

**Экстремальные скорости ветра в Атлантическом секторе  
Арктики: статистика и циркуляционные модели***А.В. Кислов<sup>\*</sup>, И.Р. Ломакин, С.А. Мысленков*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Россия, 119234, г. Москва, Ленинские Горы, д. 1*\*Адрес для переписки: avkislov@mail.ru*

**Реферат.** Экстремальные скорости ветра над Гренландским, Норвежским и Баренцевым морями, а также прилегающей сушей, исследованы с помощью базы данных ERA5. Показано, что функция распределения вероятностей описывается распределением Вейбулла. Однако, самые большие и самые редкие значения сильно отклоняются от этого закона (по этому признаку их образно называют «драконами»): отличия могут превышать 10 м/с. «Драконы» связаны с циклонами, развивающимися в холодное время года на арктическом фронте. Но с такого же рода циклонами связаны менее мощные экстремумы, подчиняющиеся распределению Вейбулла (называемые «черные лебеди»). Оказалось, что на основе фронтального анализа эти ситуации разделить нельзя. В незначительной части случаев в тех регионах, где наблюдались самые мощные экстремальные ветра, обнаружены полярные мезоциклоны.

**Ключевые слова.** Экстремумы ветра, распределение Вейбулла, циклоны, полярные мезоциклоны, «драконы», «черные лебеди».

**Extreme wind speeds in the Atlantic sector  
of the Arctic: statistics and circulation models***A. V. Kislov<sup>\*</sup>, I. R. Lomakin, S. A. Myslenkov*M.V. Lomonosov Moscow State University,  
1, Leninskie Gory, 119234, Moscow, Russian Federation*\*Correspondence address: avkislov@mail.ru*

**Abstract.** Extreme wind speeds over the Greenland, Norwegian and Barents seas, as well as over adjacent land, were studied using the ERA5 database. It is shown that the probability distribution function is described by the Weibull distribution. However, the largest and rarest values deviate greatly from this law (for this reason they are figuratively called “dragons”): the differences can exceed 10 m/s. “Dragons” are associated with cyclones that develop during the cold season

---

on the Arctic front. Less powerful extremes that obey the Weibull distribution (called “black swans”) are associated with the same kind of cyclones. It turned out that these situations cannot be separated based on frontal analysis. In a few cases, the polar laws were detected in those regions where the most powerful extreme winds were observed.

**Keywords.** Wind extremes, Weibull distribution, cyclones, polar mesocyclones, “dragons”, “black swans”.

## Введение

Определение функции распределения вероятностей (ФРВ) экстремальных значений составляет основу классической статистической теории экстремумов. В ней исследуются статистические свойства максимума выборки независимых случайных величин, имеющих одну и ту же функцию распределения (принцип iid = independent and identical distribution). Показано, что при стремлении объема выборки к бесконечности, ФРВ экстремумов описывается функциями Фреше, Вейбулла или Гумбеля (или их так называемым обобщенным распределением) (Coles, 2001). Истоки определения максимума такого рода асимптотической выборки можно проследить в работах (Fisher and Tippett, 1928; Gnedenko, 1943). В данной работе исследуются максимальные скорости ветра. Для описания их вероятностных свойств успешно применяется ФРВ Вейбулла (Kislov, Matveeva, 2016; Kislov, Platonov, 2019; Palutikof et al, 1999),

$$F(u) = 1 - \exp(-Au^k), \quad (1)$$

где  $A$  и  $k$  – параметры, определяемые по выборке.

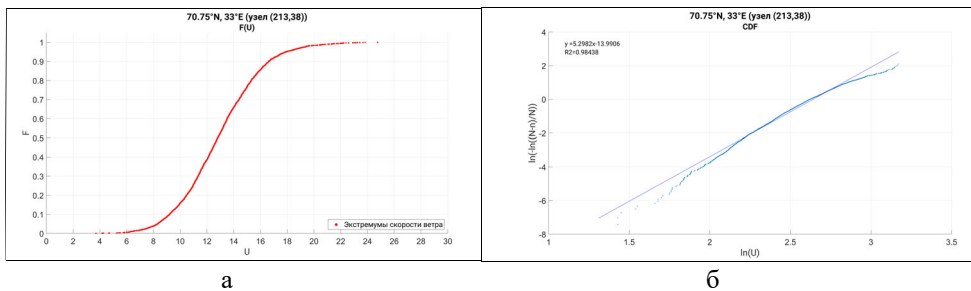
Наглядна запись данного выражения в форме

$$\ln[-\ln(1-F(u))] = k \ln(u) + \ln(A), \quad (2)$$

поскольку при использовании левой части данного выражения и логарифма скорости в виде специальных координат, данная зависимость выражает уравнение прямой. Если нанесенные на такой график значения эмпирической ФРВ укладываются на прямую (с допустимым разбросом), то это свидетельствует о том, что Вейбулловское распределение служит ее теоретической моделью.

Для конкретного примера, ФРВ и она же, спрямленная в координатах Вейбулловского распределения, представлена на рис. 1 (а, б). Теоретически подобранная ФРВ описывает весь набор эмпирических данных с высокой точностью (коэффициент детерминации равен 0.99), однако в области хвоста распределения эта аппроксимация не подходит, причем это визуально проявляется настолько отчетливо, что специальные статистические тесты (Janczuga and Weron, 2012; Sornette and Ouillon, 2012) для выявления такого поведения даже не требуются. Аналогичная ситуация, когда теоретическая статистиче-

ская модель описывает всю выборку за исключением самых больших значений, выявлена и при рассмотрении других гидрометеорологических величин, например, высоты морских волн (Myslenkov et al, 2021), осадков (Kislov et al, 2022), а также многих экстремумов иной природы: распределений городов по народонаселению, магнитуды землетрясений, интенсивности природных пожаров, биржевых показателей и др. (Sornette, 2009). То есть эмпирическая ФРВ характеризуется некоторым «базовым распределением», отклонения от которого становятся заметны при попытках описать этой закономерностью вероятность самых больших значений. По нашему предположению, это происходит из-за того, что нарушается принцип iid, а именно требование принадлежности элементов выборки к одному и тому же распределению вероятностей (Kislov, Platonov, 2019), что, в свою очередь, может свидетельствовать о том, что в выборку «замешаны» события разной физической природы (Голицын, 2013). Универсальность этого свойства вызвала к жизни попытки физического и философского осмысления данной ситуации, что привело к появлению своеобразной терминологии: самые большие экстремумы, относящиеся к базовому распределению, стали называть «черные лебеди» (Taleb, 2010), в то время как еще более мощные события, находящиеся вне базового закона, получили название «королей» или «драконов», чем подчеркивается их специфичность (Sornette, 2009).



**Рисунок 1.** Функция распределения повторяемостей экстремумов модуля скорости ветра, выделенных по выборке ERA5 путем выбора максимального значения из последовательных величин за 48 часов (см. Методы) (а) и ее сопоставление (б) с моделью Вейбулловского распределения (в специальных координатах)

*Коэффициент детерминации, характеризующий точность аппроксимации эмпирических данных Вейбулловским распределением, составил 0.99 потому, что подавляющее множество значений оказалось близко к теоретической функции, а отклонения в начале и конце выборки не играют здесь принципиального значения, потому что их удельный вес в выборке очень мал. (По данным реанализа ERA5, для 70.75° с.ш., 33° в.д.).*

**Figure 1.** The probability distribution function of the extremes of the wind velocity, based on the ERA5 samples by selecting the maximum value from successive values over 48 hours (see Methods) (a) and its comparison (b) with the Weibull distribution model (in special coordinates) *The coefficient of determination characterizing the accuracy of approximation of empirical data by the Weibull distribution was 0.99, because the overwhelming majority of values turned out to be close to the theoretical function, and deviations at the beginning and end of the sample do not play an important role here because their specific weight in the sample is very small. (According to ERA5 reanalysis, for 70.75° N, 33° E).*

Для того чтобы подобрать ФРВ для описания всей выборки, в различных приложениях предпринимаются попытки использования трех и более

параметрических зависимостей для описания ФРВ, вплоть до смеси нескольких ФРВ. Таким путем удастся аппроксимировать все особенности поведения функции, однако такой подход не всегда оправдан из-за того, что многопараметрические выражения неустойчивы к малым изменениям выборки, и, кроме того, подобный эмпирический путь лишает теорию экстремумов той привлекательной математической законченности, которая отмечена выше.

В данной статье рассматривается вопрос о применимости базового распределения, параметры которого определены по всей совокупности выборки, к самым крупным экстремальным величинам. Практически, ставится вопрос о том, насколько квантильные значения базового распределения, соответствующие, в том числе широко применяемым на практике значениям с вероятностями 0.99, 0.95 и др., пригодны для адекватной характеристики экстремумов в области хвоста распределения. Как следует из рис. 1, можно визуально определить (как отмечено выше), на каком значении вероятностей базовая ФРВ уже недопустима для эмпирических значений. Однако, такой визуальный анализ, возможный при рассмотрении нескольких рядов данных, становится непродуктивен, если исследуются тысячи и десятки тысяч рядов, что реально при анализе детализированных архивов данных моделирования. При этом, обычно соответствие теоретической ФРВ эмпирическим вероятностям автоматически проверяется критериями (поскольку подбор происходит на основе принципа максимального правдоподобия, то это может быть и коэффициент детерминации  $R^2$ , который, по сути, родственен статистическому критерию), на величину которых различия на хвостах распределения оказывают небольшое влияние, потому что там мало значений. Однако квантильные величины, соответствующие подобранной ФРВ, не будут соответствовать эмпирическим значениям, так как различия базового и эмпирического распределений становятся велики именно в области больших величин. Поэтому возникает необходимость оценить погрешность, возникающую при таком типичном подходе к анализу данных.

Второй вопрос связан с выявлением того, какие атмосферные явления ответственны за возникновение «сверхбольших» аномалий. Логика заключается в том, чтобы попытаться определить специфичность физики такого рода явлений, отличающую их от всей массы других событий. Таким образом, предлагается искать физические факторы, ответственные за появление «необычайных» событий, то есть тех, статистическим свойствам которых не найдется места в рамках базовой ФРВ. Речь идет о попытке, используя упомянутую идеологию, выявить различия атмосферных процессов, приводящих или к «драконам», или к «черным лебедям». При анализе экстремумов скорости ветра единственным достижением на этом пути стало установление того, что реалистичность ФРВ (проявляющаяся в появлении в выборке «драконов») увеличивается при моделировании атмосферных процессов с высоким пространственным разрешением (Kislov, Platonov, 2019), что свидетельствует о том, что это связано с корректным воспроизведением мезомасштабных комплексов, в том числе и конвективных явлений. В этом плане для Арктики одна из гипотез, которые могут быть проверены, это попытка

---

определить, всегда ли необычайные с точки зрения статистических свойств экстремумы скорости ветра связаны с полярными мезоциклонами (Rasmusen, Turner, 2003).

## Данные

Регион исследования (67-80° с.ш., 20° з.д.-60° в.д.) включает Баренцево море, близлежащие акватории соседних морей – Карского, Норвежского и Гренландского, а также прибрежные внутриматериковые районы. Поскольку арктический регион характеризуется редкой сетью, а наблюдения над морями нерегулярны во времени и пространстве, для решения поставленных задач были использованы ежечасовые данные реанализа ERA5 (Hersbach et al., 2020) по вышеуказанному региону (321x53=17013 узлов) для зональной и меридиональной компонент скорости ветра с шагом сетки 0.25°×0.25° за период 1979-2023 гг. Анализ экстремальных значений целесообразно проводить отдельно для холодного и тёплого сезонов, поскольку они формируются в условиях различных не только температур, но и фоновых режимов циркуляции атмосферы. Особенно сильные ветры в Арктике развиваются в холодный период года (Кислов, Матвеева, 2016), поэтому в настоящей работе использованы данные для периода ноябрь-март.

Для соблюдения условия независимости данных, т.е. чтобы каждый экстремум относился к разным событиям (различным штормам), набор экстремумов для каждого из узлов сетки получен путём отбора максимального значения модулей скорости ветра, по данным ERA5, за каждые 48 часов. Такой критерий получен на основе автокорреляционного анализа, продемонстрировавшего, что в подавляющем большинстве случаев связность в ряду оказывается статистически незначимой за пределами двух суток. Таким образом, для каждого узла сетки был получен ряд из 3630 значений. Дополнительно из ряда были исключены «искусственные» интервалы, где максимум отбирался за 31 марта и 1 ноября.

Для дальнейшего анализа ряд был проранжирован по убыванию и для каждого узла отобраны максимальные значения скорости ветра с соответствующими датами, в которые они зафиксированы. Для каждого двухсуточного интервала календарь содержит информацию о количестве узлов, в которых зафиксирован максимум, их координатах, а также о значении скорости ветра в каждом из этих узлов. Так, если использовать только три значения, получается календарь из 324 уникальных двухсуточных интервалов, в каждом из которых, по крайней мере в 1 узле области, наблюдался максимум скорости ветра, попадающий в первую тройку за исследуемый период.

Дальнейшая обработка заключалась в исключении тех дат, максимальная скорость ветра в которые была ниже порогового значения, априорно выбранного 12 м/с – такие сравнительно небольшие скорости часто являются экстремальными для узлов, находящихся на суше. В то же время над морем неоднократно зафиксированы значительно более высокие скорости ветра (более 20 м/с), которые не всегда попадали в первую тройку.

---

Для ответа на второй вопрос – анализа атмосферных циркуляционных систем, во время которых наблюдались «драконы» – для интересующих дат из календаря экстремумов были проанализированы архивные синоптические карты с фронтальным анализом Немецкой службы погоды (DWD) ([https://www1.wetter3.de/archiv\\_dwd\\_dt.html](https://www1.wetter3.de/archiv_dwd_dt.html)). А также за тот же период, по данным ERA5, построены дополнительно поля атмосферного давления на уровне моря с шагом в 3 часа, что позволило на основе высокодетальных данных отследить динамику циркуляционных систем, ответственных за формирование экстремального ветра.

В этом аспекте отдельной задачей предстояло выяснить, наблюдались ли в этих случаях полярные мезомасштабные циклоны (далее – ПМЦ) – сравнительно небольшие, но очень интенсивные морские циклоны, которые формируются к северу от положения главной бароклинной зоны арктического фронта (Rasmussen, Turner, 2003). Горизонтальные размеры ПМЦ обычно в диапазоне 200-1000 км. В Северном полушарии ПМЦ возникают наиболее часто в Норвежском, Баренцевом и Гренландском морях (Stoll et al., 2018), причем максимум случаев приходится на Норвежское и Баренцево моря (Rojo, 2015). Именно здесь ПМЦ могут влиять на работу судоходства, авиации и нефтегазовых месторождений (Revokatova et al., 2021). По данным наблюдений установлено, что максимальные скорости ветра, связанные с ПМЦ, могут достигать от 25 до 35 м/с (Shapiro et al., 1987; Smirnova, Golubkin, 2017).

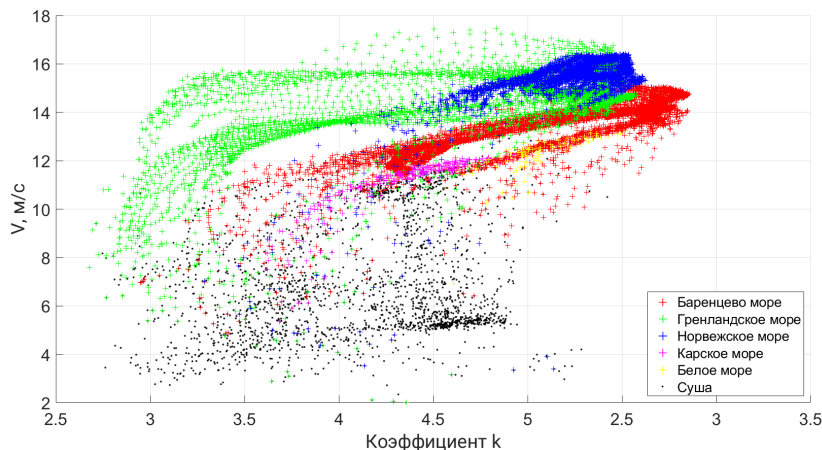
Для проверки наличия ПМЦ во время дней, взятых из календаря экстремумов, использованы данные глобальной климатологии ПМЦ (Stoll et al., 2022), также построенной на основе ERA5, что дало возможность на основе одного источника данных более точно идентифицировать связь конкретных случаев экстремумов с ПМЦ. Климатология сформирована на основе алгоритма трекинга ПМЦ, предложенного в (Watanabe et al., 2016), и адаптированного алгоритма, описанного в (Stoll et al., 2018). Алгоритм основан на идентификации локального максимума в сглаженном поле относительной завихренности на уровне 850 гПа, превышающего  $1.5 \times 10^{-4} \text{ с}^{-1}$  (величину параметра Кориолиса в высоких широтах). На каждом последующем временном шаге алгоритм трекинга объединяет самые большие максимумы завихренности в пределах 150 и 200 км для уровней 700 и 1000 гПа, а затем, на основе ряда эмпирических критериев – признаков атмосферного фронта, характеристик статической устойчивости, интенсивности, размера (диаметр ПМЦ не превышает 430 км) выполнено выделение ПМЦ из совокупности иных циркуляционных систем. Трек определяется как трек ПМЦ, если он удовлетворяет всем четырём критериям.

### **Соответствие квантильных значений базового распределения Вейбулла квантильным значениям скоростей ветра эмпирического распределения повторяемости**

Подбор параметров Вейбулловского распределения был осуществлен для каждого узла рассматриваемой области, покрытой сеткой ERA5. Оказа-

---

лось, что аппроксимация эмпирической ФРВ данной моделью очень высокая: коэффициент детерминации лишь один раз опустился до 0.8, а обычно находился около 0.95-0.98 (см. рис. 1). На рис. 2 показано соотношение параметров Вейбулловского распределения для множества узлов, относящихся к акваториям 5 морей, а также к суше, попадающих в область исследования. Здесь вместо параметра  $A$  по оси ординат отложен параметр  $V$ , определённый как  $V \equiv A^{-1/k}$  представляющий собой величину скорости, близкую к медианному значению выборки.



**Рисунок 2.** Параметры распределения Вейбулла  $k$  и  $V$ , рассчитанные в узлах сетки ERA5

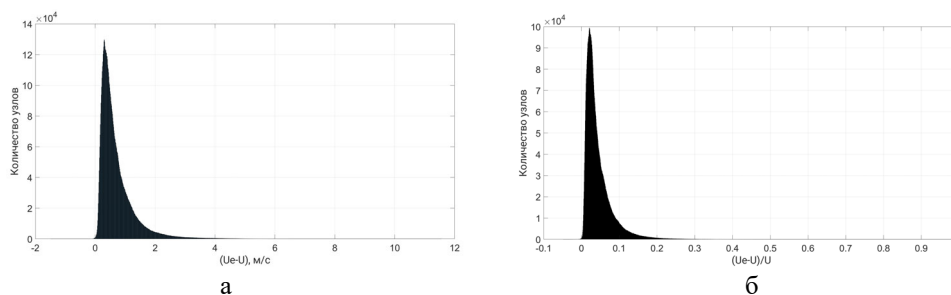
**Figure 2.** Weibull distribution parameters  $k$  and  $V$  calculated at the ERA5 grid points

Из рис. 2 видно, что параметры  $k$  и  $V$  различны для разных регионов. Значения  $V$  лежат главным образом в пределах 12-14 м/с для Баренцева, 8-18 м/с для Гренландского, 14-16 м/с для Норвежского, 10-12 м/с для Карского и около 12 м/с – для части узлов в Белом море, попадающих в область исследования. Для суши значения заметно меньше, не более 12 м/с, причём заметны разные скопления точек на уровне 5-6 и около 11 м/с, соответствующие разным участкам суши – материковой части и островов. Хорошо заметно также, что при возрастании параметра  $k$  растут и значения  $V$ , причём для Гренландского и Баренцева морей параметры объединены в две параллельные ветви. Для морей с наибольшими средними скоростями (и, соответственно, значениями  $V$ ) – Норвежского и Баренцева – характерны самые высокие  $k$ .

Для стационарных данных, расположенных на побережье Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей характерны значения  $V$  в диапазоне 4-14 (редко до 18 м/с) и  $1 \leq k < 5.5$  (Kislov, Matveeva, 2016; Kislov, Platonov, 2019). Таким образом, данные ERA5 для суши (рис. 2) показывают достаточно близкие к стационарным значениям этих параметров.

Как уже отмечено, различия «драконов» и «черных лебедей» (см. рис. 1) начинают появляться при больших скоростях. Переходя на язык квантильных значений, можно сказать, что они становятся обычными для вероятностей, превышающих  $p \sim 0.95$ , а при дальнейшем переходе к большим величинам  $p$

различия увеличиваются. Сравнение эмпирических квантильных значений скорости и значений, соответствующих базовому распределению Вейбулла  $u(p) = \left(\frac{1}{A} \ln \frac{1}{1-p}\right)^{1/(k)}$ , показывает, что преобладающее большинство различий лежит в диапазоне 0-2 м/с (рис. 3а), что соответствует ~10% отклонениям (рис. 3б). Это фактически типичная, обобщенная по всей выборке величина различий между «драконами» и «черными лебедями». Отметим, что с метеорологической точки зрения эти различия сравнительно невелики, тем более что идет речь о редких событиях, для которых измеренные значения недостаточно достоверны. Однако удовлетвориться этим выводом было бы неправильно, поскольку крупные («сверхбольшие») аномалии реально существуют.



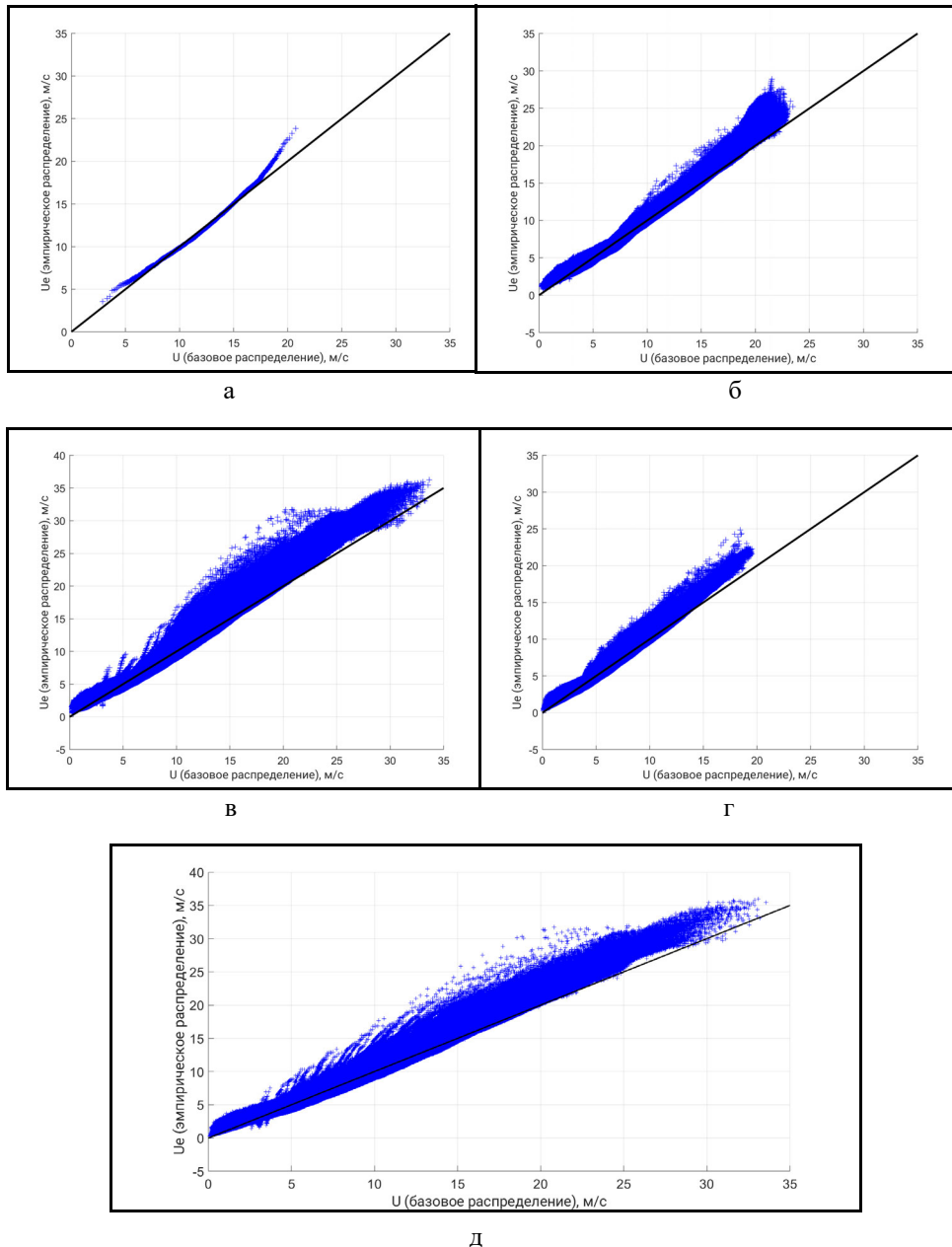
**Рисунок 3.** Повторяемость (количество случаев для совокупности проанализированных узлов сетки ERA5) различий между эмпирическими значениями модуля скорости ветра и значениями, соответствующими базовому распределению  
*а* – абсолютные различия (м/с) и *б* – относительные отклонения

**Figure 3.** The repeatability (number of cases for the ERA5 grid points) of differences between the empirical values of the wind velocity modulus and the values corresponding to the basic distribution  
*a* – absolute differences (m/s) and *b* – relative deviations

На рис. 4 представлены графики, демонстрирующие соотношение эмпирических квантильных значений и аналогичных значений, соответствующих базовому распределению. На примере конкретного узла (рис. 4а) можно видеть типичную картину: большинство значений лежит практически на биссектрисе, и лишь для  $p > 0.90$  заметно некоторое отклонение, где эмпирические значения несколько больше соответствующих им по базовому распределению. Для квантильных значений, соответствующих 0.95, эти различия могут достигать 3 м/с, для 0.99 уже 4.5 м/с, для 0.999 – до 7 м/с. При рассмотрении массы узлов (рис. 4(б-д)) эта картина несколько «размывается», поскольку квантильные значения скоростей на осях соответствуют разным вероятностям: например, для узлов сетки, расположенных на морях,  $U(0.95)$ , это около 20 или 25 м/с (рис. 4(б-в)), а для континентальных (рис. 4г) – гораздо меньше, например, 15 м/с, из-за этого область графика выше биссектрисы заполняется точками практически вдоль всей длины. Особенно это заметно в области небольших и для рис. 3д (где собрана информация по всему региону): видно множество полос, крайние правые части которых всё более заметно отклоняются от биссектрисы – это отдельные узлы на суше, для которых характерны



в целом более низкие значения скорости ветра, в том числе экстремумов. Тем не менее, отдельно для Баренцева моря (рис. 4б) для наибольших  $p$  расхождение значений остаётся отчетливо выраженным.



**Рисунок 4.** Квантиль-квантильный график эмпирических значений скорости ветра ( $u_e$ ) и значений ( $u$ ), соответствующих базовому распределению  
*a)* для узла сетки с координатами  $70^\circ$  с.ш.,  $40^\circ$  в.д., *б)* отдельно по Баренцеву морю, *в)* по Гренландскому морю, *г)* по материковой части суши, *д)* по всему исследуемому региону

**Figure 4.** Quantile-quantile graph of empirical values of wind speed ( $u_e$ ) and values ( $u$ ) corresponding to the basic distribution  
*a)* for a grid point with coordinates  $70^\circ$ N,  $40^\circ$ E, *b)* separately in the Barents Sea, *c)* in the Greenland Sea, *d)* on the mainland, *e)* throughout the studied region

---

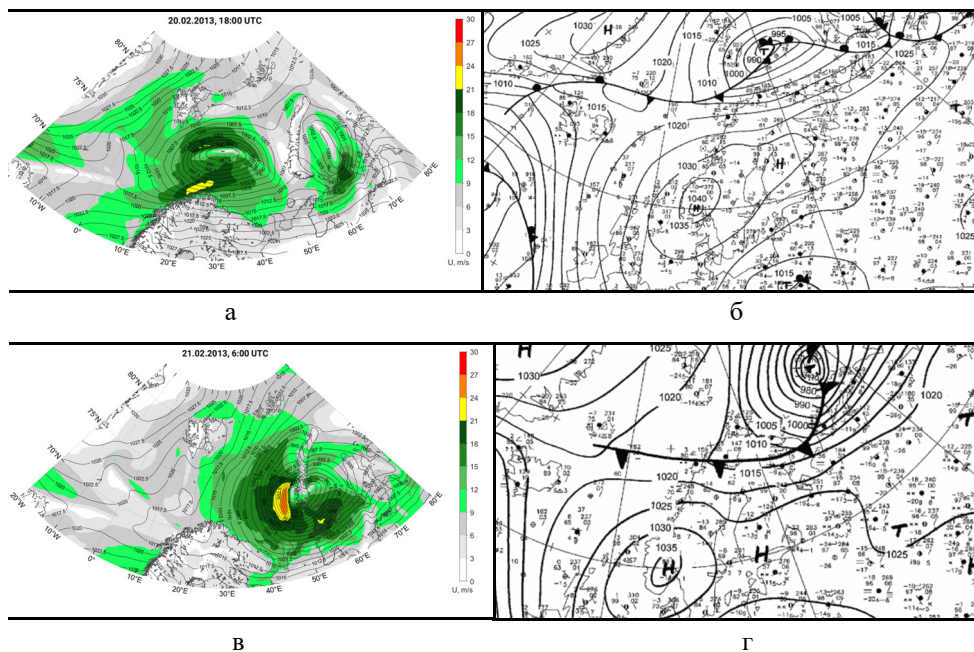
## Циркуляционные системы, соответствующие экстремальным скоростям ветра

Соотнесение информации о времени наступления экстремума в том или ином регионе, определенное в соответствии с календарем событий экстремального ветра, с циркуляционными атмосферными системами, выполнено на основе анализа карт давления, построенных по данным ERA5 с шагом 3 ч и архивных синоптических карт DWD с шагом 6 ч (доступных с декабря 2003 г.). Оказалось, что в подавляющем большинстве событий (за исключением случаев новоземельской боры) наиболее значительные экстремумы скорости ветра наблюдались в циклонах синоптического масштаба. Этот вывод близок к результатам, полученным, например, в работе (Суркова, Крылов, 2016) отдельно для акватории Баренцева моря, где на основе кластерного анализа показано, что экстремумы сопровождают циклонические системы с суммарной частотой ~70% за период 1981-2010 гг. При этой общей характерной черте – наличии циклона – сами события довольно разнообразны, это были как небольшие быстро смещающиеся циклоны – члены циклонических серий, – так и крупные долгоживущие циклоны. Как правило, наиболее сильный ветер в циклонах, по данным реанализа, наблюдался к западу, юго-западу, северо-западу от центра и у линий фронта с максимальным значением непосредственно у центра циклона или у линий фронта. Так, для 134 случаев с декабря 2003 по март 2023 гг. мы оценивали местоположение максимумов скорости ветра, по данным ERA5, относительно линий атмосферных фронтов, проведенных на картах DWD. В 86 из 134 случаев экстремальный ветер наблюдался за фронтом в тылу циклона. В 46 случаях экстремумы связаны с фронтом окклюзии (29 раз максимум отмечался непосредственно на фронте окклюзии). В двух случаях значительные скорости ветра отмечались на периферии антициклона с центром над севером европейской территории России и циклона с центром у Северного полюса (03.01.2008, 15.03.2015). Поскольку экстремальный ветер мог наблюдаться в разных частях циклонов одновременно, что не было редкостью, особенно в «старых» циклонах, а также из-за того, что в течение двухсуточного интервала барическое поле было столь изменчиво, что успевало пройти два и более циклонов, то отдельный случай мог попасть сразу в несколько категорий. Пространственный масштаб области сильных ветров слабо зависит от глубины, размера и стадии циклона: в одних случаях область максимума занимала его малую часть, в других сильный ветер наблюдался на обширной области по периферии циклонов, при этом максимальное значение чаще всего отмечалось вблизи центра.

Рассмотрим один из наиболее характерных примеров (относящихся к классу «драконов») – 19-21 февраля 2013 г. Максимальная скорость ветра в восточной части Баренцева моря у берегов о. Новая Земля достигла 27 м/с, для обширной территории (более 1000 узлов в сетке ERA5). Это событие может рассматриваться как одно из самых экстремальных (за последние 43 года наблюдалось еще два близких по мощности события). Максимум скоро-

---

стей ветра связан с циклоническим вихрем, который вечером 19 января был у берегов Гренландии, и в последующие 4 суток он смещался на восток и углублялся. Большие скорости ветра отмечались уже вечером 20 января (когда циклон достиг Баренцева моря) в двух областях: к северу от центра (рис. 5а) и, судя по синоптической карте, в тёплом секторе у побережья Скандинавии (рис. 5б). Максимальные же значения – более 25 м/с – наблюдались ночью и утром на обширной области в тыловой части уже значительно углубившегося циклона (рис. 5 в,г). После прохождения холодного фронта через архипелаг Новая Земля утром 21 февраля на метеостанции Малые Кармакулы в 9:00 ВСВ зафиксированы наибольшие за 3 суток средняя и максимальная скорости ветра – 24 и 33 м/с соответственно. Температурный фон над акваторией моря после прохождения циклона значительно изменился в связи с интенсивной адвекцией холодного воздуха в тылу. В последующие сутки циклон продолжил смещаться далее на восток за пределы исследуемого региона в акваторию Карского моря, с ним же смещалась и зона максимума ветров.



**Рисунок 5.** Поле давления и анализ погоды 18 ч ВСВ 20 февраля (верхний ряд) и 6 ч ВСВ 21 февраля 2013 г. (нижний ряд), по данным ERA5 (а, в) (цветом показана скорость ветра, м/с, изолиниями показано атмосферное давление на уровне моря, гПа) и данным DWD (б, г)

**Figure 5.** Pressure field and weather analysis 18h on February 20 (top row) and 6h on February 21, 2013 (bottom row) according to ERA5 (a, c) (color shows wind speed, m/s, isolines show atmospheric pressure at sea level, hPa) and DWD data (b, d)

Таким образом, экстремальный ветер наблюдался в области адвекции холодного арктического воздуха на относительно тёплую свободную ото льда поверхность Баренцева моря. Как известно, значительная часть (около

2/3) ПМЦ образуется в период такого рода холодных вторжений. На основе архивов мы изучили, были ли зафиксированы ПМЦ в пределах этой обширной области максимальных скоростей ветра. Оказалось, что в рассматриваемое время здесь ни по одному из архивов полярных циклонов обнаружено не было.

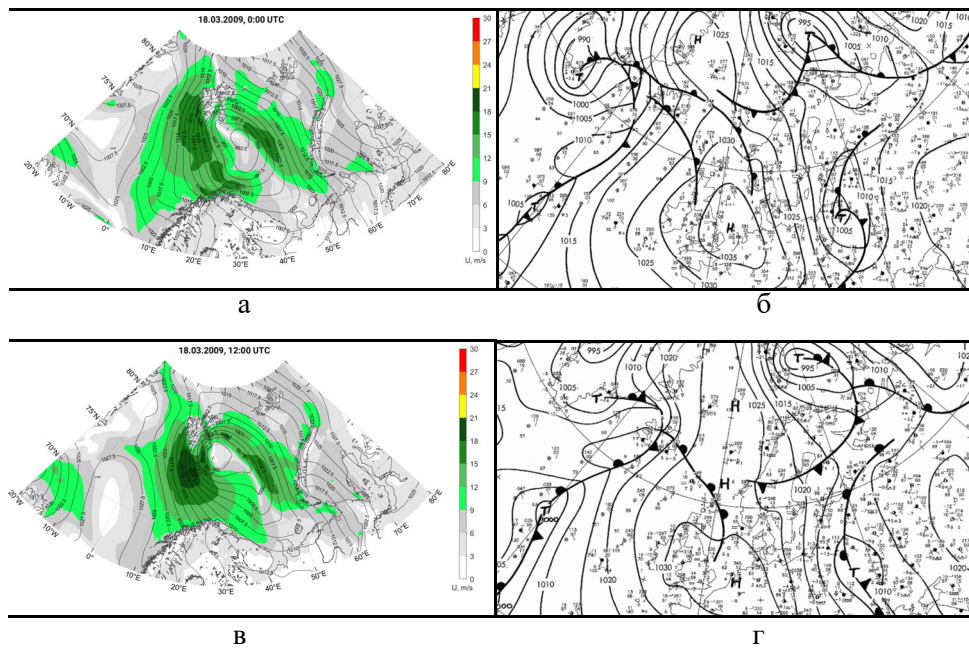
Интересно также сравнить данную ситуацию, отразившуюся, с точки зрения статистических свойств, в появлении «драконов», с случаем экстремума, принадлежащего крайним значениям базового распределения (то есть с «чёрным лебедем»). Один из таких случаев наблюдался в Норвежском и Баренцевом морях 18-19 марта 2009 г. и был связан с крупным долгоживущим циклоном. Сильный ветер в циклоне также был зафиксирован на обширной области, максимальная скорость составила 19 м/с. Для акваторий двух морей это событие лежит в верхних 10% ряда, но не входит в первую сотню событий ни в одном из узлов, – таким образом, в соответствии с нашими представлениями это действительно классический «чёрный лебедь».

Циклон зародился в Норвежском море 16 марта и медленно смещался на восток. В разные часы сильный ветер до 15-18 м/с отмечался в разных его частях, однако максимум был зафиксирован 18 марта к западу от центра (рис. 6а). На рис. 6б мы видим систему фронтов и две области высоких скоростей перед тёплым и за холодным фронтом (рис. 6а). Спустя 12 часов (рис. 6 (в,г)) максимальный ветер 18-19 м/с наблюдается у о. Шпицберген в тылу циклона за фронтом окклюзии. Как и в множестве других случаев, через эту область проходила граница морского льда. Анализ архивов ПМЦ показал, что и в этом случае на рассматриваемой территории они не зафиксированы.

По внешним признакам в случае, представленном на рис. 6, циклон менее глубокий, чем на рис. 5, однако, как уже было отмечено выше, глубина циклонов не коррелирует с экстремальностью ветров. В то же время в обоих случаях наблюдается сходная картина усиления скорости ветра за холодным фронтом. Однако статистические свойства экстремумов ветра получились совершенно разными: одно из событий соответствует базовому распределению, а другое – нет. Приходится сделать вывод, что по крайней мере в рамках классического фронтального анализа не удастся идентифицировать ситуации, в которых появляются «драконы».

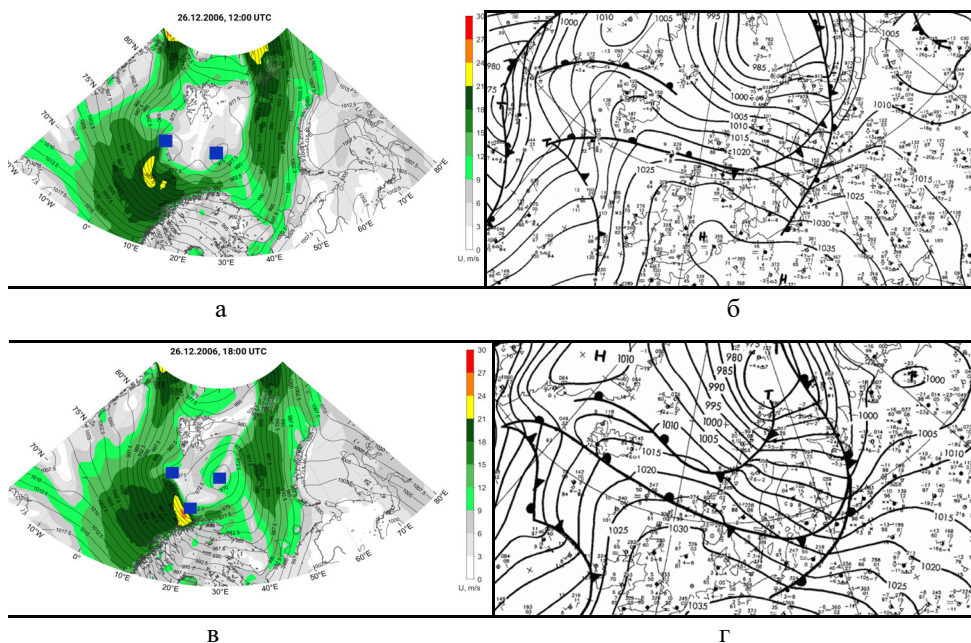
Рассмотрим пример, когда экстремальный ветер наблюдался с участием ПМЦ. 26 декабря 2006 г. в Баренцевом и Норвежском морях одновременно наблюдалось сразу 3 мезомасштабных вихря, 2 из которых являлись ПМЦ и ещё один не попадал в категорию ПМЦ по критериям интенсивности и статической устойчивости (Stoll et al., 2022). Координаты одного из них непосредственно совпадают с областью сильных ветров – максимальная скорость ветра, по данным ERA5, достигла 24 м/с. (Отметим, что, по данным реанализа CARRA (Yang et al., 2020), скорость ветра была еще выше – до 32 м/с). Это событие попало в календарь как третье за 43 года для трех узлов ERA5 у побережья Норвегии, в первую пятерку оно попадает уже для 31 узла сетки, в

первую десятку – в 138 узлах. На картах (рис. 7а) видны два полярных вихря в области окклюдированного циклона (рис. 7б) над акваториями Баренцева и Норвежского морей. Они были обнаружены и по спутниковым снимкам (Rojo et al., 2019a,b). Через 6 часов (рис. 7в) один из вихрей приблизился к побережью, причем скорость ветра увеличилась. На синоптической карте через эту зону проведён вторичный холодный фронт (рис. 7г). В это же время, 18-20 ч, ветер достигает максимальных значений – на карте в зоне ПМЦ заметно несколько характерных «пятен». Подобный случай усиления ветра в этой части акватории связывается с барьерным эффектом гор северной части Скандинавского полуострова высотой 1-2 км и, как следствие, дополнительным усилением опускания к земной поверхности частиц воздуха с более высокой скоростью. Таким образом, формирование этого «дракона» связано с совместным действием нескольких факторов: благоприятной для формирования больших скоростей ветра синоптической ситуации, явлений мезометеорологического масштаба и орографии на суше.



**Рисунок 6.** Поле давления и анализ погоды 18 марта 2009 г. (0 ч (верхний ряд) и 12 ч (нижний ряд) ВСВ), по данным ERA5 (а, в) (цветом показана скорость ветра, м/с, изолиниями показано атмосферное давление на уровне моря, гПа) и DWD (б, г)

**Figure 6.** Pressure field and weather analysis on March 18, 2009 (0 h (upper row) and 12 h (lower row) according to ERA5 (a, c) (color shows wind speed, m/s, isolines show atmospheric pressure at sea level, hPa) and DWD (b, d) data



**Рисунок 7.** Поле давления и анализ погоды 26 декабря 2006 г. (12 ч (верхний ряд) и 18 ч (нижний ряд) ВСВ), по данным ERA5 (а, в) (цветом показана скорость ветра, м/с, изолиниями показано атмосферное давление на уровне моря, гПа) и DWD (б, г). Синими квадратами показано положение полярных мезоциклонов

**Figure 7.** Pressure field and weather analysis on December 26, 2006 12 h (upper row) and 18 h (lower row) according to ERA5 (a, c) (color shows wind speed, m/s, isolines show atmospheric pressure at sea level, hPa) and DWD (b, d) data. Blue squares show the position of polar lows

## Выводы

Для скоростей ветра атлантического сектора Арктики допустимо применение квантильных значений, рассчитанных по распределению Вейбулла, для вероятностей, не превышающих  $\sim 0.90$ . При  $p > 0.90$  начинают возрастать погрешности, и для наиболее экстремальных событий, наблюдавшихся 1-3 раза за исследуемый период в 43 года, базовые квантильные значения могут быть заметно ниже наблюдавшихся (воспроизведенных в ERA5). Таким образом, для оценки вероятности «сверхбольших» экстремумов, базовое распределение не подходит.

Рассмотрев более 300 событий из календаря экстремумов, мы пришли к выводу, что практически всегда случаи наиболее сильных ветров, соответствующие «драконам», связаны с циклонами на арктическом фронте, и наблюдаются чаще всего в их тыловой части и за фронтом окклюзии или непосредственно на нём. В незначительной части случаев в области, где наблюдался максимум ветра, были обнаружены ПМЦ. Почти всегда они были «вмонтированные» в циклоны. Масса подобных ситуаций обнаружена и

для «чёрных лебедей». Чем отличаются случаи «драконов» от «чёрных лебедей», обнаружить на основе классического фронтального анализа не представляется возможным, однако, по крайней мере можно сделать вывод, что не ПМЦ обеспечивают эти различия.

В то же время надежность вывода о роли ПМЦ в формировании экстремального ветра ограничивается, возможно, существующими недостатками в методах их идентификации. Так, мы обнаружили значительное число расхождений, когда в климатологии (Stoll et al., 2022), построенной на основе алгоритма автоматической обработки путей перемещения мезомасштабных циклонов, ПМЦ был отмечен, однако он не был зафиксирован в других архивах, полученных вручную в основном по спутниковым данным. Степень совпадения ПМЦ между этими архивами варьирует в пределах 60-80%. Вместе с тем, наблюдались также и обратные примеры, когда ПМЦ, идентифицированные на спутниковых снимках и подробно описанные в ряде работ, например, (Føre et al., 2012; Kolstad et al., 2016; Wu, 2021), не зафиксированы в архивах автоматизированной обработки. Это, например, случай ПМЦ, зафиксированный над Баренцевым морем 18-21 декабря 2002 г. Максимальная скорость ветра 24 м/с наблюдалась рядом с его центром, в ряде узлов восточной части Баренцева моря это событие попало в первую тройку по скорости ветра и, следовательно, отражено в нашем календаре экстремумов. Тем не менее, этот случай не представлен ни в одном из доступных архивов ПМЦ. По всей видимости, дело в размытых критериях ПМЦ, несоответствие которым не позволило отнести его к ПМЦ.

### Благодарности

*Работа выполнена при поддержке гранта 23-III-07-33 «Экстремальные природные явления в Арктике в условиях современного потепления климата», выполняющегося в интересах Междисциплинарных научно-образовательных школ Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.*

*А также в рамках госзаказа № 121051400081-7 «Погодные и климатические процессы различных пространственно-временных масштабов в условиях антропогенного воздействия».*

### Список литературы

Голицын, Г.С. (2013) *Статистика и динамика природных процессов и явлений*, М., КРАСАНД, 400 с.

Кислов, А.В., Матвеева, Т.А. (2016) Экстремумы скорости ветра в европейском секторе Арктики, *Метеорология и гидрология*, № 7, с. 5-14.

Суркова, Г.В., Крылов, А.А. (2016) Синоптические ситуации, способствующие формированию экстремальных значений скорости ветра в Баренцевом море, *Вестник Московского университета, серия География*, № 6, с. 8-25.

Coles, S. (2001) *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer Series in Statistics*. Springer Verlag, available at: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4471-3675-0>.

Fisher, R.A., Tippett, L.H.C. (1928) Limiting Forms of the Frequency Distribution of the Largest or Smallest Members of a Sample, *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, no. 24, pp. 180-190, available at: <http://dx.doi.org/10.1017/S0305004100015681>.

Føre, I. et al. (2012) A ‘hurricane-like’ polar low fuelled by sensible heat flux: high-resolution numerical simulations, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 138, no. 666, pp. 1308-1324, available at: <http://dx.doi.org/10.1002/qj.1876>.

Gnedenko, B. (1943) Sur la distribution limite du terme maximum d'une série aléatoire, *Annals of Mathematics*, no. 44, pp. 423-453, (In French), available at: <http://dx.doi.org/10.2307/1968974>.

Hersbach, H. (2020) The ERA5 global reanalysis, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 146, no. 730, pp. 1999-2049.

Janczura, J., Weron, R. (2012) Black Swans or Dragon-Kings? A Simple Test for Deviations from the Power Law, *The European Physical Journal Special Topics*, no. 205, pp. 79-93, available at: <https://doi.org/10.1140/epjst/e2012-01563-9>.

Kislov, A., Matveeva, T. (2016) An Extreme Value Analysis of Wind Speed over the European and Siberian Parts of Arctic Region, *Atmospheric and Climate Sciences*, no. 6, pp. 205-223, available at: <http://dx.doi.org/10.4236/acs.2016.62018>.

Kislov, A., Platonov, V. (2019) Analysis of Observed and Modelled Near-Surface Wind Extremes over the Sub-Arctic Northeast Pacific, *Atmospheric and Climate Sciences*, no. 9, pp. 146-158, available at: <https://doi.org/10.4236/acs.2019.91010>.

Kislov, A., Matveeva, T., Antipina, U. (2022) Precipitation Extremes and Their Synoptic Models in the Northwest European Sector of the Arctic during the Cold Season, *Atmosphere*, no. 13, p. 1116, available at: <https://doi.org/10.3390/atmos13071116>.

Kolstad, E.W., Bracegirdle, T.J., Zahn, M. (2016) Re-examining the roles of surface heat flux and latent heat release in a “hurricane-like” polar low over the Barents Sea, *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*, vol. 121, no. 13, pp. 7853-7867, available at: <http://dx.doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-3-297-304>.

Myslenkov, S., Platonov, V., Kislov, A., Silvestrova, K., Medvedev, I. (2021) Thirty-Nine-Year Wave Hindcast, Storm Activity, and Probability Analysis of Storm Waves in the Kara Sea, Russia, *Water*, no. 13, pp. 648, available at: <https://doi.org/10.3390/w13050648>.

Palutikof, J.P., Brabson, B.B., Lister, D.H., Adcock, S.T. (1999) A Review of Methods to Calculate Extreme Wind Speeds. *Meteorological Applications*, no. 6, pp. 119-132, available at: <http://dx.doi.org/10.1017/S1350482799001103>.

---



Rasmussen, E.A., Turner, J. (2003) *Polar lows: Mesoscale weather systems in the polar region*, Cambridge, Cambridge University Press, 612 p.

Revokatova, A. et al. (2021) High-resolution simulation of polar lows over Norwegian and Barents seas using the COSMO-CLM and ICON models for the 2019-2020 cold season, *Atmosphere*, no. 12, p. 137, available at: <https://doi.org/10.3390/atmos12020137>.

Rojo, M. et al. (2015) Polar low tracks over the Nordic Seas: A 14-winter climatic analysis, *Tellus A. Dynamic Meteorology and Oceanography*, no. 67, p. 24660, available at: <https://doi.org/10.3402/tellusa.v67.24660>.

Rojo, M., Claud, C., Noer, G., Carleton, A.M. (2019a) In situ measurements of surface winds, waves, and sea state in polar lows over the North Atlantic, *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*, no. 124, pp. 700-718, available at: <https://doi.org/10.1029/2017JD028079>.

Rojo, M., Noer, G., Claud, C. (2019b) *Polar Low tracks in the Norwegian Sea and the Barents Sea from 1999 until 2019*, PANGAEA, available at: <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.903058>, supplement to: Rojo et al. 2019.

Shapiro, M.A., Fedor, L.S., Hampel, T. (1987) Research aircraft measurements of a polar low over the Norwegian Sea, *Tellus A. Dynamic Meteorology and Oceanography*, no. 39, pp. 272-306, available at: <https://doi.org/10.3402/tellusa.v39i4.11761>.

Smirnova, J.E., Golubkin, P.A. (2017) Comparing polar lows in atmospheric reanalyses: Arctic System Reanalysis versus ERA-Interim, *Monthly Weather Review*, vol. 145, pp. 2375-2383, doi: 10.1175/MWR-D-16-0333.1.

Sornette, D. (2009) Dragon-Kings, Black Swans and the Prediction of Crises, *International Journal of Terraspace Science and Engineering*, no. 2, pp. 1-18, available at: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1596032>.

Sornette, D., Ouillon, G. (2012) Dragon-Kings: Mechanisms, Statistical Methods and Empirical Evidence, *The European Physical Journal Special Topics*, vol. 205, pp. 1-26, available at: <https://doi.org/10.1140/epjst/e2012-01559-5>.

Stoll, P.J. et al. (2018) An objective global climatology of polar lows based on reanalysis data, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 144, pp. 2099-2117, available at: <http://dx.doi.org/10.1002/qj.3309>.

Stoll, P.J. (2022) A global climatology of polar lows investigated for local differences and wind-shear environments, *Weather and Climate Dynamics*, vol. 3, no. 2, pp. 483-504, available at: <https://doi.org/10.5194/wcd-3-483-2022>.

Taleb, N.N. (2010) *The Black Swan. The Impact of the Highly Improbable*. 2nd Edition, Penguin, New York.

Watanabe, S.-i.I., Niino, H., Yanase, W. (2016) Climatology of polar mesocyclones over the Sea of Japan using a new objective tracking method, *Monthly Weather Review*, vol. 144, pp. 2503-2515, available at: <https://doi.org/10.1175/MWR-D-15-0349.1>.

---

Wu, L. (2021) Effect of atmosphere-wave-ocean/ice interactions on a polar low simulation over the Barents Sea, *Atmospheric Research*, vol. 248, pp. 105-183, available at: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105183>.

Yang, X. et al. (2020) C3S Arctic regional reanalysis-full system documentation, available at: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-carra-single-levels?tab=docon>.

## References

Golitsyn, G.S. (2013) *Statistika i dinamika prirodnykh protsessov i yavleniy* [Statistics and dynamics of natural processes and phenomena], KRASAND, Moscow, Russia, 400 p.

Kislov, A.V., Matveyeva, T.A. (2016) Ekstremumy skorosti vetra v yevropeyskom sektore Arktiki [Wind speed extremes in the European sector of the Arctic], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 7, pp. 5-14.

Surkova, G.V., Krylov, A.A. (2016) Sinopticheskiye situatsii, sposobstvuyushchiye formirovaniyu ekstremal'nykh znacheniy skorosti vetra v Barentsevom more [Synoptic situations contributing to the formation of extreme wind speeds in the Barents Sea], *Vestnik Moskovskogo universiteta, seriya Geografiya*, no. 6, pp. 18-25.

Coles, S. (2001) *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer Series in Statistics*. Springer Verlag, available at: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4471-3675-0>.

Fisher, R.A., Tippett, L.H.C. (1928) Limiting Forms of the Frequency Distribution of the Largest or Smallest Members of a Sample, *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, no. 24, pp. 180-190, available at: <http://dx.doi.org/10.1017/S0305004100015681>.

Føre, I. et al. (2012) A 'hurricane-like' polar low fuelled by sensible heat flux: high-resolution numerical simulations, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 138, no. 666, pp. 1308-1324, available at: <http://dx.doi.org/10.1002/qj.1876>.

Gnedenko, B. (1943) Sur la distribution limite du terme maximum d'unesérialéatoire, *Annals of Mathematics*, no. 44, pp. 423-453, (In French), available at: <http://dx.doi.org/10.2307/1968974>.

Hersbach, H.(2020) The ERA5 global reanalysis, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 146, no. 730, pp. 1999-2049.

Janczura, J., Weron, R. (2012) Black Swans or Dragon-Kings? A Simple Test for Deviations from the Power Law, *The European Physical Journal Special Topics*, no. 205, pp. 79-93, available at: <https://doi.org/10.1140/epjst/e2012-01563-9>.

Kislov, A., Matveeva, T. (2016) An Extreme Value Analysis of Wind Speed over the European and Siberian Parts of Arctic Region, *Atmospheric and Climate Sciences*, no. 6, pp. 205-223, available at: <http://dx.doi.org/10.4236/acs.2016.62018>.

---

Kislov, A., Platonov, V. (2019) Analysis of Observed and Modelled Near-Surface Wind Extremes over the Sub-Arctic Northeast Pacific, *Atmospheric and Climate Sciences*, no. 9, pp. 146-158, available at: <https://doi.org/10.4236/acs.2019.91010>.

Kislov, A., Matveeva, T., Antipina, U. (2022) Precipitation Extremes and Their Synoptic Models in the Northwest European Sector of the Arctic during the Cold Season, *Atmosphere*, no. 13, p. 1116, available at: <https://doi.org/10.3390/atmos13071116>.

Kolstad, E.W., Bracegirdle, T.J., Zahn, M. (2016) Re-examining the roles of surface heat flux and latent heat release in a “hurricane-like” polar low over the Barents Sea, *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*, vol. 121, no. 13, pp. 7853-7867, available at: <http://dx.doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-3-297-304>.

Myslenkov, S., Platonov, V., Kislov, A., Silvestrova, K., Medvedev, I. (2021) Thirty-Nine-Year Wave Hindcast, Storm Activity, and Probability Analysis of Storm Waves in the Kara Sea, Russia, *Water*, no. 13, p. 648, available at: <https://doi.org/10.3390/w13050648>.

Palutikof, J.P., Brabson, B.B., Lister, D.H., Adcock, S.T. (1999) A Review of Methods to Calculate Extreme Wind Speeds, *Meteorological Applications*, no. 6, pp. 119-132, available at: <http://dx.doi.org/10.1017/S1350482799001103>.

Rasmussen, E.A., Turner, J. (2003) *Polar lows: Mesoscale weather systems in the polar region*. Cambridge, Cambridge University Press, 612 p.

Revokatova, A. et al. (2021) High-resolution simulation of polar lows over Norwegian and Barents seas using the COSMO-CLM and ICON models for the 2019-2020 cold season, *Atmosphere*, no. 12, p. 137. available at: <https://doi.org/10.3390/atmos12020137>.

Rojo, M. et al. (2015) Polar low tracks over the Nordic Seas: A 14-winter climatic analysis, *Tellus A. Dynamic Meteorology and Oceanography*, no. 67, p. 24660, available at: <https://doi.org/10.3402/tellusa.v67.24660>.

Rojo, M., Claud, C., Noer, G., Carleton, A.M. (2019a) In situ measurements of surface winds, waves, and sea state in polar lows over the North Atlantic, *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*, no. 124, pp. 700-718, available at: <https://doi.org/10.1029/2017JD028079>.

Rojo, M., Noer, G., Claud, C. (2019b) Polar Low tracks in the Norwegian Sea and the Barents Sea from 1999 until 2019, *PANGAEA*, available at: <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.903058>, supplement to: Rojo et al. 2019.

Shapiro, M.A., Fedor, L.S., Hampel, T. (1987) Research aircraft measurements of a polar low over the Norwegian Sea, *Tellus A. Dynamic Meteorology and Oceanography*, no. 39, pp. 272-306, available at: <https://doi.org/10.3402/tellusa.v39i4.11761>.

---

Smirnova, J.E., Golubkin, P.A. (2017) Comparing polar lows in atmospheric reanalyses: Arctic System Reanalysis versus ERA-Interim, *Monthly Weather Review*, vol. 145, pp. 2375-2383, doi: 10.1175/MWR-D-16-0333.1.

Sornette, D. (2009) Dragon-Kings, Black Swans and the Prediction of Crises, *International Journal of Terraspace Science and Engineering*, no. 2, pp. 1-18, available at: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1596032>.

Sornette, D., Ouillon, G. (2012) Dragon-Kings: Mechanisms, Statistical Methods and Empirical Evidence, *The European Physical Journal Special Topics*, vol. 205, pp. 1-26, available at: <https://doi.org/10.1140/epjst/e2012-01559-5>.

Stoll, P.J. et al. (2018) An objective global climatology of polar lows based on reanalysis data, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 144, pp. 2099-2117, available at: <http://dx.doi.org/10.1002/qj.3309>.

Stoll, P.J. (2022) A global climatology of polar lows investigated for local differences and wind-shear environments, *Weather and Climate Dynamics*, vol. 3, no. 2, pp. 483-504, available at: <https://doi.org/10.5194/wcd-3-483-2022>.

Taleb, N.N. (2010) *The Black Swan. The Impact of the Highly Improbable*. 2nd Edition, Penguin, New York.

Watanabe, S.-i.I., Niino, H., Yanase, W. (2016) Climatology of polar mesocyclones over the Sea of Japan using a new objective tracking method, *Monthly Weather Review*, vol. 144, pp. 2503-2515, available at: <https://doi.org/10.1175/MWR-D-15-0349.1>.

Wu, L. (2021) Effect of atmosphere-wave-ocean/ice interactions on a polar low simulation over the Barents Sea, *Atmospheric Research*, vol. 248, pp. 105-183, available at: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105183>.

Yang, X. et al. (2020) *C3S Arctic regional reanalysis – full system documentation*, available at: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-carra-single-levels?tab=docon>.

Статья поступила в редакцию (Received): 28.03.2024.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 10.04.2024.

Принята к публикации (Accepted): 16.04.2024.

### Для цитирования / For citation:

Кислов, А.В., Ломакин, И.Р., Мысленков, С.А. (2024) Экстремальные скорости ветра в Атлантическом секторе Арктики: статистика и циркуляционные модели, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 10, № 2, с. 199-218, doi:10.21513/0207-2564-2024-2-199-218.

Kislov, A.V., Lomakin, I.R., Myslenkov, S.A. (2024) Extreme wind speeds in the Atlantic sector of the Arctic: statistics and circulation models, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 10, no. 2, pp. 199-218, doi:10.21513/0207-2564-2024-2-199-218.

---