

## КРЫМСКАЯ ЮЖНОБЕРЕЖНАЯ БОРА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ В РАЙОНЕ КАЦИВЕЛИ

С.И. Казаков, В.В. Метик-Диунова, Ю.В. Симонова, А.С. Богуславский

ФГБУН Черноморский гидрофизический полигон РАН, 298688, п.г.т. Качивели, Респ. Крым  
E-mail: science@bshpg-ras.ru

На основе анализа данных наблюдений скоростей ветра, температуры, давления и влажности метеопоста Качивели исследованы особенности южнобережной Крымской боры и основные отличия ее от новороссийской боры. Показана большая изменчивость и зависимость интенсивности боры от местных факторов ЮБК, определяемых геоморфологическими и климатическими особенностями береговой зоны.

**Ключевые слова:** бора, ветер, Южный берег Крыма, синоптическая ситуация, циклон, антициклон, циркуляция, береговая зона, горный склон, рельеф.

**Введение.** Борой (от греческого *бореас* – бог северного ветра) называют штормовой холодный ветер, свергающийся по склонам и долинам с прибрежных гор в сторону моря. Бора относится к типу кататических (нисходящих) холодных ветров местного характера [1], которые возникают при движении холодного плотного потока воздуха под действием силы тяжести на горных склонах, обращенных к морю. Наиболее известной является новороссийская бора, наблюдающаяся на Кавказском побережье Черного моря от Анапы до Геленджика. Бора также наблюдается на Новой Земле, северном побережье Адриатического моря, на берегах Антарктиды и в других местах земного шара. Для Южного берега Крыма (ЮБК) также характерно явление боры.

Исследованию новороссийской боры посвящена работа [2], где дан наиболее полный обзор исследований природного процесса в указанном регионе Черного моря. В работе [3] с помощью методов численного моделирования воспроизведена высокочастотная изменчивость скорости ветра в период протекания крымской южнобережной боры, которая во многом определяется особенностями рельефа горного склона береговой зоны.

Довольно большие размеры Черного моря и значительные различия тепловых бюджетов морской поверхности и суши определяют процесс трансформации воздушных масс. Попадая на поверхность моря, холодные воздушные массы при боре нагреваются, увлажняются и

расширяются, растекаясь веерообразно по морской поверхности и теряя скорость по мере удаления от берега.

Взаимодействие в системе море–атмосфера–суша различаются по масштабу явления. К крупномасштабным процессам взаимодействия относятся циклоническая и антициклоническая деятельность. Горно-долинные ветры, бризы, смерчи представляют маломасштабные процессы. Крымская южнобережная бора относится к среднимасштабным процессам.

Анализ влияния акватории Черного моря на синоптические процессы циклонического и антициклонического типов в различные сезоны года, зависимость климата черноморского региона от географического положения моря, условий атмосферной циркуляции в регионе, а также характера орографии берегов моря подробно рассмотрены в работе [4].

Крымская бора является типичным примером влияния температурных контрастов в системе «море–суша» на мезомасштабную атмосферную циркуляцию при антициклонической синоптической обстановке.

**Характеристика синоптической обстановки во время крымской боры.** Синоптическим фоном осенне-зимних северо-восточных штормов в черноморском регионе являются обширная область повышенного атмосферного давления к северу и северо-западу от моря и область пониженного давления вдоль Анатолийского побережья или в районе Батуми [4]. Область повышенного дав-



ления захватывает северную и северо-западную части моря. Средняя величина градиента приземного атмосферного давления в регионе изменяется от 1 до 2 гПа на градус меридиана. Такая величина градиента не всегда достаточна для возникновения штормового ветра со скоростью 20 м/с. Главным фактором усиления ветра следует считать градиент температуры у поверхности земли и моря. Вследствие трения о землю ветер отклоняется от изобар, приближаясь к направлению градиента приземной температуры воздуха. Аналогичная крупномасштабная синоптическая ситуация как предвестник боры рассмотрена в работе [5]. В обоих случаях над Крымом наблюдается сгущение изобар, т.е. увеличение градиента атмосферного давления, что вызывает усиление ветра северного направления при прохождении над Крымом холодного фронта.

Сильные северо-восточные ветры над Крымом возникают чаще всего при высоком атмосферном давлении. Они более устойчивы по направлению, и продолжительность их больше, чем у циклонических западных и юго-западных ветров, скорость которых, тем не менее, выше. Продолжительность северо-восточных ветров обычно составляет 2–5 суток, иногда более 6 суток. В летний период величины градиента давления часто бывает недостаточно для развития штормового ветра. Однако он может возникать вследствие большого температурного градиента в дневные часы по линии Азовское море – Крым, определяемого различием скорости нагрева воздуха над сушей и морем. В этом случае четко проявляется суточный ход скорости северо-восточного ветра с ночным его уменьшением [4].

**Особенности боры по наблюдениям в Качивели.** Крымская южнобережная бора является следствием влияния тепловых контрастов в системе «море-суша» на атмосферную циркуляцию в момент антициклонической синоптической обстановки. Она наблюдается на подветренных склонах ЮБК в виде штормового порывистого холодного ветра со скоростями 15–20 м/с с порывами до 40–60 м/с при одновременном резком падении температуры воздуха у

моря на 10–15°C. Например, в последней декаде января 1995 г. при боре скорость ветра в Ялте достигала 40 м/с, а в Качивели – 39 м/с. Температура воздуха при этом понизилась на 10°C. По данным справочника А.И. Сорокиной [6], крымская бора отмечается 7–9 дней в году, что значительно реже по сравнению с новороссийской борой.

Общим метеорологическим условием возникновения боры является большой контраст температуры поверхностей моря и суши и соответствующее этому барическое поле с градиентом, направленным в сторону моря.

Хотя действие боры локализовано в пределах узкой прибрежной полосы, ее возникновение и развитие напрямую связано с крупномасштабными атмосферными образованиями. Как уже отмечалось, синоптическим фоном при появлении боры является область высокого давления в районе от Скандинавского полуострова до Балкан и область низкого давления от северного Урала до низовий Волги. По восточной периферии антициклона в Крым вторгается континентальный холодный воздух Арктики. Температура резко падает. Эффект усиливается, если над Черным морем в это время проходит циклон, и в тыл ему устремляется холодный воздух с севера. Давление повышается, температура падает. Бора получает развитие вслед за прохождением по прибрежной зоне холодного фронта. Часто в атмосфере наблюдается температурная инверсия, что вызвано вторжением арктических воздушных масс и «провалом» холодного воздуха стратосферы. В это время на ЮБК могут наблюдаться температуры воздуха до -10°C и ниже.

Предвестниками боры являются густые слоисто-кучевые облака у вершин гор (рис. 1).



Рис. 1. Облака – предвестники боры над Ай-Петринской яйлой в районе Качивели



Далее следует усиление северного ветра по мере того, как холодный воздух «переваливает» через Главную гряду Крымских гор и с нарастающей скоростью устремляется по подветренному склону под действием силы тяжести, фактически представляя собой своеобразную воздушную лавину.

Локальным фактором усиления боры являются особенности орографии горных склонов береговой зоны. На ряде участков береговой линии, которые обычно соответствуют бухтам, Южная гряда Крымских гор отступает подковообразно на север, и горный склон представляет собой более протяженный в южном направлении долинный амфитеатр со значительными уклонами (до 30° и более), который исторически формировался речной сетью. Примером таких участков являются береговые горные амфитеатры Ялты, Алушты, а также Качивели (Лименская долина), где протяженность склона достигает 5 км и более при уклонах поверхности до 20° и более. В сторону моря амфитеатр сужается в направлении восток-запад. На подходе к береговой линии это создает аэродинамические условия для концентрации

воздушного потока при боре и резкого усиления скорости ветра в населенных пунктах на берегу бухт. Отметим, что на участках, где гряда гор обрывается круто в море (например, на мысе Айя) скорость ветра при боре незначительна, так как падающий в море поток ветра не имеет достаточного разгона по наклонной плоскости, как в долинных амфитеатрах Ялты, Алушты и Качивели. Отдельные «хребты» рельефа, расположенные в долинах как вдоль (в направлении север-юг), так и поперек потока (в направлении восток-запад), создают препятствие ветру. В районе Качивельского амфитеатра такими являются хребет г. Хыр, который разделяет Качивельский амфитеатр на западную (район Понизовки) и восточную (Лименская долина) части. В Лименской долине имеются отдельные хребты и утесы, сложенные как вулканическими (отроги г. Хыр) так и осадочными породами (отроги «хвоста» г. Кошки). Под действием мощных потоков северного ветра при боре эти хребты постепенно разрушаются с формированием характерных «столбов» и утесов выветривания, рис. 2.



Рис. 2. Формы выветривания в Лименской долине: А – туфовые утесы склона г. Хыр; Б – известняковые столбы склона г. Кошка

Обтекая эти препятствия, поток ветра сильно турбулизируется, и достигает моря в виде вихрей и шквалов, подымая на его поверхности «водяную метель».

Анализ повторяемости боры был проведен по данным архивных наблюдений на гидрометеорологическом посту в Качивели за период с 1956 по 2015 гг.

На основании длительных рядов гидрометеорологических инструментальных наблюдений скорости и направления ветра сделан анализ по количеству по-

вторяемости случаев сильного и ураганного ветра ( $V_{cp} > 10$  м/с) северного направления (340°–10°), характерного для явления боры. При среднем ветре, большем 20 м/с, бора может причинять значительные разрушения на побережье. Во время боры температура воздуха может значительно понижаться.

На рис. 3 представлена диаграмма, характеризующая распределение по годам общего количества дней с борой.



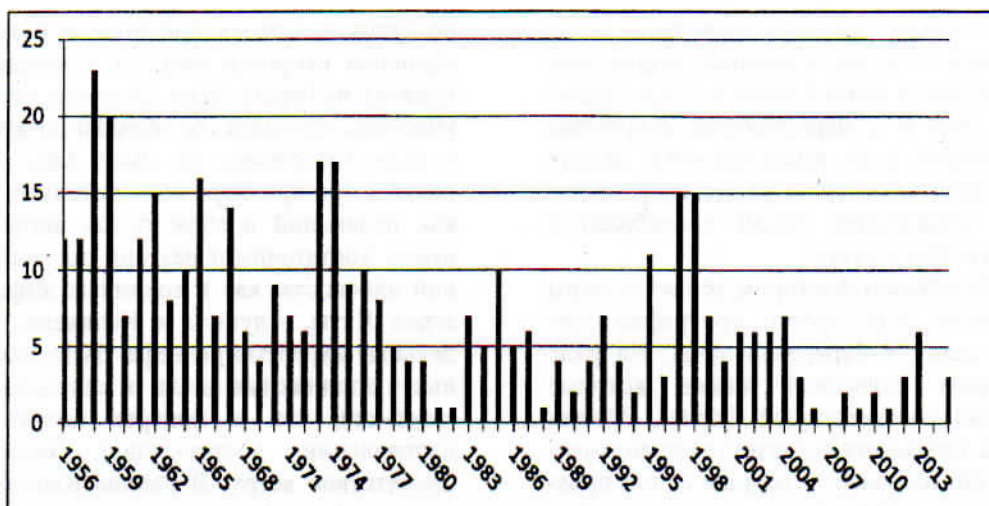


Рис. 3. Распределение количества дней боры за период 1956–2015 гг.

За исследуемый период наблюдалось 410 случаев боры, общей продолжительностью 423 дня. Продолжительность случая единичной боры в основном составляет 1 сутки. Бора, длящаяся двое суток, наблюдалась 16 раз (1956 г. – 2 случая; 1962 г. – 2 случая; 1958, 1980, 1983, 1984, 1985 гг. – 2 случая; 1988, 1991, 1997 гг. – 2 случая; 1998, 2002 гг. – 1 случай). Случаев боры продолжительностью 3 суток и более не наблюдалось.

В 1958 г. зафиксировано наибольшее количество дней с борой – 23, из них: в январе – 5, феврале – 2, марте – 1, апреле – 1, мае – 1, июне – 3, июле – 2, августе – 4, сентябре – 1, ноябре – 1, декабре – 2.

Данные на рис. 3 демонстрируют тенденцию уменьшения количества явлений боры. Если за первую половину рассматриваемого интервала, с 1956 по 1985 гг., среднее количество дней боры составило 10, то за вторую половину, с 1986 по 2015 гг., уже только 5.

Наиболее часто бора наблюдалась в период 1956–1976 гг., далее следует уменьшение этого показателя, с небольшим увеличением в 1983–1987 гг. и 1995–2004 гг., а начиная с 2005 г., число дней боры уменьшилось. В 2007, 2014 гг. и первой половине 2016 г. боры не наблюдалось.

Наиболее часто бора наблюдается в холодную часть года (октябрь–март), реже – в теплую часть (апрель–сентябрь), что демонстрирует гистограмма на рис. 4.

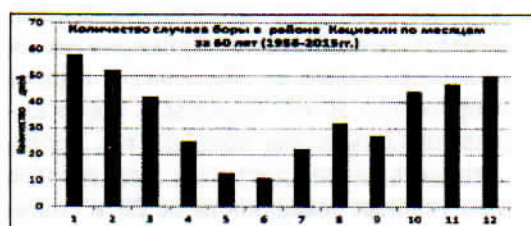


Рис. 4. Сезонное распределение случаев боры за период 1956–2015 гг.

Наибольшая повторяемость боры в холодную половину года вполне закономерна. В этот сезон наиболее ярко проявляется влияние взаимодействия между холодным материком и относительно теплым Черным морем на термобарические процессы в регионе.

Максимальное количество случаев боры зафиксировано в январе – 58, минимальное – в июне – 11.

Рассмотрим конкретный случай боры. В ночь с 19.01.2006 на 20.01.2006 над ЮБК прошла ледяная буря со штормовым ветром до 36,6 м/с. Температура воздуха понизилась с плюсовых значений до  $-10^{\circ}\text{C}$ , земля покрылась снегом и ледяной коркой. В лесных массивах имел место повал деревьев, а в поселке – разрушения отдельных построек. За ночь 22.01.2006 выпало до 30 см снега.

На рис. 5 представлены карты синоптической ситуации над Европейским континентом за 19 и 20 января 2006 г., на фоне которой развивалась крымская бора (по данным NCEP Reanalysis).



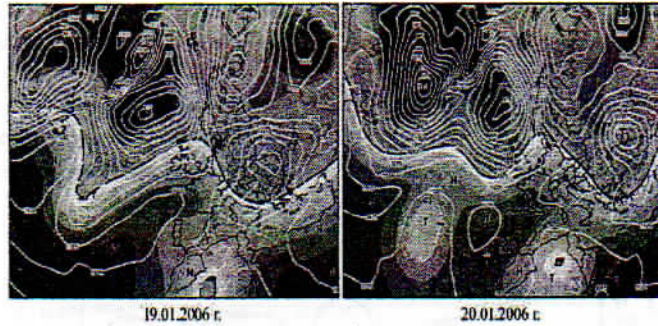


Рис. 5. Карты барической топографии (гПа) для Европейского региона на 19.01.2006–20.01.2006 по данным архива NCEP Reanalysis для периода развития боры

Данная синоптическая ситуация является «классической» для развития боры над ЮБК, когда область высокого давления располагается вдоль линии Карпаты – Скандинавский полуостров с центром над Новой Землей, а циклон – в районе Уральских гор. Над Черным морем проходит юго-западный циклон, в тыл которому, по мере прохождения,

затекает холодный северный воздух. Развивается бора.

На рис. 6 показаны графики изменения скорости ветра и атмосферного давления, а на рис. 7 – температуры и относительной влажности воздуха за три дня до и три дня после наступления максимального значения скорости ветра северного направления во время прохождения боры.

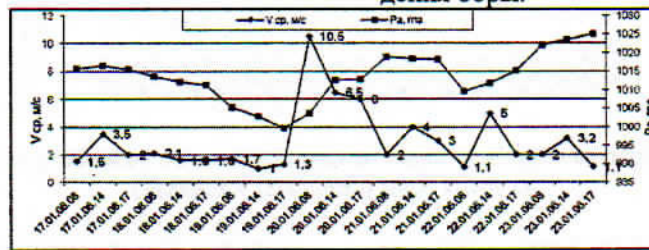


Рис. 6. Средняя скорость ветра и атмосферное давление с 17.01.06 по 23.01.06 во время боры (метеопост Качивели)

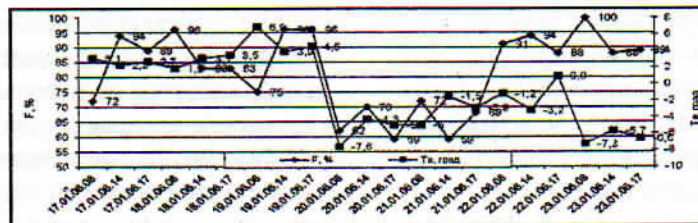


Рис. 7. Температура воздуха и относительная влажность с 17.01.2006 по 23.01.2006 во время боры (метеопост Качивели)

Температура упала с +6°C до почти -8°C, при одновременном снижении относительной влажности с 96 до 60%.

Кроме того, при прохождении боры в прибрежной акватории наблюдалось явление «водяной метели», при котором при незначительной высоте волн (от 0,1 до 0,3 м) ветер срывает с поверхности большие массы воды и несет их на значительное расстояние от берега – до 3–5

км. При этом на поверхности воды наблюдаются множественные водяные смерчи высотой до 50 м и более. В условиях отрицательных температур зимней боры («черная бора»), которая обычно протекает при сплошной облачности и сильном снегопаде, такая водяная метель представляет большую опасность для судоходства, так как приводит к быстрому обледенению корпуса судна, поте-



ре его остойчивости и неизбежной катастрофе. Конкретные случаи подобных катастроф, связанных с зимней борой у берегов Новороссийска и ЮБК описаны в работах [7, 8].

Самый сильный ветер северного направления был зафиксирован 7 февраля 2012 г. Его скорость достигла

40,2 м/с, при среднем значении 5,9 м/с. На рис. 8 показано изменение скорости ветра и атмосферного давления, а на рис. 9 – температуры и относительной влажности воздуха за три дня до и три дня после времени максимального значения скорости.

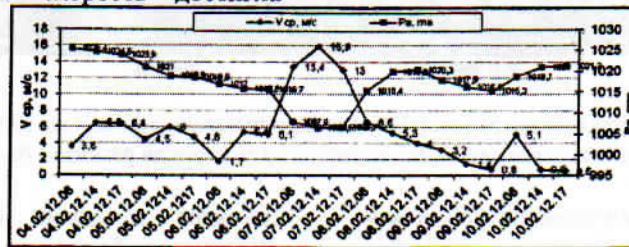


Рис. 8. Средняя скорость ветра и атмосферное давление с 04.02.2012 по 10.02.2012 во время боры (метеопост Кацивели)

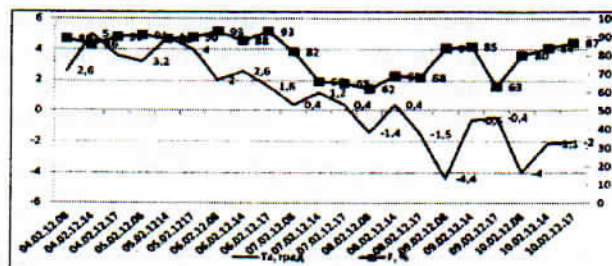


Рис. 9. Температура воздуха и относительная влажность с 04.02.2012. по 10.02.2012 во время боры (метеопост Кацивели)

Влажность воздуха упала с 90% до почти 60% при одновременном понижении температуры почти на 10°C, с +5°C до почти -5°C. При таких высоких скоростях ветра снижение температуры привело к катастрофическим последствиям для растительности ЮБК. Большое количество деревьев, включая сосны, кедры, кипарисы и др., были повреждены морозом или сломаны.

В теплый период года температурные и барические градиенты над морем уменьшаются. В этот сезон сильные северные ветры не вызывают резкого понижения температуры воздуха, в отличие от зимнего периода. Однако, отдельные случаи боры имеют место и в конце летнего периода. Последний за период наблюдения случай боры в Кацивели имел место в ночь с 13 на 14 августа 2016 г. Скорость ветра в порывах достигала 20 м/с. Зафиксировано несколько сносов кровель построек, поломанные

деревья. Температура воздуха упала с 35 до 20°C. Бора сопровождалась ливнем и грозой, за ночь выпало около 15 мм осадков.

Отличительной особенностью крымской боры, по сравнению с новороссийской, является ее небольшая продолжительность, которая составляет 1-2 суток.

На рис. 10 представлено распределение средней скорости ветра более 10 м/с северного направления за исследуемый период по отрезкам времени.

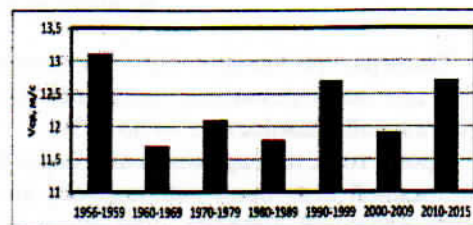


Рис. 10. Средняя скорость ветра северного направления более 10 м/с по временным интервалам



Временные интервалы с 1956 по 1959 гг., с 1990 по 1999 гг., с 2010 по 2015 гг. характеризуются более высокими значениями скорости ветра при боре.

Для исследуемого района также характерна стоковая и муссонная циркуляции. Однако, они играют вспомогательную роль при развитии фронтальной бора. Являясь постоянно действующим фактором, эта циркуляция оказывает существенное влияние на климат и погоду региона, играя заметную роль в формировании сильных северо-восточных ветров и усилении бора на южном побережье.

**Заключение.** Результаты изучения представленных выше данных наблюдений явления крымской южнобережной бора в Качивели позволяют констатировать, что несмотря на меньшие значения скорости ветра и продолжительности крымской бора по сравнению с новороссийской, крымская бора, особенно в холодный период года, может представлять существенную опасность для человека, объектов береговой инфраструктуры и прибрежного судоходства. Она характеризуется большей изменчивостью во времени и на протяжении береговой линии, большей зависимостью от местных факторов – уклона рельефа, близости Главной гряды гор, пространственной конфигурации амфитеатров и хребтов горного склона побережья. С метеорологической точки зрения интенсивность и прогноз бора на ЮБК определяется в значительной мере синоптической ситуацией, характерной для вторжений с севера холодных воздушных масс в осенне-зимне-весенний период, когда

указанные холодные массы воздуха прорываются к морю через барьер Главной гряды Крымских гор.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прох Л.З. Словарь ветров. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 157 с.
2. Гусев А.М. (Ред.) Новороссийская бора. Тр. МГИ АН СССР. Т. 14. М.: АН СССР, 1959. 140 с.
3. Ефимов В.В., Барабанов В.С. Моделирование черноморской бора // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2013. 49. № 6. С. 688–698.
4. Ковешников Л.А., Иванов В.А., Богуславский С.Г., Казаков С.И., Каминский С.Т. Вопросы теплового и динамического взаимодействия в системе море–атмосфера–суша Черноморского региона // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. 2001. Вып. 3. С. 9–52.
5. Ефимов В.В., Комаровская О.И. Пространственно-временная структура ялтинской бора // Морской гидрофизический журнал. 2015. № 3. С. 3–14.
6. Соркина А.И. (Ред.) Справочник по климату Черного моря. М.: Гидрометеиздат, 1974. 407 с.
7. Шнюков Е.Ф., Митин Л.И., Цемко В.П. Катастрофы в Черном море. Киев: Манускрипт, 1994. 296 с.
8. Доценко С.Ф., Иванов В.А. Катастрофические природные явления Азово-Черноморского региона. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2013. 193 с.

#### SOUTH COAST CRIMEAN BORA WIND BY OBSERVATIONS AROUND KATSIVELI

S.I. Kazakov, V.V. Metik-Diyunova, Yu.V. Simonova, A.S. Boguslavsky

FSBSI Black Sea Hydrophysical Proving Ground of RAS, 298688, urban settlement Katsiveli, Rep. Crimea. E-mail: science@bshpg-ras.ru

Based on the analysis of observations data of wind speed, temperature, pressure and humidity at Katsiveli meteorological observatory, the characteristic features of Crimean South-Coast bora wind and its main differences from the Novorossiysk bora wind are investigated. Shown is the higher variability and dependence of the bora wind intensity on the local factors of Crimea South Coast determined by the geomorphological and climatic characteristics of the coastal zone.

**Keywords:** bora wind, Southern Coast of Crimea, synoptic situation, cyclone, anticyclone, circulation, coastal zone, mountainside, relief.