Все это делает понятными высокие температуры в альпийских предгорьях хотя процесс динамического нагревания действует здесь не в полную силу, так как напротив долины. Если бы северные альпийские предгорья располагались бы на той же высоте, что и южные, то нагревающее действие фёна было бы еще на  $5 - 6^\circ$  больше.

Обратную картину дает *северный фён*, впервые описанный Вильдом в 1868 г. и называемый итальянцами "тедеско". Он оказывает меньшее феновое воздействие. Это объясняется тем, что в соответствии с характером создающих его синоптических процессов в его образовании, как правило, принимают участие более холодные воздушные массы, которые приходят из более северных широт – даже если это всего лишь холодный воздух из баварских предгорий Альп. Нагревание воздушных масс не достигает того порога, после которого человек начинает воспринимать фён как теплый воздушный поток. Тем не менее, в соответствии со схемой фёна в Северных Альпах возникает запруживание облачности, образуются фёновые разрывы и окна. Над Инзубрскими озерами или в Эцтале в Южном Тироле облачность

может вообще отсутствовать. Все это создает маловажную динамическую составляющую весеннего климата Южных Альп.

### **Нисходящие ветры фенового характера**

Широко распространены нисходящие ветры фенового характера. Их можно встретить даже в небольших горах, таких как Крконоше, или в относительно низких горах Скандинавии в Северной Европе. Доккен указывал на существование феновых эффектов при западных ветрах в районе Осло. При этом он отметил, что зимой над самим фьордом сохраняется холодный приземный воздух.

У восточного подножия Скалистых гор в Северной Америке наблюдается "*чинук*". Это сухой, теплый западный ветер. Зимой он приводит к исчезновению и без того скудного снежного покрова на предгорных равнинах и тогда оказывается возможным обрабатывать их даже в это время года. Разумеется, по сравнению с альпийским фёном, чинук, будучи западным ветром, имеет большую повторяемость, поскольку его направление в известной мере совпадает с нормальным западным переносом воздушных масс в пределах внетропической зоны над Северной Америкой. С другой стороны, в нем в большинстве случаев участвуют тихоокеанские воздушные массы от умеренно-теплых до холодных. При неоднократном пересечении высокогорных областей они зимой испытывают существенное дополнительное охлаждение, которое вначале нейтрализует приток тепла конденсации; лишь позднее они приобретают черты чинука. Достигая восточных склонов гор и подвергаясь здесь в результате сжатия при

опускании сильному динамическому нагреванию. При этом температуры, как правило, поднимаются выше точки замерзания, отчего маломощный снежный покров быстро исчезает. Однако резкий скачок температуры при чинуке в большей степени является следствием того обстоятельства, что он вытесняет господствовавший над этим районом до вторжения чинука экстремально холодный континентальный воздух. Зимой в Монтане повышение температуры при чинуке часто достигает  $22^{\circ}$  за сутки. По данным Берроуза, в 1896 г. в Киппе «Канада» была зарегистрирована волна тепла с повышением температуры на  $26^{\circ}$  в течение 7 минут (от  $-25^{\circ}$  до  $+1,1^{\circ}$ !). Следующее различие между фёном и чинуком состоит в том, что фён – явление исключительно предфронтальное, в то время как чинук может наблюдаться как одновременно с прохождением фронта, так и в его тылу. По этой причине летом чинук не столь ощутим, поскольку располагающиеся до его прихода на равнинах массы континентального воздуха оказываются в соответствии с радиационными условиями весьма прогретыми, чинук же приносит с собой умеренно теплый воздух морского происхождения. Правда, проходя над высокогорными котловинами, этот воздух становится несколько теплее, но отнюдь не всегда после сброса со Скалистых гор он получает температуры выше тех, которые господствовали здесь до его прихода.

Предфронтальные фёнообразные ветры наблюдаются также вдоль западного склона чилийских Анд. При приближении с запада циклонического возмущения, формирующиеся над Аргентиной сухие континентальные воздушные массы переваливают через горы и спадают вниз в виде сухих нисходящих ветров ураганной силы, носящих местное название "*пуэльче*". Там, где склоны высоких гор покрыты отложениями

вулканического пепла, эти ветры выбрасывают пепел в воздух, что приводит к резкому снижению видимости.

Подветренные ветры типа Чинук характерны и для восточных предгорий южноамериканской Кордильеры, особенно в Аргентине, где их называют "зонда". Их называют "бохорок" - сухой западный ветер к востоку от влажной и теплой Суматры. Очаги предпочтительного возникновения местных ветров располагаются преимущественно в субтропических областях с сильно расчлененным рельефом и резко изрезанной береговой линией. Таково, например, европейское Средиземноморье. Многочисленность населяющих эту область народов способствует тому, что один и тот же ветер в разных местностях здесь называют по-разному.

Иссушающе горячи летние нисходящие ветры, дующие с жарких нагорий. В Ливии это «*гибли*», в Тунисе – «*чили*», в Марокко – «*черги*» и «*сарат*», а частично также и *сирокко*, поскольку на логе Средиземного моря он переваливает через горы. Сирокко – итальянское название сильного южного или юго-западного ветра, зарождающегося в Сахаре и подобных областях Северной Африки и Ближнего Востока. Обычно считается, что сирокко – это сухой ветер с высокой температурой и низкой относительной влажностью, однако, в некоторых районах Средиземноморья он является тёплым влажным морским ветром.

Сирокко зарождается в глубинах аравийских и североафриканских пустынь. Он возникает в тёплых, сухих, тропических воздушных массах, которые двигаются на север в направлении низкого давления к востоку через Средиземное море. Горячий сухой континентальный воздух смешивается с более холодным, Влажным воздухом морского циклона, и, двигаясь против часовой стрелки, перемещается к южному побережью Европы. По пути через

Средиземное море он становится более влажным, но, тем не менее, часто иссушает растительность юга Европы, принося к тому же большие массы пыли.

Сирокко служит причиной пыльной, сухой погоды вдоль северного побережья Африки, штормов в Средиземном море и холодной, влажной погоды в Европе. Он вызывает сухие туманы и пыльную мглу.

Сирокко может продолжаться и полдня, и множество дней. Наиболее сухим сирокко является на северном побережье Сицилии. Там это – нисходящий горный ветер типа фена. Зачастую из-за него температура поднимается выше 40°, а относительная влажность становится менее 30 %. Сирокко оказывает иссушающее влияние на растительность многих районов европейского Средиземноморья. Также сухим ветром он является на севере Африки.

Влажным теплым морским ветром сирокко является на западном побережье Апеннинского полуострова, на прилегающих к нему равнинах в районе Рима и Неаполя, а также на северном побережье Адриатики. На восточном побережье Адриатического моря в холодное полугодие тёплый влажный сирокко, приносящий с юго-востока дожди, чередуется с сухим холодным ветром бора, дующим с северо-востока.

Сирокко возникает во все времена года, летом – реже, весной и осенью – чаще. Наибольшей силы он достигает в марте и ноябре, развивая скорость до 100 км/ч (55 узлов – сила урагана). Однако на адриатическом побережье Италии и Хорватии считается ветром умеренной силы. Здесь сирокко обычно создает длинные бесшумные волны без пены, которые сильно ударяют в берег, а затем с шорохом возвращаются в море.



Пыль, принесенная сирокко, может портить механические приборы и попадать в жилые помещения. Сирокко вреден для здоровья вне зависимости от того, влажный он или сухой. Часть сирокко вызывает нервные расстройства, головные боли, невралгии, слабость, нарушение сна, повышенную раздражительность и т. д. Сирокко – это итальянское название, в то время как в Хорватии он именуется «*юго*». Сирокко, дующий на юге Франции более влажен и известен как фр. *marin*.

Очень интенсивным фёновым прогреванием отличаются так называемые *горные ветры* в Южной Африке – нисходящие ветры, идущие с Высокого Велда Зимой Южного полушария эти ветры обуславливают самые высокие в году адвективные температуры. При этом суммируются три фактора: динамическое нагревание при опускании, предфронтальное опускание при дивергенции и адвекции очень теплого континентального воздуха из субтропических внутренних частей страны. Эти ветры не имеют никакого генетического родства с наблюдающимися в Средней Европе ночными горными ветрами. К их числу относится также дующий из Афганистана на Туранскую низменность ветер «*афганец*». Афганец – местный юго-западный ветер в верховьях Амударьи. Афганец отмечается 30 – 70 суток в году, несет много пыли.

Фёнообразный характер имеют в Клагенфуртской котловине падающий с хребта Караванке теплый ветер «*яук*», а в предгорьях французских Пиренеев ветры «*отан*» и «*испанский ветер*». Фёнообразные ветры, хотя и менее теплые, наблюдаются также на обрывистых побережьях Гренландии и Норвегии. В южной Гренландии они имеют особое значение для овцеводства.

### **1.2.2. Бора**

Нисходящие ветры, при которых эффект динамического нагревания способен заметно повысить первоначальные низкие температура воздуха, называются «бора». Это название они получили в Далмации, на побережье которой они особенно типичны. Но *холодные нисходящие ветры*, подпадающие под это родовое название, нередки и в других районах, например на Южном берегу Крыма и на Черноморском побережье Кавказа у Новороссийска.

В типичном проявлении *далматинская бора* – явление зимнее. Зимой она захватывает всю полосу далматинского побережья – от Триестского залива до Сплита. Летом она наблюдается реже и обладает меньшими термическими контрастами. В это время года она носит название "борино". Синоптически бора связана с перепадом давления в направлении от области Динарского Карста к Адриатическому морю. В зависимости от того, какая барическая система – область низкого давления над Адриатикой или высокого давления над Карстом – лучше выражена, бора развивается в циклонической или в антициклонической форме. В первом случае преобладает пасмурная погода с дождями, захватывающая также и море. Во втором случае мощная гряда облаков, сравниваем разве с фёновой стеной в Центральных Альпах, располагается над горами Карста. В то же время на побережье царит ясная погода. Однако при каждом из двух типов боры после коротких пауз затишья возможны внезапные шквалистые порывы восходящего ветра, связанные с мгновенным повышением давления на 4 мм. Их называют "реффоли". Словно кнутом, ударяют они по прибрежным, густо усыпанным островами водам. Они парализуют судоходство и сильно угнетают и без того скудную растительность на закарстованных склонах в островах. Плешивость побережий если не в первую очередь (вырубание

лесов), то, по крайней мере, во вторую обуславливается (или усиливается) воздействием боры. Хотя бора и является нисходящим ветром, на далматинском побережье она создает резкое похолодание, поскольку низкие температуры, присущие зимою воздуху в словенско-хорватском Карсте, не могут быть полностью компенсированы эффектом сжатия. Кроме того, до начала боры над Адриатикой обычно располагается теплый воздух, чему способствует теплая подстилающая водная поверхность. Похолодание при боре особенно заметно в тех случаях, когда ей предшествует сирокко, приносящий теплый воздух с юга. Бора в Далмации и причиняемые ею повреждения – основная причина невозможности произрастания здесь таких средиземноморских растений, как оливковые деревья или цитрусовые. Они встречаются лишь в совершенно защищенных уголках западной Истрии или на удаленных от побережья островах .

Сильные ветры типа боры наблюдаются на озере Байкал . Байкал со всех сторон окружен горными хребтами, которые оказывают существенное влияние на климат, в частности, на формирование воздушных потоков. Определяющим фактором является наличие окружающих Байкал межгорных котловин, температура в которых значительно отличается от температуры в главной котловине – байкальской. Наибольшая разница температур имеет место осенью, она достигает 30-40 градусов, что приводит к значительному перепаду давления и возникновению мощных воздушных потоков.

Средняя ветровая нагрузка на Байкале зависит от географического положения, времени года и времени суток. Наиболее благоприятный сезон именно тот, который нас больше всего интересует, – лето. В июне-июле 80% времени приходится на штиль или слабый ветер (высота волны не превышает 0.5 м). Наиболее часто сильные ветры случаются осенью, к примеру, в

районе острова Ольхон в октябре-декабре сильный ветер в среднем дует 58 дней из 100.

В течение суток самое спокойное время – два-три часа после восхода солнца и примерно столько же перед закатом. Штиль продолжительностью в световой день случается редко. О продолжительности штиля может дать представление приведенный ниже рисунок с розами ветров в разных местах побережья.

Байкальский ветер имеет свойство усиливаться вблизи мысов. Даже в полный штиль напротив мысов может дуть небольшой ветерок, а в ветреную погоду увеличение скорости ветра может быть значительным. Это следует учитывать при прохождении скалистых мысов, отвесно обрывающихся в воду.

По происхождению ветры в котловине Байкала делят на проходные и местные. Первые связаны с прохождением над озером атмосферных фронтов и воздушных масс – это наиболее сильные ветры. Местные ветры возникают из-за разницы температур воздуха над водой и сушей. Яркий и всем известный пример – бриз, днем дующий с моря на сушу, а ночью – с суши на море. Обычно местный ветер опасности не представляет. Исключением является покатуха.

В зависимости от направления выделяют два основных типа байкальских ветров – продольные и поперечные. Первые дуют вдоль котловины озера и, благодаря значительной длине разгона, поднимают большие волны, вторые дуют поперек котловины, отличаются особым коварством и свирепостью.

Существует около 30 названий местных ветров, часто один и тот же ветер имеет несколько названий. Байкал не зря славится буйным нравом,

даже в самый спокойный сезон – летний – могут случаться сильные шторма. Нередко бывает, что одновременно дует несколько ветров и довольно трудно понять, с какими из них мы имеем дело. Ветер в таких ситуациях может почти мгновенно менять направление на противоположное.

*Верховик* – он же ангара (второе название чаще применяют в северной части озера, в южной оно вносит путаницу - ангарой также называют ветер, хозяйничающий в истоке Ангары). Иногда используются названия верховка, север, сивер. Назван так потому, что дует из долины реки Верхняя Ангара, т.е. с верхнего конца озера. Верховик может дуть одновременно на всем Байкале. Летом верховик добирается до южной оконечности Байкала крайне редко, ограничиваясь мысом Толстый в качестве южной границы (мысов с таким названием на Байкале шесть, в данном случае имеется в виду мыс, расположенный примерно в 10 км к востоку от поселка Листвянка). На северном Байкале верховик дует с севера, на среднем и южном Байкале – с северо-востока. Особо свирепые верховики случаются перед замерзанием Байкала – в декабре. Ветер не порывистый – обычно дует спокойно, погода при таком ветре сухая и ясная. Начинается верховик обычно утром, после восхода солнца и нередко перед закатом стихает, но может дуть и очень долго не переставая – до десяти дней. Такие затяжные ветры начинаются с середины августа. Благодаря значительной продолжительности и отсутствию порывов, может создавать очень большие волны. Это один из самых известных и значимых ветров на Байкале. Предвестником верховика служит ярко-красный горизонт перед восходом солнца.

*Култук* – он же низовик, низовка. Ветер, дующий с нижней, южной оконечности Байкала, от залива Култук (точнее, из пади Култучная). Это юго-западный ветер, он дует в направлении, противоположном верховику, но

тоже вдоль котловины озера. Култук несет с собой мощные штормы, дожди и пасмурную погоду. Иногда весной и в начале лета култук дует и при ясной погоде. Этот ветер может дуть сразу над всей котловиной озера, но не так долго, как верховик. Нередко култук налетает внезапно, и так же внезапно может уступить ветру противоположного направления – верховику. Култук приводит к самым сильным штормам на Байкале, поднимая огромные урюмо-свинцовые

волны. Предвестником култука служат мрачные тучи, собирающиеся в юго-западной части Байкала.

*Баргузин* – ровный и сильный северо-восточный ветер. Употребляются также названия полуночный (иногда Баргузин дует ночью) и уже устаревший-баргузник. Воздушный поток вырывается из Баргузинской долины. В отличие от продольных ветров – верховика и култука – баргузин дует поперек котловины озера и только в средней его части. Предполагается, что при определенных условиях баргузин может достичь южного Байкала. По продолжительности и силе он уступает верховику и култуку. Баргузин обычно не дует больше суток, чаще всего начинается после восхода солнца и стихает к закату. Обычно баргузин приносит с собой солнечную погоду. Скорость ветра редко превышает 20 м/с, но в Баргузинском заливе он может достигать ураганной силы.

*Горная* – северо-западный ветер. Относится к поперечным ветрам. Холодный воздушный поток срывается с гор (отсюда и название) – со склонов Приморского и Байкальского хребтов и распространяет свое влияние только на западное побережье Байкала. Возникновение этого ветра обусловлено существованием на северном побережье Байкала горных гряд Приморского и Байкальского хребтов. Холодные арктические массы,

подходя к Байкалу, скапливаются у этих горных массивов, не в силах перевалить их сходу. Накопив критическую массу, холодный воздух переваливает через горы и, ускоряясь, устремляется по крутым склонам к Байкалу. В некоторых местах побережья – в долинах горных рек – существуют особенно благоприятные условия для разгона воздушных потоков. Так возникают сарма, харахаиха и другие разновидности горного ветра ураганной силы. Горная – самый свирепый и коварный из байкальских ветров. Налетает внезапно, скорость нарастает скачками, максимальная скорость горной может достигать 40-50 м/с. Горную часто называют сармой, хотя сарма, как и харахаиха, бугульдейка, ангара – разновидности горной. Существует ряд признаков, по которым можно заранее спрогнозировать возникновение горной. Летом ей часто предшествует тихая безветренная погода и изнуряющая жара, над горными вершинами появляются облака, постепенно образующие угрюмый облачный вал, вытягивающийся над горным хребтом. Достаточно надежным признаком может быть резкое падение атмосферного давления.

*Сарма* – сильный шквалистый ветер, вырывающийся из долины впадающей в Малое Море реки Сарма, разновидность горной. Холодный арктический воздух с Приленской возвышенности, переваливаясь через Приморский хребет, попадает в суживающуюся к Байкалу долину реки Сарма, на выходе из которой достигает ураганной скорости. Сарма может непрерывно дуть несколько суток, ветер при этом бывает настолько силен, что валит деревья, переворачивает суда, срывает крыши с домов и сбрасывает домашний скот с берега в море. Крыши домов в поселке Сарма, расположенном в долине одноименной реки, жители привязывают к земле. Этот ветер наиболее част и свиреп осенью. Обычно сарма охватывает Малое

Море и западную часть Байкала, но иногда может ощущаться и на восточном берегу озера. Скорость ветра нарастает скачкообразно и быстро достигает ураганной силы. Признаком надвигающейся сармы служат слоисто-кучевые облака с резко очерченными границами, собирающиеся над вершинами Приморского хребта вблизи Сарминского ущелья. Обычно от начала концентрации облаков до первого порыва сармы проходит 2-3 часа. Последним предупреждением является открытие "ворот" – появление просвета между вершинами гор и нижней кромкой туч. Иногда заметны ключья облаков, устремляющиеся вниз по горным склонам. Ветер налетает через 15-30 минут после этого.

*Харахаиха* – разновидность горной, чрезвычайно свирепый шквалистый ветер, дующий из долины реки Голоустная. Особенно част осенью и зимой, в это же время наиболее силен и продолжителен. Название произошло от бурятского "хара" – черный.

*Бугульдейка* – сильный поперечный ветер, вырывающийся из долины реки Бугульдейки. Как и все горные ветры может непрерывно дуть несколько дней.

*Ангара* – разновидность горного ветра, дует из долины реки Ангара. Достигает большой силы, разгоняя свирепые волны в мелководном истоке Ангара. Обычно дует ровно, без шквалов. Приносит на восточный берег сырую холодную погоду. Особенно часто случается осенью и зимой.

*Селенга* – холодный поперечный ветер юго-восточного направления, дующий из долины реки Селенга, может достигать западного берега и приводить к возникновению мертвой зыби в районе поселка Бугульдейка.



*Шелонник* – Скатываясь с хребта Хамар-Дабан, воздушные массы, пришедшие из Монголии, проявляют себя в виде теплого юго-восточного ветра. Скорость шелонника обычно не превышает 10 м/с. Этот ветер может приводить к мощному накату на западном берегу. Название, скорее всего, завезено новгородцами – так называется юго-восточный ветер на реке Шелонь, впадающей в озеро Ильмень. Шелонник чаще всего наблюдается весной, осенью и в начале зимы, охватывает только южную часть озера. Приносит теплую погоду.

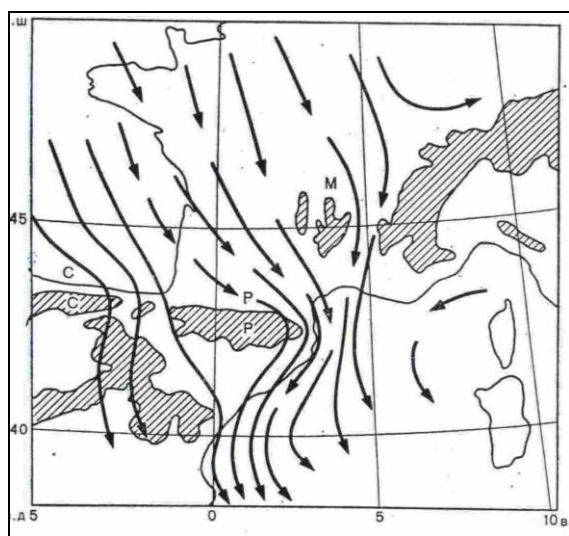
*Покатуха* – сильный кратковременный локальный шквал. Предвестником его может служить вытянутое облако или полоса тумана над водой (согласно В.П.Брянскому – облако-предвестник цилиндрической формы, вращающееся вокруг продольной оси, находится в горах, на средней высоте). Через некоторое время облако начинает быстро перемещаться с мощным шквалом, переворачивая лодки, ломая деревья, сметая все на своем пути.

Хотя по байкальским ветрам накоплены многолетние статистические данные, ответить на вопрос, какого направления ветер будет преобладать в каком-либо районе Байкала, например, в июле, не может никто. Причина в том, что основные ветровые потоки проходные, т.е. определяются внешними условиями - проходящими через котловину Байкала атмосферными фронтами. А нынешнюю погоду даже метеорологи с трудом предсказывают

Ветры типа боры возникают в тех странах, где вдоль побережья морей существуют невысокие горные перевалы и создаются метеорологические условия, подобные только что описанному. В частности, бора часто возникает и на Новой Земле, где порывы ветра достигают 40 – 50 м/сек.

Много общего с борой имеет *бакинский норд*. Норд – это сильный северный ветер, достигающий нередко скоростей 20 – 30 м/сек. Он, как и бора, может дуть с ураганной скоростью несколько дней подряд. Возникает норд при высоком давлении на Северном Кавказе и низком давлении на юге Каспия. Холодный воздух, зажатый в предгорьях юго-востока Большого Кавказского хребта, вырывается на просторы Западного Каспия в районе Апшерона. При бакинском норде в средней части Каспия, на расстоянии 100 – 200 км от западного берега ветры обычно не достигают большой силы.

Боре родственен также холодный «*мистраль*» в южной Франции (рис. 5). При депрессии над Лионским заливом атлантико-среднеевропейский воздух, преимущественно морского происхождения, а потому относительно прохладный, распространяется вдоль долины Роны по направлению к Средиземному морю.



**Рис. 5.** Угловой эффект в потоке к востоку от Центрального массива во Франции (М) (мистраль)

Воздух мистраля приходит с Центрального массива, где зимой наблюдаются настолько низкие температуры, что динамическое нагревание на склонах Севенн не в состоянии лишать этот воздушный поток его ощутимого охлаждающего действия. Мистраль, так же как и бора, порывист и может достигать силы урагана. Он дует практически на протяжении всего года, с наибольшей интенсивностью зимой и весной, и представляет собой существенный климатический фактор,

влияющий на хозяйство Прованса. Ряды  
высаженных деревьев, живые и  
искусственные ветрозащитные изгороди  
– характерная черта ландшафта большей  
части долины нижней Роны.

Временами мистраль может достигать такой силы, что становится опасным даже для транспорта. Средиземноморский характер растительности заметнее проявляется лишь там, где защищающие от ветра высокие горные цепи подступают к самому морю, например на Лазурном берегу.

Генетически близки к мистралю "*сьерсо*" в долине Эбро, «*маэстраль*» в Каталонии, на Корсике, в Сардинии, на Адриатическом и даже на Ионическом морях и "трамонтана" – на Лигурийском побережье и на Балеарских островах.

Сильные ветры определенных направлений, обусловленные особенностями рельефа местности, наблюдаются в различных странах. В Средней Азии известен так называемый *урсатьевский* ветер. Это сильный ветер в горле Ферганской долины. Возникает он в узком проходе Ферганской долины у поселка Урсатьевск, когда в соответствии с направлением градиента приземного давления, вызванным крупными атмосферными процессами, потоки холодного воздуха направляются с востока по долине к узкому выходу и врываются на равнину. Здесь в среднем за год 72 дня ветры бывают сильные. Скорости более 20 м/сек составляют 22% .

К нисходящим ветрам в более широком смысле этого слова относятся также *стоковые ветры*. Они возникают там, где накопившийся холодный воздух приходит в движение под действием собственной силы тяжести, устремляясь вниз по склону или вдоль долины, особенно в ясные ночи с

сильным эффективным излучением. В средневропейском климате такие ветры обычно слабы и имеют лишь местное значение (как, например, "висперовский" ветер, дующий в боковой долине Рейна Висперталь). По существу, к этой категории принадлежит любой ночной горный ветер. Однако наиболее известны *ледниковые ветры*, возникающие независимо от времени суток в результате охлаждения воздуха над поверхностью льда. Последнее является следствием не только непосредственного охлаждения от подстилающей поверхности путем теплопроводности, но и результатом расхода тепла на таяние снега. Поэтому, как это показал в 1956 г. Хойнкс на примере условий в Альпах, ледниковые ветры могут служить мерой интенсивности абляции. Разумеется, в Альпах они связаны со спокойной антициклонической погодой или, по крайней мере, с дивергенцией между циклонами и с промежуточными гребнями высокого давления.

Рельеф действует на воздушные течения и иным образом. При более слабых движениях, особенно внутри холодных воздушных масс, воздух часто отклоняется горными цепями, а горизонтальном направлении. Пепплер доказал это на примере Альп для различных синоптических ситуаций. Особенно четко это проявляется при «бизе» в долине Роны и в швейцарском среднегорье, то есть при холодном северо-восточном ветре, который, следуя конфигурации края Алых, устремляется вдоль долины Роны в направлении к депрессии над Средиземным морем. Вероятно, также обусловлен рельефом и "вардарский ветер", дующий из долины реки Вардар в Македонии. Тот факт, что это приспособление направления воздушного потока к рельефу зависит не только от различия в основном направлении ветра и в направлении орографических препятствий, но и от силы ветра и синоптической ситуации, доказал на примере Рейнско-Майнской области Дамман.

Горные цепи уменьшают поперечное сечение пересекающего их воздушного потока, причем это не компенсируется пропорциональным увеличением его вертикальной мощности, что практически приводит к характерному повышению скорости ветра над горами. Благоприятствует и то обстоятельство, что на уровне вершин и гребней влияние трения о подстилающую поверхность сравнительно мало, и воздушный поток не испытывает здесь столь сильного торможения, как в долинах. В этом причина формирования, например, так называемого "богемского ветра". Он наблюдается в горах восточной Баварии и большей частью представляет собой антициклональный, устойчивый восточный ветер, который зимой сопровождается холодами и снежными заносами. Летом при аналогичных синоптических ситуациях наступает жара, и ветер действует иссушающе. К этому типу ветров принадлежат также «косава» в Сербии и «аустру» в Румынии.

### **1.3. Синоптические региональные ветры**

Наряду с воздушными течениями, более или менее сильно зависящими от рельефа, известны и такие, которые хотя и являются типичными для определенных достаточно больших территорий, в то же время связаны лишь со специфической, чаще, чем другие, повторяющейся синоптической ситуацией. Особенности рельефа влияют на них в меньшей степени. Разумеется, существуют и многочисленные промежуточные формы, обязанные своим возникновением совместному воздействию обоих факторов (горный ветер в Южной Африке, хабуб в Судане, дующий в сторону Красного моря). Эти ветры имеют не меньшее климатическое значение, так как переносят определенные воздушные массы с присущими им характерными свойствами и явлениями погоды. К их числу относятся

развивающиеся особенно зимой, в Средиземноморье южные ветры *сирокко* в передних частях циклонов. Зимой они приносят на север средиземноморья мягкую влажную погоду, летом, напротив, – гнетущую духоту. На южном побережье Франции им соответствуют «*марин*», или «*отан*». На Эгейском море – «*гарби*», в Испании – «*солано*» или, что более употребительно, «*левече*», то есть ливийский ветер. Последний, разумеется, не обладает такой влажностью, какая характерна для южных ветров на севере Средиземного моря. Близ африканского побережья Средиземного моря эти южные ветры, и здесь часто называемые сирокко, вообще говоря, более сухие, жаркие, фёновые. Эти свойства особенно хорошо выражены у предфронтального хамсина в Египте и у родственного ему самума в Сирии и Саудовской Аравии.

Сиволль считает, что пустынный сирокко юго-восточной части Средиземноморского побережья – явление предфронтальное и связано с прохождением циклонических фронтов. Последние обычно слабо выражены в ходе давления и перемещаются здесь, при самых южных траекториях циклонов, в пределах Средиземноморья вдоль североафриканско-levantийского побережья с запада на восток и юго-восток. Максимум повторяемости и интенсивности этих знойных ветров приходится на весну и осень. Возбуждающую роль при этом играют как отроги северной окраины внутритропической зоны конвергенции, протягивающиеся от Эфиопии, так и регенерация циклонов над очень теплой юго-восточной частью Средиземного моря. Последнее особенно важно осенью. 18 апреля 1952 г. в Каире при прохождении слабо выраженного фронта с 9 час. и до полудня наблюдалась песчаная буря; ветер с ЮЮВ достигал силы 33 – 40 узлов при температуре 34 – 36°. В Эль-Арише температура поднялась даже до 38°!

К той же группе пустынных ветров, связанных с фронтами, относится и «хабуб» в восточном Египте и Судане. Чаще всего он связан с крайними южными отрогами средиземноморского холодного фронта, достигающими Судана. Он имеет характер шквала, образующегося при резком повороте ветра на юго-запад и сопровождающегося сильной пыльной бурей. Облака пыли поднимаются до высоты 3000 м и затемняют небо. При этом не выпадает ни единой капли дождя. Поскольку приходящий воздух обычно имеет высокие исходные температуры, которые на пути к Красному морю еще возрастают вследствие эффекта динамического нагревания при опускании, то хабуб оказывается здесь экстремально жарким нисходящим ветром, несмотря на то, что с точки зрения синоптического генезиса этот ветер, как и мистраль, развивается в тыловой части депрессии.

Такие *фронтальные ветры*, часто усиливающиеся до скорости ураганов и наблюдающиеся на окраине зоны влажных тропиков в конце сухого периода — явление, исключительно характерное для времени года, переходного между периодом засухи и сезоном дождей. Выраженное в большей или меньшей степени, оно наблюдается повсюду, где происходит такая смена сезонов.

*Жаркие* сухие ветры возникают иногда в пограничных с субтропиками областях средних широт, в тех из них, где наблюдается сравнительно сухой климат с жарким летом. Так, в степях на юге Европейской части СССР под воздействием циклонических возмущений, приходящих сюда с запада, в течение лета неоднократно может развиваться горячий юго-восточный ветер — *суховей*. При слишком раннем появлении он приводит к недозреванию зерна и, стало быть, к неурожаю и значительным убыткам. Суховетею родственны предфронтальные жаркие ветры в Австралии вызывающие

сходные последствия. От них часто страдают пастбища на юго-востоке континента; поэтому этот ветер рассматривают как один из факторов возможных недоборов сельскохозяйственной продукции. Их сменяют южные ветры, которые вызывают ощутимое понижение температуры, но приносят мало осадков. Эти ветры вторгаются сюда в тылу перемещающейся с запада на восток узкой ложбины, протягивающейся от субтропической границы зоны западного переноса. Близки к суховеям и горячие ветры в восточных предгорьях Скалистых гор, создающие иссушающую жару от Мексики до южной Канады. Их появление обусловлено не столько адвекцией, сколько локальным нагреванием застойного воздуха в низких циклонических возмущениях.

Жарким региональным ветрам свойственна некая общая синоптическая ситуация, которая выражается в том, что ветры этого типа привязаны к передней или, частично, к тыловой части возмущения, перемещающегося с запада на восток, и что они, как правило, не удерживаются надолго и исчезают с прохождением фронтального возмущения. Однако бывают и *квазиперманентные тыловые ветры*, связанные с квазистационарными фронтами или циклоническими образованиями. Сюда относятся тыловые потоки в малоазиатских, или в восточносредиземноморских, циклонах. Они носят название «*этезий*», или «*мельтеми*», и дуют летом в направлении с северо-запада или с севера над всем восточным Средиземноморьем. А особенно над Эгейским морем. Замечательно их постоянство, которое в то же время не исключает порывистости и появления орографически обусловленных «угловых эффектов». Это и привело к тому, что климат Средиземноморья обобщенно называют климатом этезий. Однако такое Обобщение не слишком удачно, ибо этезии соответствуют лишь той части



летнего поля ветра над Средиземноморьем, которая связана с областью пониженного давления над Передней Азией. В значительно большей степени представления об антициклональном характере летних воздушных потоков над Средиземноморьем отвечают приходящие с северо-востока «грегали» на Мальте и на Ионических островах, «норты» в Испании, «нортадас» в Португалии и «левантеры» над Гибралтаром. Есть некоторое основание называть их *истоками пассата*, ибо они действительно переходят в пассатные северо-восточные ветры над Северной Африкой и восточным сектором Атлантики при отсутствии каких-либо фронтальных возмущений.

В северо-восточной части Японии, севернее летней фронтальной зоны, обуславливающей дожди сезона бай-у, на периферии антициклона, располагающегося над Охотским морем, наблюдается прохладный ветер «ямазе», который часто сопровождается туманом, высоким туманом. Дождевыми или слоистыми облаками. Обычно он приносит похолодание на 2 – 6°. Если ямазе дует в течение многих дней подряд, он может стать причиной неурожая риса.

Южнее жаркого пояса конских широт наблюдаются нерегулярные распространяющиеся на различные расстояния в сторону экватора прорывы жаркого воздуха из зоны пустынь. В Судане это пассатный ветер, сухой, насыщенный пылью и экстремально жаркий, носящий местное название «харматан». Зимой он иногда достигает даже побережья Верхней Гвинеи. Несмотря на приносимые им экстремально высокие дневные температуры и пыль, он воспринимается местными жителями как некоторое облегчение по сравнению с духотой предшествующего времени. Это объясняется тем, что при харматане резко возрастают суточные амплитуды температуры и

усиливается испарение. Для жителей Верхней Гвинеи смена ветра играет большую хозяйственную и биоклиматическую роль.

#### **1.4. Атмосферные вихри малых размеров**

*Смерчи и торнадо.* К мелкомасштабным атмосферным вихрям относятся смерчи и торнадо, весьма сходные по структуре. Разрушительная сила их также велика, хотя диаметр их намного меньше тропических циклонов (от 20 – 100 м до 1 – 2 км). Скорости ветра в них достигают 100 – 200 м/сек, или 300 – 700 км/ч. Эти скорости достаточны для уничтожения векового леса, разрушения домов.

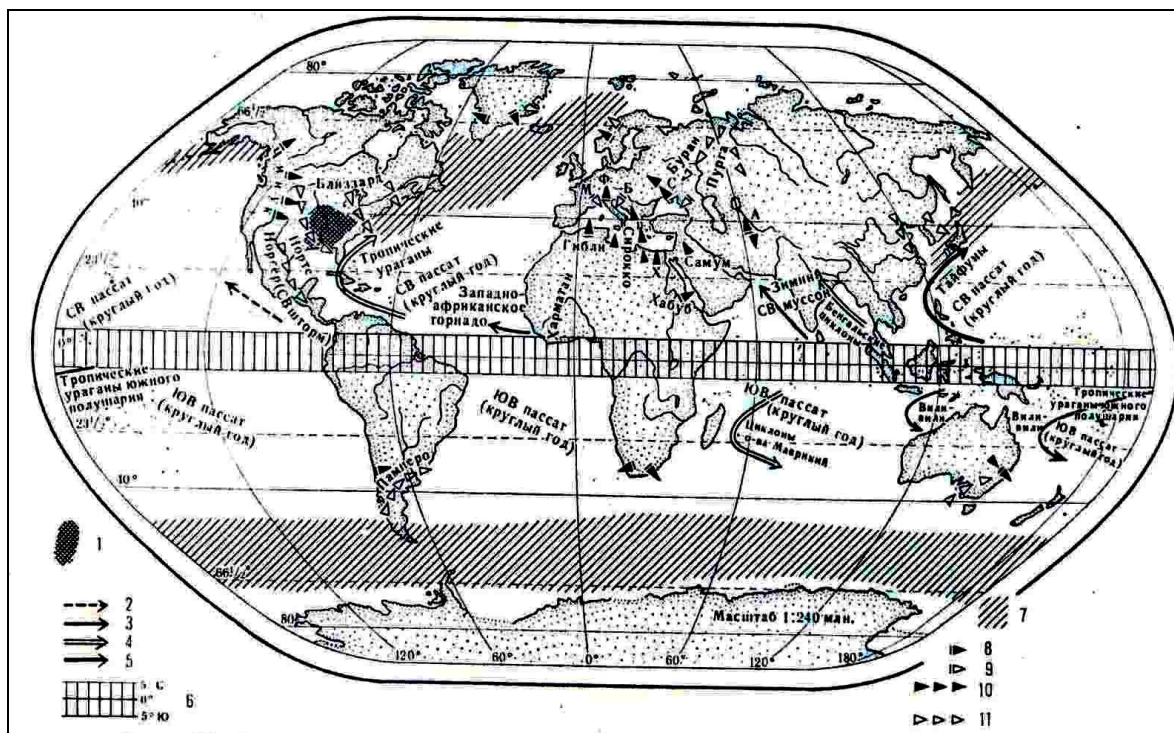
Смерчи и торнадо обычно возникают при грозах над морем и сушей. Из мощного грозового облака, нижнее основание которого принимает форму опрокинутой воронки, опускается, будто гигантский темный хобот, который вытягивается по направлению к поверхности земли или моря. Здесь навстречу ему приподнимается широкая воронка из пыли или воды, в открытую чашу которой хобот как бы погружает свой конец, и образуется сплошной столб, перемещающийся со скоростью 20 – 40 км/ч. Наиболее узкая часть этого столба приходится примерно на середину, высота его может достигать 800 – 1500 м. Из грозового облака может опуститься несколько смерчевых воронок, тогда они бывают меньшими в диаметре.

Движение воздуха в системе смерчей и торнадо обычно происходит против часовой стрелки, но не исключены и движения по часовой стрелке. Одновременно совершается подъем воздуха по спирали. На соседних участках происходит опускание воздуха, в результате чего вихрь замыкается. Под влиянием большой скорости вращения внутри вихря развивается центробежная сила, вследствие которой давление в нем понижается. Это

приводит к тому, что при перемещении вихря в его систему как бы всасывается все, что встречается на пути – вода, песок или различные предметы (камни, доски, крыши домов и т. п.), которые затем выпадают из облака иногда на значительном расстоянии. Именно с этим связаны так называемые цветные или кровавые дожди, которые образуются благодаря втягиванию в систему вихря окрашенных частичек породы и смешивания их с каплями дождя. Если вихрь возникает на море или озере, то его называют смерчем. Смерчи часто вместе с водой всасывают в свою систему рыбу, которую облако может выбросить уже на берегу.

Атмосферные вихри, аналогичные смерчам, но образующиеся над сушей, называют тромбами, а в США – торнадо, что по-испански означает «вращающийся». Торнадо наиболее часто наблюдаются в Северной Америке, на территории США. Здесь их насчитывают около 200 в год. Об огромной силе ветра в торнадо свидетельствуют результаты произведенных ими разрушений домов и инженерных сооружений. Скорость движения торнадо также велика, иногда она достигает до 100 км/ч, но в среднем она равна 40 км/ч. На юге Северной Америки торнадо возникают в течение всего года, с максимумом весной и минимумом зимой. Торнадо существуют в пределах от нескольких минут до нескольких часов, а наибольшая траектория их измеряется несколькими сотнями километров. Ширина зоны разрушения соответствует размерам самих торнадо, обычно до 2 – 3 км. Разность давления между центром вихря и его периферией иногда достигает 150 – 200 мб. От такой разности давления разрушаются дома, а сильнейший ветер поднимает в воздух людей, скот, автомобили, дома, крыши, мосты и г. п. Так, в апреле 1965 г. над США одновременно возникло 37 различных по мощности торнадо с высотой до 10 км и в диаметре около 2 км, со

скоростями ветра до 300 км/ч. Этот вихрь произвел громадные разрушения в шести штатах. Число погибших превысило 250 человек, а 2500 человек получили ранения. Распространение важнейших местных ветров, ураганов по земному шару представлено на (рис. 6).



**Рис. 6.** Важнейшие местные ветры, ураганы, а также пассаты земного шара.

Пути тропических циклонов схематизированы. Над Южной Азией указан только зимний СВ муссон, идентичный СВ пассату. Летом его сменяет противоположно направленный ЮЗ муссон.

1 – торнадо в США. Тропические ураганы: 2 – менее двух; 3 – два-четыре; 4 – пять-десять; 5 – свыше 10; 6 – свободная от ураганов экваториальная зона с малой силой Кориолиса; 7 – область циклонических ветров переменного направления и большой силы; 8 – теплые (типа фена) и 9 – холодные (типа боры) нисходящие ветры; 10 – теплые ветры передних частей

внетропических циклонов; 11 – холодные тыловые ветры (вторжения холода).

Ф – фен; М – мистраль; А – афганец; Б – бора; Х – хамсин; С – суховей;  
120 – ветер на протяжении 120 дней в году

Торнадо и смерчи, как и тропические циклоны, зарождаются при наличии большого запаса энергии неустойчивости в атмосфере. Эти условия создаются, когда внизу находится очень теплый и влажный воздух, а в верхней тропосфере холодный. Установлено, что при вторжении на территорию США тропических циклонов здесь возникает несколько торнадо. Это, очевидно, можно объяснить тем, что для возникновения тех и других вихрей необходимо неустойчивое состояние атмосферы.

Для обнаружения и предупреждения населения о движении торнадо пользуются радиолокаторами. С их помощью обеспечивается своевременное обнаружение этих вихрей, как и скорость их перемещения. Вихри типа торнадо возникают и в других частях Земли, но, как правило, они имеют меньшие размеры.

*Шквалы.* Шквалы образуются в зоне атмосферных фронтов с большими температурными контрастами. На суше в жаркие дни иногда возникают пыльные вихри, вызванные восходящими струями воздуха. У пыльного вихря диаметр небольшой, он колеблется от нескольких метров до 10—20 м.

Если обобщить приведенные данные, то можно сделать вывод, что местные ветры – воздушные течения небольшого горизонтального (десятки километров) и вертикального протяжения, создаваемые особенностями

подстилающей поверхности – либо неодинаковым нагреванием ее различных участков (например, суши и моря), либо рельефом, как причиной неоднородностей в поле температуры и ветра.

Местные ветры существенно влияют на погоду и климат прибрежных и горных районов и способствуют усиленному обмену теплом и количеством движения в пограничном слое, обмену горизонтальному и вертикальному. Наконец, местные ветры могут служить признаками погоды, позволяя предвидеть ее изменения.

## 2. Особенности новороссийской боры

### 2.1 Пространственные структуры поля ветра и температуры при боре

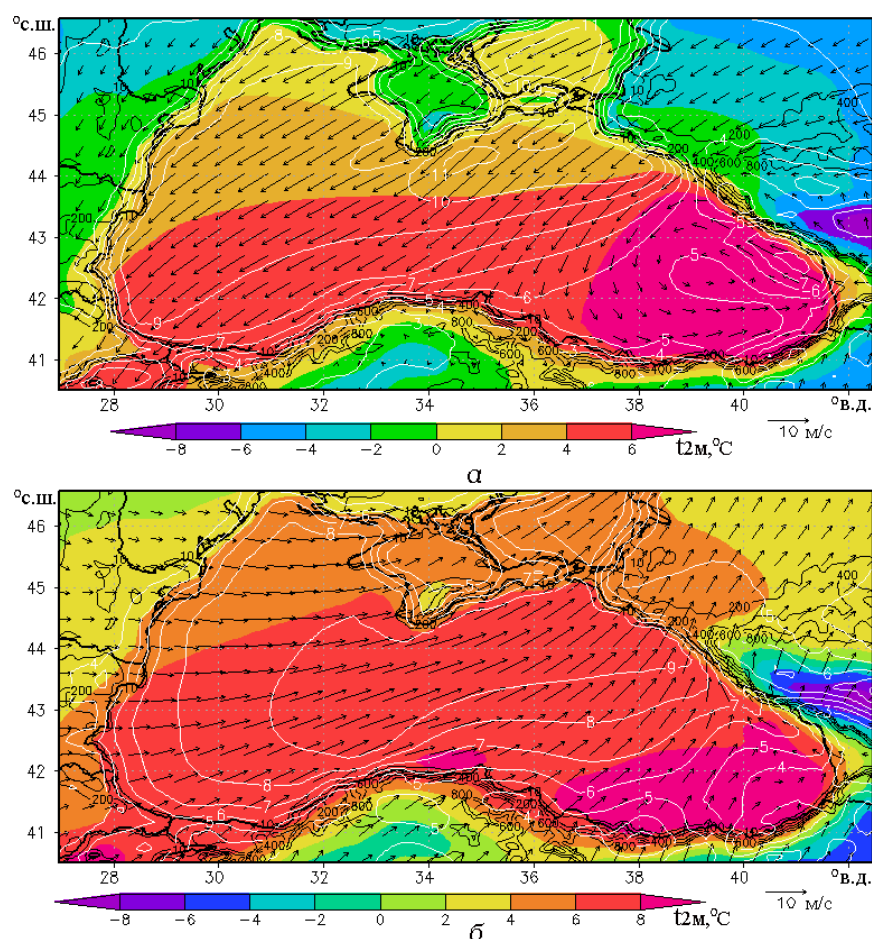
Рассмотрим пространственную структуру скорости ветра и температуры в зимние месяцы в Черноморском регионе для случаев боры. В качестве критерия ее развития мы выберем превышение значения северо-восточной составляющей скорости ветра заданного уровня. Северо-Восточная составляющая скорость  $U_n = -0,7(U + V)$ , где  $U$  и  $V$  – меридиональная и зональная составляющие скорости ветра на высоте 10 м вблизи Новороссийска точке в массиве реанализа данных, примерно соответствует нормальной скорости горному хребту Варада в окрестностях Новороссийска.

На рисунке 1, *а* показаны пространственные композиты полей скорости ветра и температуры при боре (т. е. средних полей при северо-восточной составляющей скорости  $U_n$ , превышающих условный критерий боры 10 м/с), а на рисунке 1, *б* – противоположный, юго-западный ветер.

Как видим, в северо-восточной части моря средняя скорость ветра превышает 15 м / с по сравнению с отсчетной скоростью 10 м/с в районе Новороссийска. Крупномасштабной особенностью поля скорости ветра боры является циклоническая циркуляция, охватывающая всю юго-восточную часть Черного моря. Эта особенность является результатом двух причин: циклоническая завихренность образуется, когда северо-восточный бароклинический поток течет вокруг Северо-Западного края высоких Кавказских гор; кроме того, довольно высокие (до 2-3 км) Понтийские горы Малой Азии служат барьером для распространения воздуха на юг в

пограничном слое атмосферы. Характерной чертой температурного поля воздуха вблизи поверхности являются большие градиенты в северо-восточном прибрежном регионе (в районе развития самой бory).

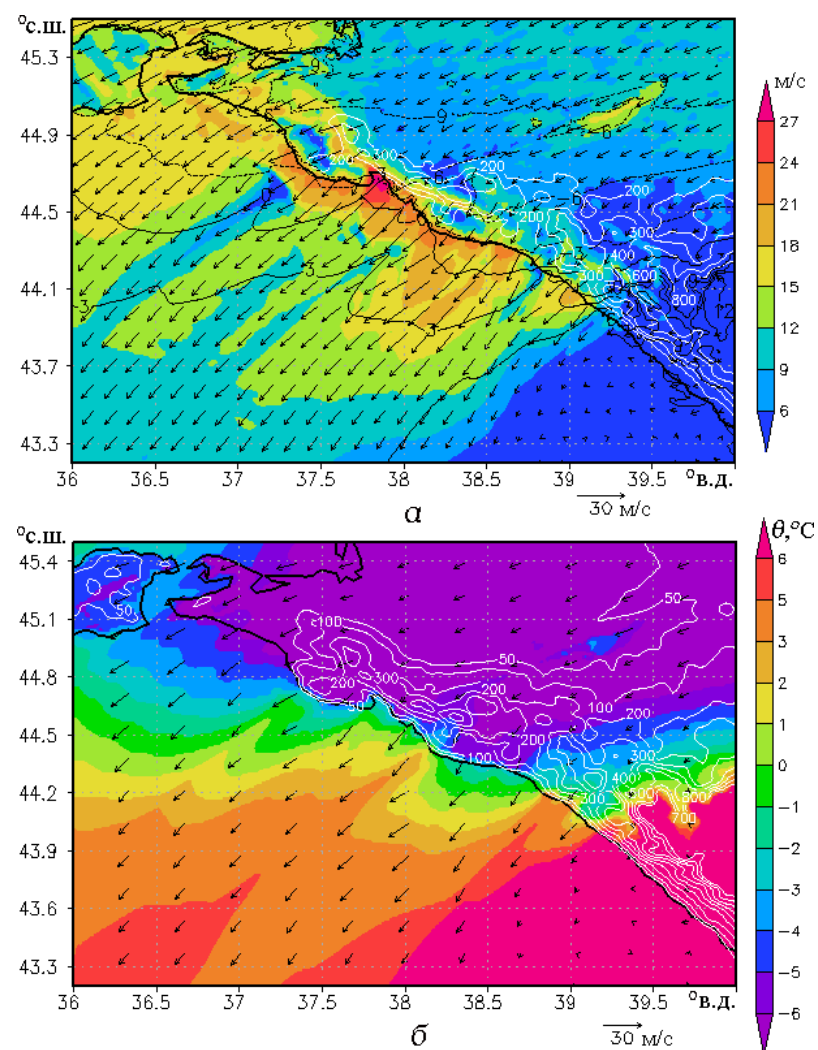
Предположим, что представленные композиты являются результатом среднего поля в течение всего 36-летнего зимнего периода. Кроме того, как упоминалось ранее, повторный реанализ не позволяет нам количественно оценить все последствия взаимодействия воздушного потока с прибрежными горами. Поэтому интересно рассмотреть непосредственные поля температуры и скорости ветра для одного из недавних случаев сильной бory, рассчитанных с использованием численной модели с высоким пространственным разрешением.





**Рис. 1.** Средние поля температуры на высоте 2 м (цвет), модуля скорости ветра на высоте 10 м (изолинии) и векторов скорости ветра на высоте 10 м (стрелки) при боре (а) и при противоположном, юго-западном ветре (б) в зимний период (январь – март 1979 – 2014 гг.) по данным реанализа, выполненного с использованием численной модели *RegCM4*

На рис. 2 показаны поля скорости ветра и температуры для бory 9 февраля 2017 г. Здесь более четко выделены характеристики полей, отмеченных на композитах в "размытой" форме. Хорошо выделена локальная зона максимального ветра со скоростью более 27 м/с, приходящаяся непосредственно на Цемесскую бухту. По мере того, как вы удаляетесь от берега, скорость ветра постепенно уменьшается, и вы можете увидеть неравномерность скорости в небольших масштабах, связанную с особенностями орографии и формой берега. Кроме того, в зоне высоких скоростей ветра на побережье, выделяются большие градиенты температуры поверхности до берега: в узкой прибрежной зоне, прилегающей к склону с подветренной стороны гор, изменении температуры на 5-7°C. Как будет показано в дальнейшем, этот эффект напрямую связан с особенностями развития бory.



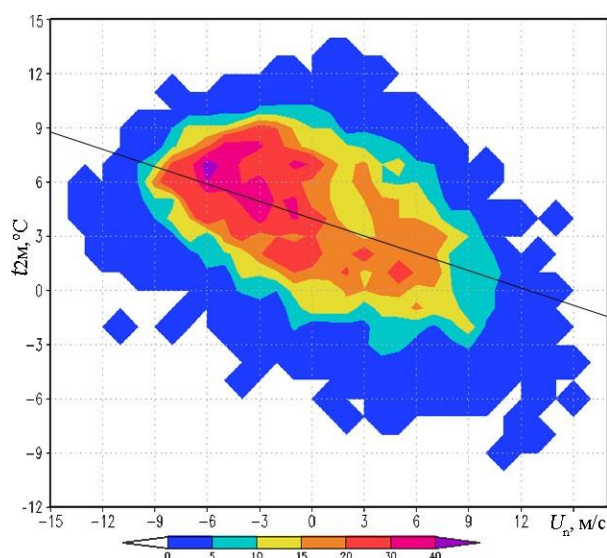
**Рис. 2.** Поля скорости ветра и температуры для боры в 00 ч 9 февраля 2017 г.: поле скорости ветра на высоте 10 м (стрелки) и модуль скорости ветра (цвет), поле потенциальной температуры на высоте 2 м (изолинии) – а; поле потенциальной температуры на высоте 2 м (цвет) и поле ветра (стрелки) – б

## 2.2 Изменение температуры в зоне перехода земля – море.

Катастрофические случаи зимней боры сопровождаются сильными ветрами и более низкими температурами. Поэтому иногда предполагается, что снижение температуры является прямым следствием термогидродинамических процессов в боре. Для одного из режимов боры – стокового типа по терминологии – это действительно так. По сути стоковая бора представляет собой кatabатический ветер (поверхностный поток холодного воздуха, протекающий сверху по склону хребта), возникающий в результате ночного радиационного охлаждения. Однако стоковая бора зимой является редким явлением по сравнению с фронтальной борой и не может определять свойства композитных температурных полей. Рассмотрим средние изменения температуры по данным реанализа.

На рисунке 3 показан график регрессии температурной зависимости в ближайшей точке Новороссийского моря с координатами  $44,58^\circ$  с. ш.,  $37,74^\circ$  в. д. и нормальной скоростью ветра на горном хребте  $U_n$  в той же точке. Шкала показывает количество точек на элемент  $1^\circ \times 1$  м/с из общего числа 3248 (количество зимних дней за 36 лет, представленных в данных реанализа). Отметим, что точки в четвертой четверти графика соответствуют северо-восточному ветру, т. е. направлению ветра при боре, во второй четверти – ветер с моря на сушу. Как видно из рисунка, существует четкая отрицательная связь между изменениями температуры и скоростью ветра. Коэффициент корреляции между ними составляет  $-0,49$ . Таким образом, подтверждается заключение о преобладании боры фронтального типа в зимний период, связанным с вторжением холодного

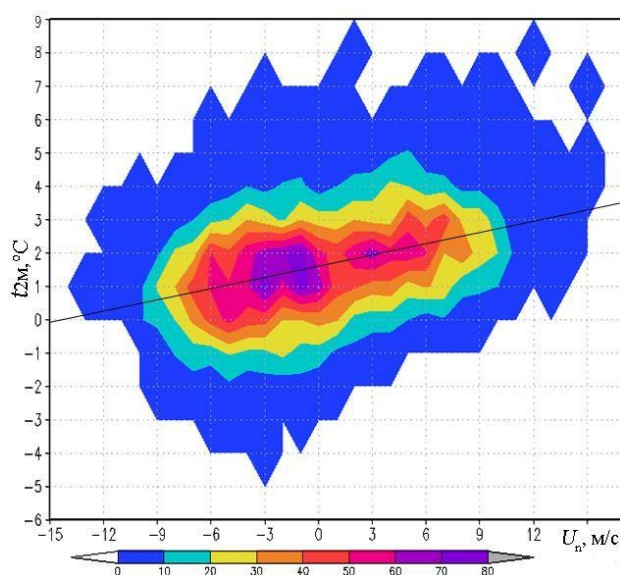
северо-восточного воздуха, вызвавшего падение температуры во всем прибрежном районе Новороссийска.



**Рис. 3.** Совместное распределение для зимнего периода (январь – март 1979 – 2014 гг.): юго-восточной составляющей скорости ветра  $U_n$  ( $U_n = \{-0,7U_{10}, 0,7V_{10}\}$ , где  $U_{10}$  – зональная,  $V_{10}$  – меридиональная компоненты скорости ветра на высоте 10 м) и температуры в ближайшей к Новороссийску морской точке с координатами  $44,58^\circ$  с. ш.;  $37,74^\circ$  в. д. по данным реанализа, выполненного с использованием численной модели *RegCM4*

Более интересным является график регрессии, показанный на рис. 4, показывающие значения разности температур  $\Delta t$  между прибрежной, линией, близ Новороссийска, той же самой точкой моря и точкой на суше с координатами  $45,02^\circ$  с. ш.,  $37,96^\circ$  в. д., расположенной непосредственно за пределами горного района области, в зависимости от значения скорости ветра составляющей  $U_n$  в точке моря. Видна существенная асимметрия распределения по отношению к изменению знака  $\Delta t$ : преобладают точки в

первой и второй четверти графика, соответствующие более высоким температурам на море, чем на суше, независимо от направления ветра. Коэффициент корреляции между скоростью  $U_n$  и  $\Delta t$  равен 0,37.

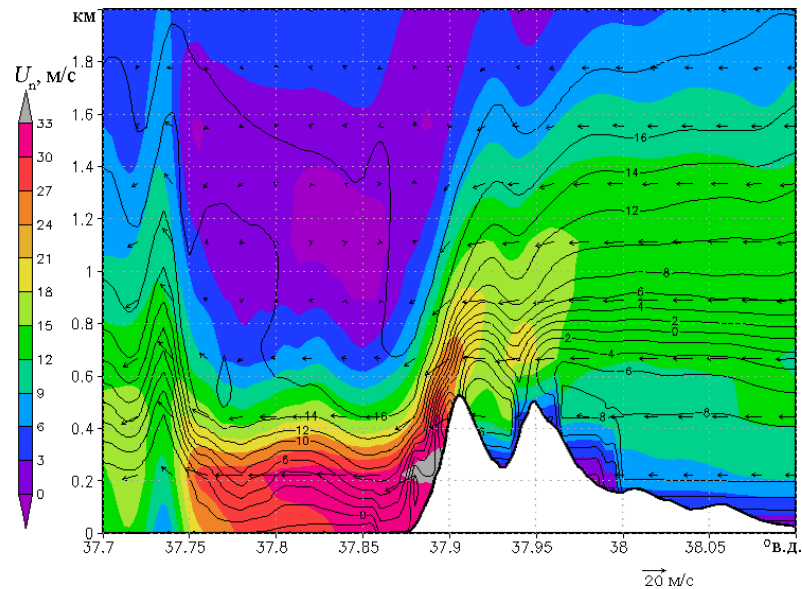


**Рис. 4.** Совместное распределение для зимнего периода (январь – март 1979 – 2014 гг.): юго-восточной компоненты скорости ветра  $U_n$  ( $U_n = \{-0,7U_{10}, 0,7V_{10}\}$ ) в точке с координатами  $44,58^\circ$  с. ш.;  $37,74^\circ$  в. д. и разности приземных температур в этой же точке и в точке на побережье с координатами  $45,02^\circ$  с. ш.;  $37,96^\circ$  в. д. по данным реанализа, выполненного с использованием численной модели *RegCM4*

Если превышение температуры на море по сравнению с теми, что на земле, с ветром от юго-западной не вызывает вопросов (в зимний период адвекция более теплого приводного воздуха на сушу приводит к повышению температуры над ней, и разница температур уменьшается с увеличением скорости ветра), то положительная зависимость между скоростью северо-восточного ветра  $U_n$ , т. е. при боре, и перепадом

температур  $\Delta t$  требует объяснения. На самом деле это означает, что во время Бора температура в прибрежной зоне моря превышает температуру на суше в предгорной части региона. На первый взгляд, это противоречит общей идее, что бора будет сопровождаться понижением температуры на склоне холма с подветренной стороны и на подошве горного хребта.

Физический механизм этого явления объясняется на рисунке 5, который показывает вертикальную структуру компонента скорости ветра  $U_n$  и потенциальную температуру  $\theta$  (и для краткости мы определяем  $\theta = \theta (K^\circ) - 273,15$ ) на меридиональном нормальном к хребту разрезе, проходящем через Цемесскую бухту, т. е. через локальную область максимальной скорости боры, показанную на рисунке 2. В общем, и скорость, и температура имеют характерные черты горных ветров, к которым и относится фронтальная бора. Область обрушения внутренних гравитационных волн с подветренной стороны горы хорошо представлена на вертикальных участках изолиний  $\theta$ . Индикатором блокирования набегающего на гору воздушного потока является пересечение изолиниями  $\theta$  наветренного склона. Струйное течение боры, прижатой к поверхности, со скоростью до 30 м/с также хорошо виден на рисунке 5. Результатом образования хорошо смешанной турбулентной области, связанной с обрушением внутренних волн, и является прижатый к поверхности течение боры, источником которого является – теплый «в терминах потенциальной температуры» воздух из более высоких слоев атмосферы над наветренным склоном. Как видно, разница температур поверхностного воздуха в предгорной части хребта и прибрежной зоне составляет  $\sim 2 - 3^\circ C$ .



**Рис. 5.** Вертикальная структура юго-восточной компоненты скорости ветра  $U_n$  (цвет), потенциальной температуры  $\theta$  (изолинии) и векторы скорости (стрелки) в вертикальной плоскости в координатах  $\{u, 5 \times w\}$  (где  $u$  – зональная,  $w$  – вертикальная компонента скорости ветра) для перпендикулярного к горному хребту сечения  $44,5^\circ - 44,9^\circ$  с. ш.;  $37,7^\circ - 38,1^\circ$  в. д. в 00 ч 09.02.2017 г. по данным численного моделирования с использованием модели *WRF-ARW*

Таким образом, более теплый воздух над подветренным склоном хребта является результатом блокирования холодного приземного воздуха, поступающего из предгорной части суши, и его замены более теплым воздухом из вышележащих слоев атмосферы. На графике регрессии (Рис.4) эта разница температур представлена точками в первой четверти. Так как фронтальная бора связана с прохождением холодного фронта воздуха, температура которого зимой может понижаться до  $-10 \dots -15^\circ\text{C}$ , вышеупомянутый термогидродинамический эффект приводит к повышению температуры в прибрежной зоне моря без изменения общего

характера перепада температуры при прохождении холодного фронта. Если представить мысленно эксперимент с исчезновением горного хребта Варада, то вторжение холодного воздуха через северо-восточную границу Черного моря вызовет более умеренные скорости ветра, но более низкие температуры воздуха. Этот блокирующий эффект в районе невысокого хребта Варада был относительно небольшим. Однако по мере того, как мы двигаемся на юг вдоль побережья и высота Кавказских гор увеличивается, блокирование северо-восточного потока горами должна увеличиваться, а также увеличиваться указанная разница температур. На рисунке 2 эта особенность выражается в быстром повышении температуры прибрежного воздуха в области Туапсе.



### **3.Синоптические условия и образование экстремальной Новороссийской боры**

#### **3.1 Исходные данные**

Данные для работы были получены в архивах многолетних данных Росгидромета по ГМС Новороссийск и данных архива «<https://rp5.ru/>» за 1901–2017 гг. (117 лет). В свою очередь мы используем данные реанализа *RegCM* за 1979–2013 гг. с разрешением 25 км (приведенный к регулярной сетке с шагом  $0,11^\circ$ ) и *ERA-Interim* за годы с 1979 по 2017 с разрешением около 80 км (приведенный к регулярной сетке с шагом  $0,75^\circ$ ). Все используемые данные модели имеют интервал времени 6 часов.

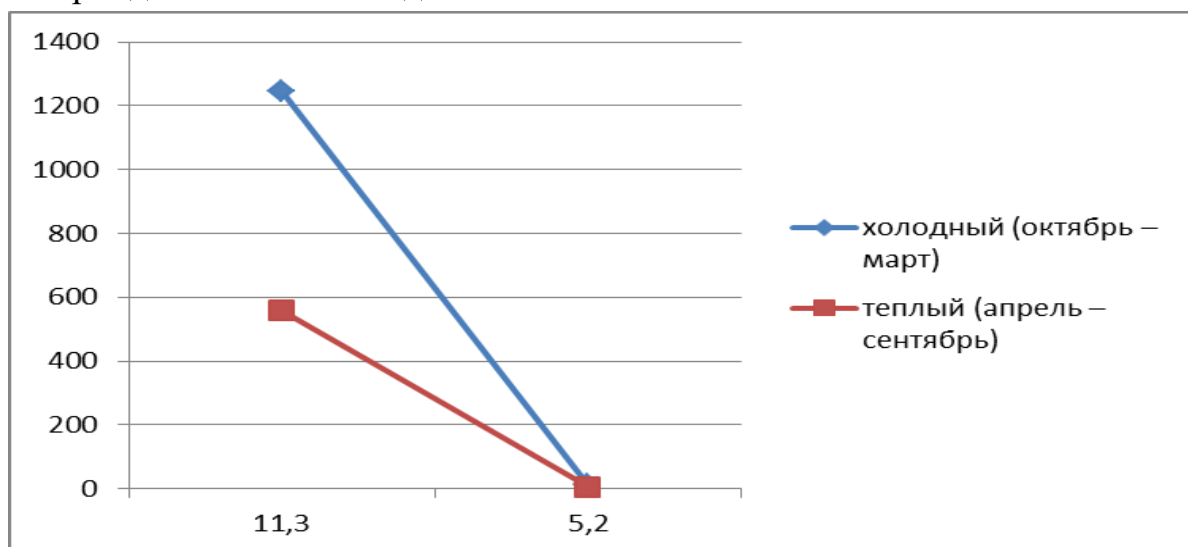
Архив скорости и направления ветра за 117-летний период наблюдений на Новороссийской метеостанции статистически неоднороден. Мониторинг ветра на Новороссийской метеостанции в течение всего периода проводился на высоте 10 м, что соответствует рекомендациям ВМО с 1901 по 1960гг. Измерений на сети гидрометеорологических наблюдений были сделаны визуально с помощью флюгера Вильда, а с 1961 г. по сей день – инструментально при помощи анеморумбометров М47 и М63М1 и других измерительных приборов. Визуальное наблюдение (с помощью флюгера) рассчитывается скорость и направление ветра, в среднем в 2 минутах, а при инструментальном (с 1961 г.) – проводилось 10-минутное осреднение (в соответствии с требованиями ВМО 10-минутный интервал осреднения скорости ветра является основным для характеристики устойчивого ветрового потока во времени). Кроме того, сроки наблюдения не совпадают (трех, четырех и восьми-срочные). Учитывая эти различия, эти серии наблюдений (1901-2017гг) делятся на 2 массива.

Первый массив "первый период: 1901–1960 гг." сформирован по данным визуальных наблюдений «по флюгеру» . Он включает данные по годам с распределенным по месяцам ветра северо-восточного направления со скоростью  $U \geq 15$  м/с, а ураганные ветры со скоростью  $U \geq 30$  м/с выделены отдельно. "Второй массив" (второй период: 1961–2017 гг.) включает в себя ежедневные четырех и восьми-срочные наблюдения скорости и направления ветра. Характер суточного хода скорости ветра достаточно хорошо выявляется уже по данным четырех-срочных наблюдений, поэтому ряды четырех и восьми-срочных наблюдений объединены. Пропущенные сроки в четырех-срочных наблюдениях дополнены значениями скорости, усредненными между соседними по времени измерениями.

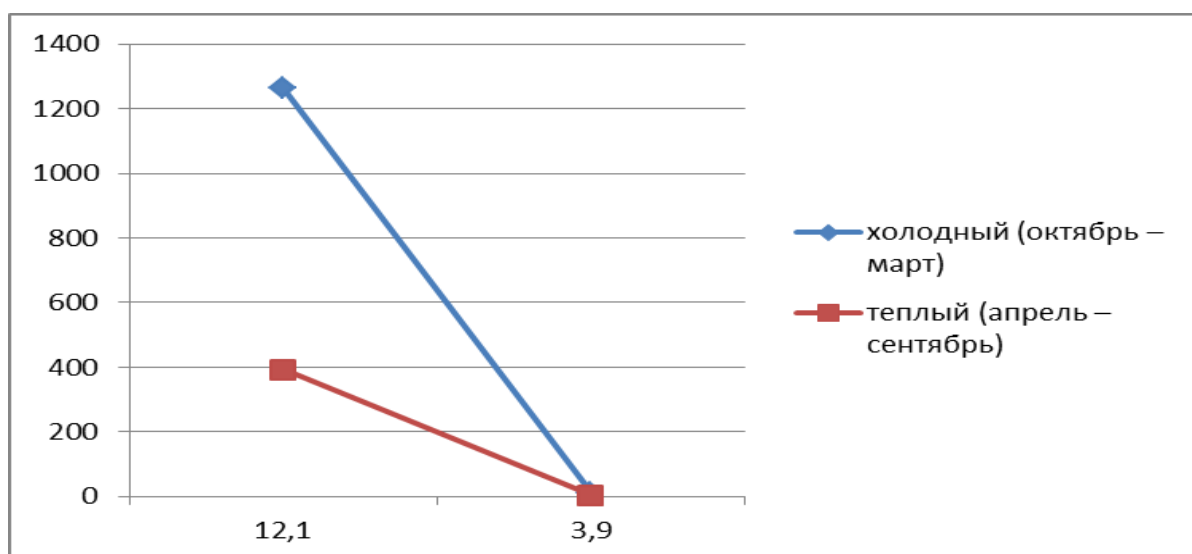
### 3.2 Повторяемость Новороссийской боры

**Число суток с новороссийской борой за периоды 1901-1960г и 1961–2017 г в холодные и теплые сезоны и их повторяемость**

1 период за 1901-1960 года



2 период за 1961-2017 года



**Таблица 3.1**

| Сезон                         | Первый период<br>(1901–1960 гг.) |                     | Второй период<br>(1961–2017 гг.) |                     |
|-------------------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|
|                               | Число<br>суток<br>с борой        | Повторяемость,<br>% | Число<br>суток<br>с борой        | Повторяемость,<br>% |
| холодный<br>(октябрь – март)  | 1244                             | 11,3                | 1263                             | 12,1                |
| теплый<br>(апрель – сентябрь) | 557                              | 5,2                 | 393                              | 3,9                 |

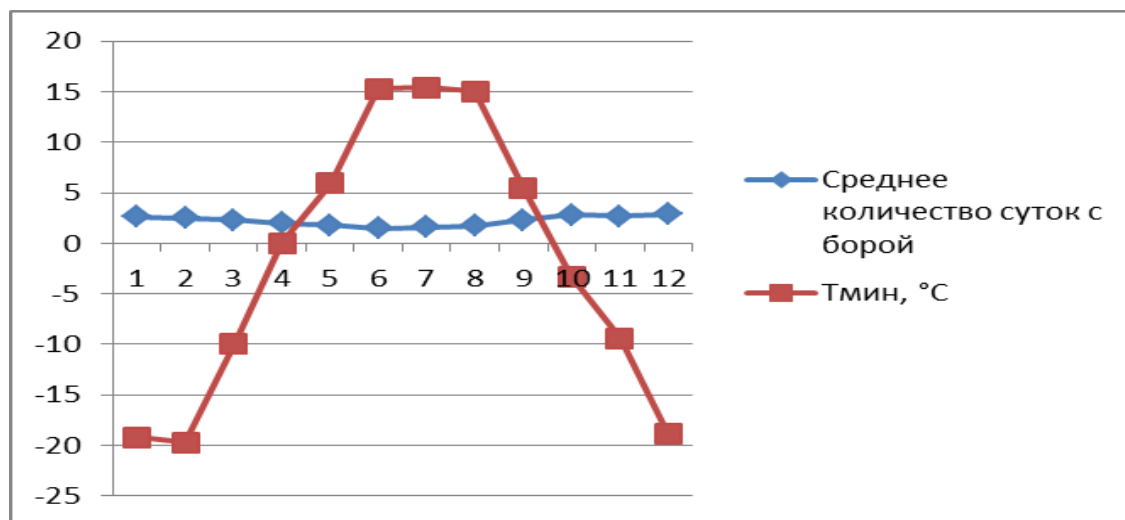
По полученным результатам мы можем сказать, что в холодный сезон число суток с борой и их повторяемость в оба периода отличаются, но незначительно (менее 1 %). В теплый сезон года в первом периоде число суток с борой на 1,2 % больше, чем во втором. Разница между этими оценками числа суток с борой статистически почти незначима.

**Распределение по периодам данных о годах с числом суток с борой, большим или равным 30 и меньшим или равным 15**  
**Таблица 3.2**

Статистические данные по годам с максимальным и минимальным количеством суток с борой.

| Периоды   | Годы, в которые наблюдалось 30 и более суток боры в год                | Максимальное количество суток с борой в год | Годы, в которые наблюдалось 15 суток и менее боры в год | Минимальное количество суток с борой в год |
|-----------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1901–1960 | 1904, 1907, 1911, 1919, 1920, 1921, 1924, 1927, 1928, 1929, 1953, 1954 | 66 (1929 г.);<br>68 (1953 г.)               | 1908, 1923, 1938                                        | 2 (1923 г.)                                |
| 1961–2017 | 1972, 1976, 1977, 1980, 1984, 1987, 2002, 2003, 2005, 2008, 2014       | 54 (1976 г.)                                | 1962, 1964, 1965, 1966, 1967, 1989                      | 3 (1965 г.)                                |

**Среднее количество суток с борой и минимальная температура воздуха во время боры по месяцам за 1901–2017 г**



**Таблица 3.3**

Распределение среднего количества суток с борой по месяцам.

| Параметры                        | Месяцы |       |       |     |     |      |      |      |     |      |      |       |
|----------------------------------|--------|-------|-------|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|-------|
|                                  | I      | II    | III   | IV  | V   | VI   | VII  | VIII | IX  | X    | XI   | XII   |
| Среднее количество суток борой с | 2,6    | 2,5   | 2,3   | 2,0 | 1,8 | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 2,3 | 2,8  | 2,7  | 2,9   |
| $T_{\text{мин}}, ^\circ\text{C}$ | -19,2  | -19,7 | -10,0 | 0,0 | 5,9 | 15,3 | 15,4 | 15,0 | 5,4 | -3,3 | -9,4 | -18,8 |

Среднемесячное количество суток с борой в холодный сезон составляет до 3 суток, а минимальная температура воздуха в феврале опускается почти до  $-20^\circ\text{C}$ .

### Распределение количества случаев боры по месяцам за 1901–2017 г

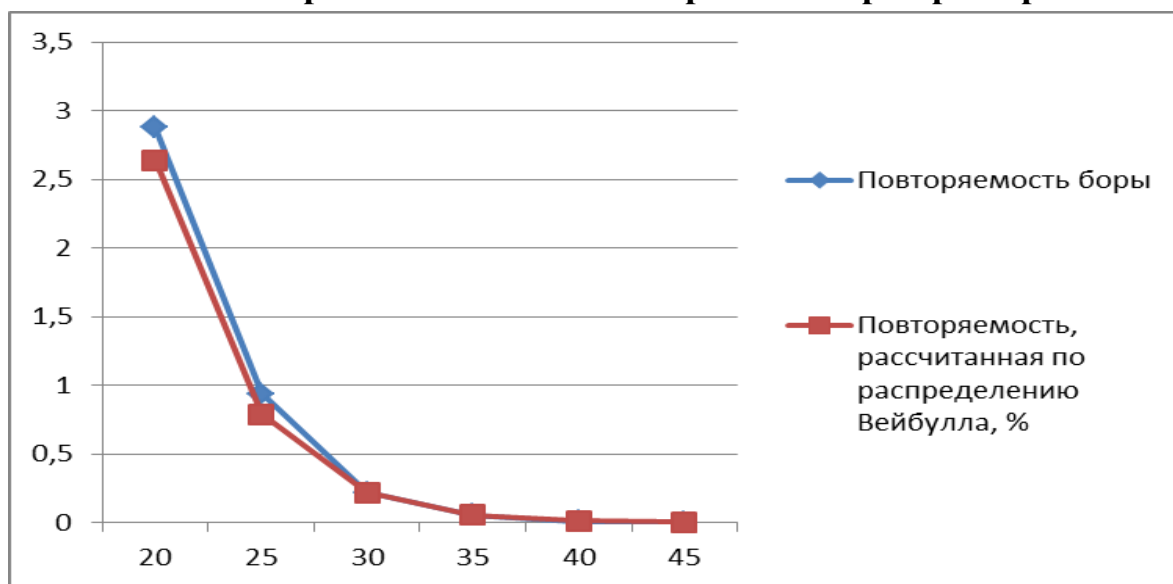
**Таблица 3.4**

| Параметры                                                      | Месяцы |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
|----------------------------------------------------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
|                                                                | I      | II  | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X   | XI  | XII |
| Продолжительность боры, сутки<br>1–2<br>3–4<br>5–6<br>$\geq 7$ | 112    | 122 | 140 | 103 | 71  | 35  | 47  | 62   | 98  | 137 | 127 | 105 |
|                                                                | 40     | 43  | 21  | 12  | 9   | 4   | 3   | 7    | 31  | 37  | 35  | 43  |
|                                                                | 12     | 8   | 8   | 2   | 2   | 0   | 0   | 0    | 2   | 4   | 3   | 11  |
|                                                                | 3      | 2   | 4   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0    | 5   | 0   | 4   | 3   |
| Общее количество случаев боры                                  | 169    | 177 | 175 | 118 | 83  | 38  | 50  | 69   | 135 | 177 | 170 | 162 |
| Повторяемость боры, %                                          | 4,7    | 5,3 | 4,8 | 3,4 | 2,3 | 1,1 | 1,4 | 1,9  | 3,7 | 4,9 | 4,8 | 4,4 |

Данные измерений количества случаев бory и продолжительности каждого случая.

С сентября по март приходится 76,3 % всех случаев бory, а с апреля по август – 23,5 %]. Наибольшая средняя продолжительность случаев с борой приходится на зимний месяц (до 7 суток), минимальная – на летний (до 1–2 суток)

**Повторяемость больших скоростей ветра при боре**



**Таблица 3.5**

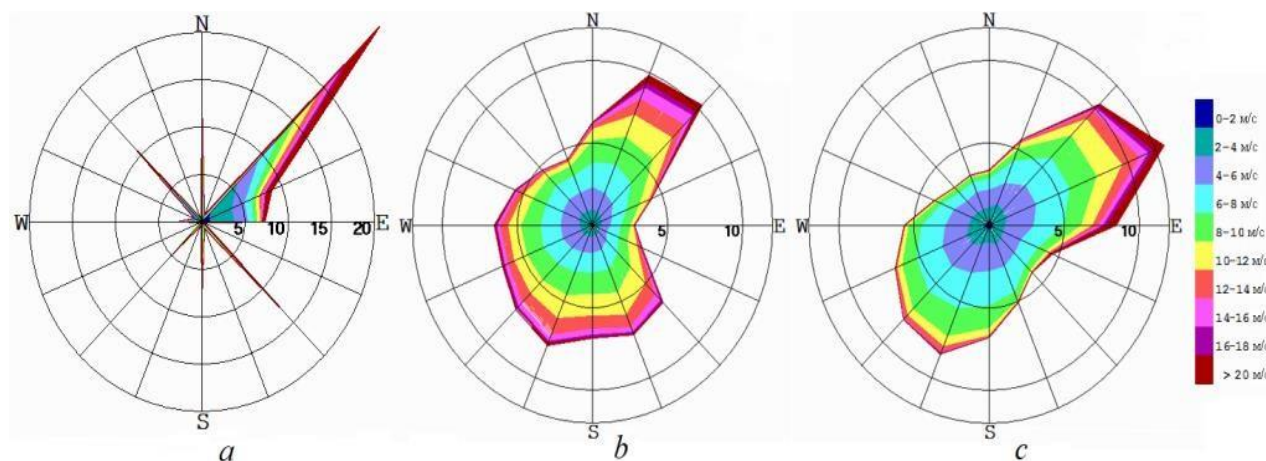
| Параметры                                                | Скорость ветра $U$ , м/с |       |       |       |       |       |
|----------------------------------------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                          | 20                       | 25    | 30    | 35    | 40    | 45    |
| Повторяемость                                            | 2,880                    | 0,940 | 0,220 | 0,055 | 0,009 | 0,002 |
| Повторяемость, рассчитанная по распределению Вейбулла, % | 2,640                    | 0,790 | 0,220 | 0,055 | 0,013 | 0,003 |
| Период повторяемости по распределению Вейбулла, дней     | 19                       | 64    | 235   | 2,46  | 10,1  | 43,3  |

**Вывод:** По полученным данным на ГМС Новороссийск за 1901 по 2017 года мы оценили временные характеристики боры о скорости, направлении ветра и температуре воздуха. По полученным результатам мы можем сказать, что в холодный сезон число суток с борой и их повторяемость в оба периода отличаются, но незначительно (менее 1 %). В теплый сезон года в первом периоде число суток с борой на 1,2 % больше, чем во втором. Разница между этими оценками числа суток с борой статистически почти незначима. Определены среднемесячные количества суток с борой. Подсчитано, что на осенне-зимнее время года (с сентября по март) приходится около 76,3 % случаев боры, а на весенне-летнее (с апреля по август) – 23,5 %. Оценена повторяемость и среднемесячная продолжительность боры.



### 3.3 Ветровой режим во время бory.

На рис.1 приведены розы ветров, построенные для трех разных точек.



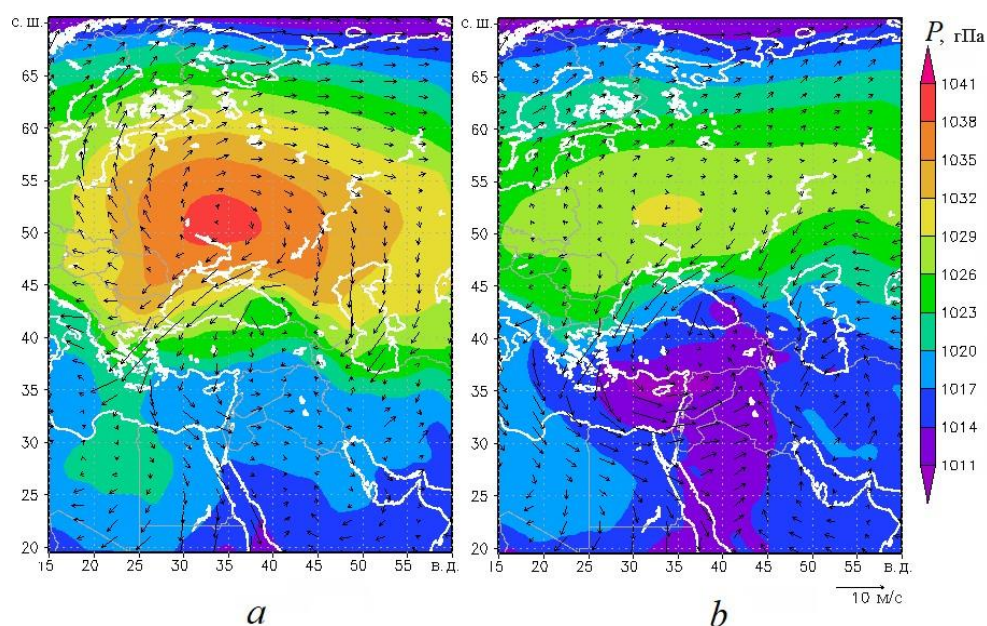
**Р и с. 1.** Розы ветров, построенных по данным ГМС Новороссийск (a), по данным реанализа RegCM для ближайших к ГМС Новороссийск точки (b) и для точки вблизи Ростова-на-Дону (c)

В Новороссийске преобладает направление северо-восточного ветра, в том числе кatabатического ветра с гор и бору. В предгорьях такого явного преобладания нет, но ветры северо-восточного направления имеет наибольшие повторяемости. Обратим внимание, что преобладание северо-восточного ветра характерен для всех северных частей Черноморского региона, в предгорных частях они усиливаются благодаря орографической окклюзии – эффекту обтекания северо-восточных краев Кавказских гор. Различия в рис. 1, a и b связаны с недостаточным пространственным разрешением модели *RegCM*, которая не воспроизводит мелкомасштабные пространственные характеристики поля скорости ветра в боре. Кроме того, измерения направления ветра на ГМС поставляются с разрешением 22,5°.

Рассмотрим далее синоптические условия формирования ветров преобладающих восточного и северо-восточного направлений в области подветренного склона гор, хорошо представленного на розе ветров (рис. 1, с). Для этих целей построим композиты метеорологических полей, иллюстрирующие формирование масс холодного воздуха, вторгающегося с северо-востока в акваторию Черного моря в районе Новороссийска, при котором выполняется условие развития истинной боры, а именно скорость ветра  $U$  как минимум 15 м/с при отрицательной температуре  $T$  всего лишь  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Используя метод кластерного анализа (метод К-средних) мы строим пространственные композиты, характеризующие типичные средние поля атмосферного давления и скорости ветра при боре. На рис. 2 показаны два главных пространственных кластера приземного давления и векторов скорости приземного ветра. Кластеры являются результатом выборочного осреднения тех 165 полей, для которых значения среднесуточных скоростей ветра и температуры новороссийской боры удовлетворяют указанным ограничениям. Поля выбраны согласно измерениям на ГМС Новороссийск из массива данных реанализа *ERA-Interim* за годы с 1979 по 2017. Визуальная оценка выбранных полей показала целесообразность разбиения на два кластера: результаты анализа дисперсии указывают на хорошее качество кластеризации (Евклидово расстояние между кластерами и значения  $F$ -критерия довольно велико, а уровень значимости параметров не превышает сотой доли процента). Также проводились эксперименты с разбиением на три кластера и более, но их статистическая оценка показала уменьшение

Евклидова расстояния между кластерами и значений  $F$ -критерия, что указывает на ухудшение качества разбиения.



**Р и с. 2.** Композиты разделенных методом кластерного анализа полей приземного давления и скорости ветра для случаев боры (при  $T < -5$  °C и  $U \geq 15$  м/с по данным ГМС Новороссийск): *a* – первый кластер, *b* – второй кластер

Основной элемент первого композита (рис. 3, *a*), усредняющий 102 случая боры при  $T < -5$  °C и  $U \geq 15$  м/с, – антициклон с центром севернее Черного моря, на юго-восточной периферии которого формируется северо- восточный поток холодного воздуха с большими скоростями приповерхностного ветра. Второй композит (рис. 3, *b*) является результатом выборочного осреднения меньшего числа полей (63), соответствующих боре. Его основной элемент – южный циклон с центром в области Малой Азии. Этот композит также включает более слабый, по сравнению с первым композитом, северный антициклон с центром севернее Черного моря. На северо-восточной периферии

циклона и юго-восточной периферии антициклона и формируется интенсивная истинная бора. Это бора фронтального типа наиболее повторяемая в холодный период года: рассмотренные 165 случаев истинной боры составили 85 % от общего числа случаев боры в эти месяцы без ограничения по минимальной температуре или 90 % от числа случаев боры с минимальной температурой  $T_{\text{мин}} < -5\text{ }^{\circ}\text{C}$  и 100 % при  $T_{\text{мин}} < -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### **Заключение**

Местные ветры обозначают ветры, характерные для определенных географических районов. Их происхождение различно.

Во-первых, местные ветры могут быть проявлением местных циркуляций, независимых от общей циркуляции атмосферы, налагающихся на нее. Таковы, например, бризы по берегам морей и больших озер. Различия в нагревании берега и воды днем и ночью создают вдоль береговой линии местную циркуляцию. При этом в приземных слоях атмосферы ветер дует днем с моря на более нагретую сушу, а ночью, наоборот, с охлажденной суши на море. Характер местной циркуляции имеют также горно-долинные ветры. В долинах горных стран, особенно в теплое время года, наблюдается довольно регулярная смена воздушных течений. Днем ветер дует вверх по долине и по склонам гор, ночью – вниз вдоль них. Долинный дневной ветер появляется после восхода солнца и наиболее силен при малооблачной погоде.

Во-вторых, местные ветры могут представлять собой местные изменения (возмущения) течений общей циркуляции атмосферы под влиянием орографии или топографии местности. Таков, например, фен – теплый ветер, дующий по горным склонам в долины, когда течение общей циркуляции переваливает горный хребет. Нисходящее движение фена, связанное с повышением температуры воздуха, является следствием именно влияния хребта на общее циркуляционное течение. Влиянием орографии объясняется и бора с различными ее разновидностями. Бора – местный сильный и порывистый ветер, направленный вниз по горному склону и приносящий в зимнее время значительное похолодание. Наблюдается в местностях, где невысокий горный хребет возвышается над морем. При зимних вторжениях

холодного воздуха последний, переваливая хребет, приобретает большую нисходящую составляющую скорости (до 40-60 м/с). Так образуется Бора (норд-ост) в Новороссийске, на крутых побережьях Адриатического моря, на берегах Байкала (сарма), на Новой Земле (до 70-80 м/с) и в других местах. Рельеф местности может создавать также усиление ветров в некоторых районах до скоростей, значительно превышающих скорости в соседних районах. Такие локально усиленные ветры того или иного направления также известны в разных районах под разными названиями как местные ветры. Иногда особые свойства придает местному ветру прохождение воздуха над сильно нагретой и сухой поверхностью, например пустыни, или, напротив, над сильно испаряющей (водной) поверхностью.

В-третьих, местные ветры также называются сильными ветрами или обладающими особыми свойствами в определенной зоне, которые по существу являются потоками общей циркуляции. Интенсивность их проявления и специфика для данного географического района определяются самим механизмом общего обращения, географическим распределением синоптических процессов. В этом смысле местным ветром называют, например, Сирокко на Средиземном море.

Данные климатического повторного анализа с увеличенным пространственным разрешением ( $25 \times 25$  км) позволили нам построить композиты полей скорости ветра и температуры для зимнего периода, соответствующие случаям Новороссийского боры. Показано, что развитие боры сопровождается формированием крупномасштабной циклонической циркуляции в юго-восточной части Черного моря. Из-за движения воздуха вокруг Северо-Западного края высоких Кавказских гор происходит циклоническая прожорливость скорости ветра на море, а высокие

Анатолийские горы ограничивают распространение воздушных потоков на юг и образуют вместе с Кавказскими горами крупномасштабную замкнутую циркуляционную ячейку.

По полученным данным на ГМС Новороссийск за 1901 по 2017 года мы оценили временные характеристики боры о скорости, направлении ветра и температуре воздуха. По полученным результатам мы можем сказать, что в холодный сезон число суток с борой и их повторяемость в оба периода отличаются, но незначительно (менее 1 %). В теплый сезон года в первом периоде число суток с борой на 1,2 % больше, чем во втором. Разница между этими оценками числа суток с борой статистически почти незначима. Определены среднемесячные количества суток с борой. Подсчитано, что на осенне-зимнее время года (с сентября по март) приходится около 76,3 % случаев боры, а на весенне-летнее (с апреля по август) – 23,5 %. Оценена повторяемость и среднемесячная продолжительность боры.

### Список использованных источников

1. Погосян Х.П., Туркетти З.Л. Атмосфера Земли – М., «Просвещение», 1970.
2. Хромов С.П. Метеорология и климатология Л., Гидрометеиздат, 1983.
3. Хриган А.Х. Физика атмосферы – издательство Московский университет, 1986.
4. [www.pogoda.ru.net](http://www.pogoda.ru.net) Местные ветры.
5. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) Сирокко
6. Ефимов В.В., Барабанов В.С. Порывистость новороссийской боры // Метеорология и гидрология. – 2013. – № 12. – С. 68 – 75.
7. Анисимов А.Е., Яровая Д.А., Барабанов В.С. Реанализ атмосферной циркуляции для Черноморско-Каспийского региона // Морской гидрофизический журнал. – 2015
8. Гавриков А. В., Иванов А. Ю. Аномально сильная бора на Черном море: наблюдение из космоса и численное моделирование // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2015. Т. 51, № 5. С. 615–626. doi:10.7868/S0002351515050053
8. Новороссийская бора / Под ред. А.М. Гусева // Тр. Морского гидрофизического института АН СССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – Т. 14. – 140 с.
9. Ефимов В.В., Барабанов В.С. Моделирование новороссийской боры // Метеорология и гидрология. – 2013..
10. Вильфанд Р. М., Ривин Г. С., Розинкина И. А. Система COSMO-Ru негидростатического мезомасштабного краткосрочного прогноза погоды Гидрометцентра России: первый этап реализации и развития // Метеорология и гидрология. 2010. № 8. С. 5–20.
11. Овчинников И.М., Попов Ю.И. Формирование холодного промежуточного слоя в Черном море // Океанология. – 1987. – XXVII,



вып. 5. – С. 739 – 746.

12. Анисимов А.Е., Яровая Д.А., Барабанов В.С. Реанализ атмосферной циркуляции для Черноморско-Каспийского региона // Морской гидрофизический журнал. – 2015. –

№ 4. – С. 14 – 28. – doi:10.22449/0233-7584-2015-4-14-28

13. Гилл А. Динамика атмосферы и океана. – М.: Мир, 1986. – Т. 1. – 397 с.