

УДК 551.509.52

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ОЧЕНЬ СИЛЬНОГО ВЕТРА В ХОЛОДНЫЙ
ПЕРИОД ГОДА НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

М. В. ЛУКША *

*Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь
Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного
загрязнения и мониторингу окружающей среды, Минск, Республика Беларусь*

В данной статье проведен анализ случаев возникновения очень сильного (в т. ч. шквалистого) ветра в холодный период года на территории Республики Беларусь в условиях изменяющегося климата с 1989 по 2022 гг. Установлены повторяемость, пространственно-временные особенности распределения такого ветра с ноября по март, а также представлены тенденции развития опасного гидрометеорологического явления в условиях изменяющегося климата. Помимо физико-географических условий метеостанций, оказывающих влияние на пространственно-временное распределение исследуемого явления, определены приземные синоптические, высотные аэрологические условия, способствующие усилению ветра до критериев очень сильного. Предложены основные синоптические рекомендации к прогнозу очень сильного (в т. ч. шквалистого) ветра в холодный период года.

<https://doi.org/10.46991/PYSUC.2025.59.2.371>

Keywords: very strong (squally) wind, repeatability, surface weather conditions, high-altitude aerological conditions, cold season, Belarus, changing climate.

Введение. Случаи возникновения очень сильного ветра (мгновенная скорость ветра, включая порывы, достигает 25 м/с и более) относятся к опасным гидрометеорологическим явлениям (ОЯ) [1].

В контексте данной работы, которая является продолжением исследований, посвященных анализу конвективных явлений в холодный период года, рассматриваются не только случаи градиентного, но и шквалистого ветра [2–6]. Шквалом называется резкое, в течение короткого времени увеличение скорости ветра на 8 м/с и более, сопровождающееся изменением его направления в результате развития кучево-дождевой облачности.

Проблемами изучения процессов формирования очень сильного порывистого ветра и шквалов в холодный период года занимался ряд белорусских (В.Ф. Логинов, А.А. Волчек, И.Н. Шпока, Е.Н. Сумак, И.С. Данилович и др.) и зарубежных ученых (Ю.И. Юсупов, А.А. Алексеева, В.Г. Маргарян и др.).

* E-mail: maril2010@mail.ru

В. Ф. Логинов установил, что среднегодовая скорость ветра с 1970-х гг. уменьшилась на 3,6–2,9 м/с [7]. Исследования И.С. Данилович и И.В. Костюченко показали, что с 1989 по 2020 гг. среднегодовая скорость ветра продолжает снижаться на 0,9–1,0 м/с. При этом сезонные показатели средней скорости ветра уменьшились на 0,6–1,2 м/с, а максимальной – на 2,5–3,5 м/с. Максимальный порыв ветра в зимний период снизился на 1–5 м/с, но увеличился на 1–3 м/с летом [8].

Исследования В.Ф. Логинова, А.А. Волчека, И.Н. Шпоки позволили установить, что с октября по февраль шквалы на территории Республики Беларусь (РБ) регистрируются редко (1–2 случая за 15–20 лет) [9–12]. Низкая повторяемость шквалов, в особенности очень сильных, в холодный период года также подтверждается результатами данного исследования.

Согласно исследованию, проведенному В.Ф. Логиновым, Ю.А. Бровкой, В.С. Микуцким по изучению изменения климата (1903–2012 гг.), экстремальных погодных и климатических явлений и их связи с типами циркуляции атмосферы Северного полушария по Б.Л. Дзерdzeевскому, наметился тренд к снижению количества ОЯ из-за уменьшения числа дней с меридиональной южной циркуляцией [13]. Однако этот факт опровергается результатами данного исследования.

Е.Н. Сумак и И.Г. Семенова осуществили исследование циклонической активности и повторяемости ОЯ над территорией Беларуси (1995–2015 гг.) и пришли к выводу, что циклонические вихри южных и западных траекторий, которые выходили интенсивными и активными, достигая, как правило, максимальной стадии своего развития на территории Беларуси, вызывали неблагоприятные и опасные гидрометеорологические явления, в т. ч. грозы, сильные ливни, снегопады, шквалистый ветер [14].

Современные исследования по этой проблеме на территории РФ проводились Ю.И. Юсуповым, который разработал прогноз шквалов и интенсивных осадков, в том числе и для холодного периода, с использованием векторной фронтогенетической функции и изэнтропического потенциального вихря Эртеля в состоянии насыщения с использованием расчетов по выходной информации мезомасштабной негидростатической модели WRF-ARW [15]. Ученые А.Н. Неижмак и И.П. Расторгуев участвовали в разработке методики прогноза конвективных ОЯ по комплексу спутниковых и аэрологических данных [16]. А.А. Алексеева занималась вопросами разработки прогноза сильных шквалов на европейской территории России и их идентификации доплеровскими радиолокаторами [17].

Российскими учеными С.О. Дементьевой, Н.В. Ильиной и М.В. Шаталовой также предложен метод прогноза опасных конвективных явлений, основанный на анализе расчетных пространственно-временных распределений радиолокационной отражаемости явлений и сравнении их с характерными параметрами мощных конвективных явлений с заблаговременностью 24 ч на основе мезомасштабной негидростатической численной модели WRF-ARW. Авторы исследования пришли к выводу, что данный метод позволяет добиться лучшей успешности прогноза, чем при использовании индексов неустойчивости атмосферы [18].

Эксперименты по численному моделированию интенсивной конвекции над Европейской территорией России с помощью модели WRF-ARW, проведенные Н.Ф. Вельтищевым и В.Д. Жупановым, показали, что расчеты на более мелких сетках позволяют воспроизводить обильные ливневые осадки и зоны сильных ветров в районах интенсивной конвекции [19, 20].

В.Г. Маргарян проведены исследования по изучению особенностей климатических характеристик скорости ветра на территории Сюникского марза Республики Армения (1966–2018 гг.), в результате которых было установлено, что годовая максимальная скорость ветра составляет 18–48 м/с, при этом в основном наблюдается тенденция уменьшения скорости ветра. Также были получены корреляционные связи между средними годовыми значениями скорости ветра и высоты местности, которые могут быть использованы при планировании развития ветроэнергетики и климатическом обслуживании отраслей народного хозяйства [21, 22].

К тому же в настоящее время в оперативной практике метеорологических подразделений Беларуси не существует разработанных методик прогнозирования порывистого ветра. В качестве основы для прогнозов используются лишь результаты расчетов численных моделей, таких как GFS, COSMO, UKMO, WRF и ICON.

Таким образом, анализ изученности рассматриваемой проблемы показал, что на современном этапе изменения климата, имеющиеся на территории РБ, работы по пространственно-временному исследованию опасных гидрометеорологических явлений требуют уточнений. Вместе с тем повторяемость ОЯ холодного периода года определяется не только синоптической ситуацией, но и свойствами подстилающей поверхности. В связи с этим целью данного исследования стал анализ особенностей пространственно-временного распределения очень сильного (в т. ч. шквалистого) ветра в холодный период года на территории РБ и аэросиноптических условий его формирования.

Материалы и методы исследования. В результате проведения исследования осуществлен анализ повторяемости очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра с ноября по март по территории Брестской, Витебской, Гомельской, Гродненской, Минской и Могилевской областей РБ за период 1989–2022 гг., а также сопровождающих их явлений, установлены связи с приземной синоптической и высотной аэрологической ситуациями.

Выборка исходных данных производилась посредством анализа архивных метеорологических данных Белгидромета за холодный период 1989–2022 гг. [23]. Были отобраны случаи очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра, наблюдавшегося с ноября по март на метеорологических станциях (МС) и авиационных гражданских МС РБ. При этом также фиксировались основные приземные метеорологические условия (скорость и направление ветра, температура воздуха, барическая тенденция, явления погоды, видимость и количество выпавших осадков), при которых наблюдались ОЯ.

За начало выборки был взят 1989 г., так как именно с данного года в РБ начался период потепления, не имеющий аналогов по продолжительности и интенсивности за всю историю метеонаблюдений (среднегодовая температура в стране выросла на 1,2°C за последние 30 лет) [24, 25]. При этом отмечается

особенно резкое повышение температур в зимний период, к примеру, согласно данным Белгидромета, средняя температура воздуха в период декабрь 2023 г.– февраль 2024 г. составила $-1,4^{\circ}\text{C}$, что на $2,0^{\circ}\text{C}$ выше климатической нормы [26].

По результатам данного этапа исследования построены карты пространственного распределения очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра в разрезе республики. Определены регионы, в которых наиболее часто фиксируется ОЯ в холодный период года с учетом особенностей атмосферной циркуляции на территории РБ, а также физико-географических условий МС.

Далее по республике в целом и по областям построены графики временного хода исследуемого ОЯ с ноября по март за период 1989–2022 гг. и определены тенденции развития очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра в холодный период в ближайшем будущем.

Следующей ступенью выборки стал анализ приземных карт погоды на базе архивных данных Белгидромета [23], отобранных за ту же дату и синоптический срок, когда были отмечены случаи наступления очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра в холодный период года. Определены приземные синоптические условия формирования ОЯ в холодный период года (барические образования и стадии их развития, атмосферные фронты).

Далее посредством анализа метеорологических условий по высотам с использованием аэрологических диаграмм, полученных по данным реанализа ERA 5 с помощью бесплатной интернет-платформы thundeR [27], определены высотные аэрологические факторы (высота верхней и нижней границы облачности, температура воздуха и дефицит точки росы на уровне изобарической поверхности АТ-850, скорость и направление ветра на изобарических уровнях АТ-700, АТ-500 и АТ-300, индексы неустойчивости атмосферы CAPE, CIN, Li), которые способствовали возникновению очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра в холодный период года.

Таким образом, по итогам исследования были выделены основные районы, которые чаще всего подвергаются воздействию ОЯ и сформированы синоптические рекомендации (приземные синоптические и высотные аэрологические условия) к прогнозу очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра в холодный период года.

Результаты исследований и их обсуждение. За холодный период 1989–2022 гг. на территории Беларуси было зафиксировано 68 случаев очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра, порывы которого достигали $25\text{--}32\text{ м/с}$. Стоит отметить, что шквалистое усиление ветра до критериев очень сильного порывистого было зафиксировано единожды (14.01.2022 на МС Воложин). При этом в разрезе областей 17 случаев очень сильного ветра было зафиксировано в Могилевской области, 15 случаев – в Витебской, 15 случаев – в Гродненской, 10 случаев – в Минской, 6 – случаев в Брестской и 5 случаев – в Гомельской (рис. 1).

Как видно из представленной карты (рис. 1), в территориальном распределении наибольшее число случаев очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра приходится на северо-западные и восточные районы страны. Также значительное число случаев данного ОЯ отмечается в центральных регионах. Распределение такого ветра по территории РБ определяется не только синоптическими

условиями, но и местными физико-географическими условиями МС. Так, северо-запад республики первый подвергается влиянию активных западных и ныряющих циклонов, при движении которых возникают значительные барические градиенты, к тому же сопровождающиеся, как правило, конвективной деятельностью на атмосферных фронтах. Местные особенности рельефа и растительного покрова некоторых метеостанций (МС Ошмяны и Воложин располагаются в пределах Ошмянской возвышенности, Славгород и Горки – на возвышенном и открытом со всех сторон рельефе, а Слуцк – на открытой незалесенной местности) также способствуют усилению ветра до критериев очень сильного порывистого.

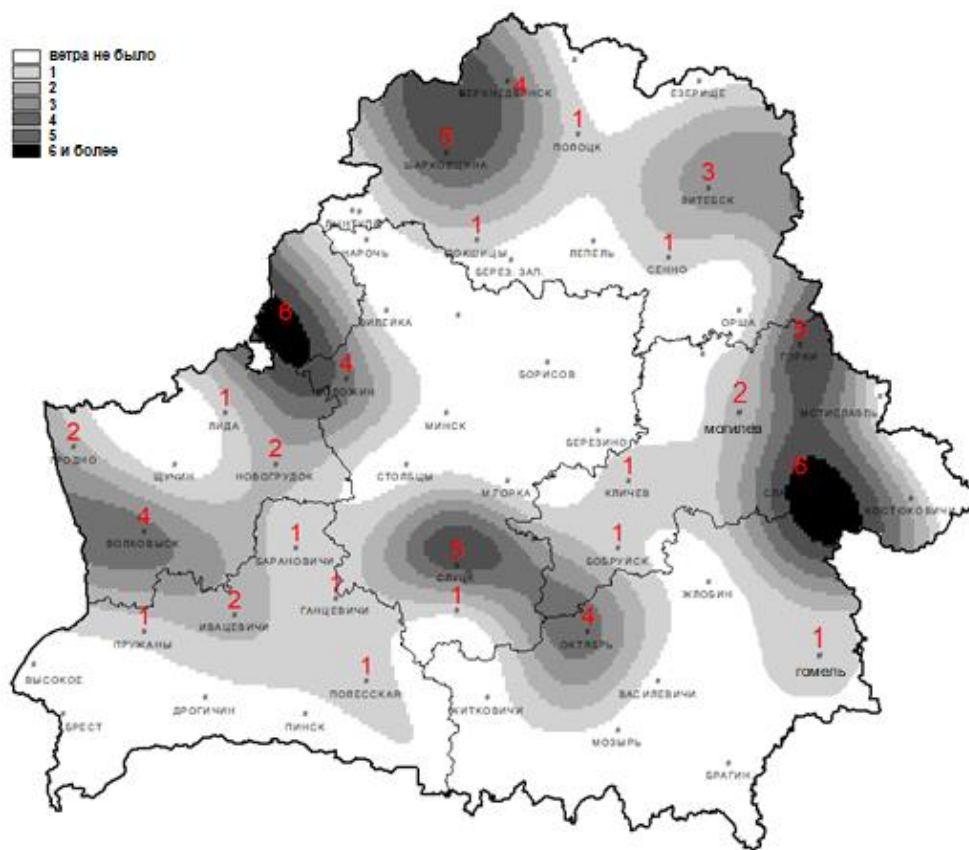


Рис. 1. Территориальное распределение случаев очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра, наблюдавшихся в Беларуси за холодный период 1989–2022 гг., составлено автором.

Наибольшее число случаев (28 зарегистрированных фактов) очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра пришлось на период с ноября по март 1989–2000 гг. В следующем десятилетии (2001–2010 гг.) наблюдалась тенденция уменьшения количества ОЯ до 17 случаев, а в последнем десятилетии (2011–2022 гг.) отмечается увеличение числа случаев очень сильного (в т.ч. шквалистого) порывистого ветра (23 случая) (рис. 2).

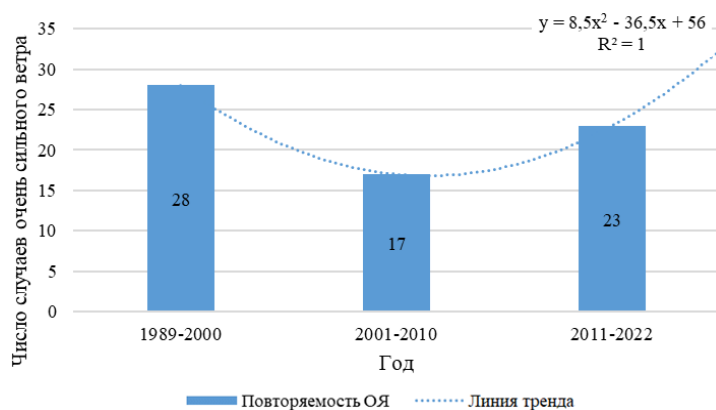


Рис. 2. Повторяемость случаев очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра, наблюдавшихся в Беларуси за холодный период 1989–2022 гг., и временные тенденции, составлено автором.

При этом стоит отметить, что 7 случаев ОЯ приходится на 14 января 1993 г. и 10 случаев на 14 января 2022 г., связанных с выходом активных циклонов западных траекторий.

Вместе с тем в ближайшее десятилетие должно отмечаться увеличение числа случаев очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра, что подтверждается линией тренда, представленной на рис. 2.

В разрезе областей в последнее десятилетие заметное увеличение числа случаев возникновения данного ОЯ наблюдается на территории Гомельской (60% случаев) и Гродненской (47%) областей. Для Витебской области, наоборот, характерна тенденция уменьшения количества исследуемого ОЯ (79% случаев зафиксировано в холодный период 1989–2000 гг.). Остальные области РБ характеризуются равномерным распределением фактов возникновения очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра в течение рассматриваемого промежутка времени (рис. 3).

Во временном разрезе холодного периода года 40 случаев очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра было отмечено в январе, 12 случаев – в феврале, 9 случаев – в марте, 6 случаев – в ноябре и 1 случай – в декабре. Такое распределение усиления ветра до очень сильного порывистого объясняется особенностями атмосферной циркуляции над территорией РБ [28].

Приземные метеорологические условия в случае очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра менялись следующим образом.

У земли преобладали ветры юго-западного, западного и северо-западного направления.

При возникновении данного ОЯ отмечалась активная изаллобарическая пара: отрицательная барическая тенденция перед фронтальными разделами (среднем $0...-2 \text{ гПа/3 ч}$) сменялась активным ростом атмосферного давления после их прохождения (порядка $+1...+3 \text{ гПа/3 ч}$).

Приземные температуры воздуха, при которых отмечался очень сильный (в т.ч. шквалистый) ветер в холодный период года на территории РБ, в среднем составили $+2...+5^\circ\text{C}$ и колебались в диапазоне от $-5,5^\circ\text{C}$ до $+10,8^\circ\text{C}$.

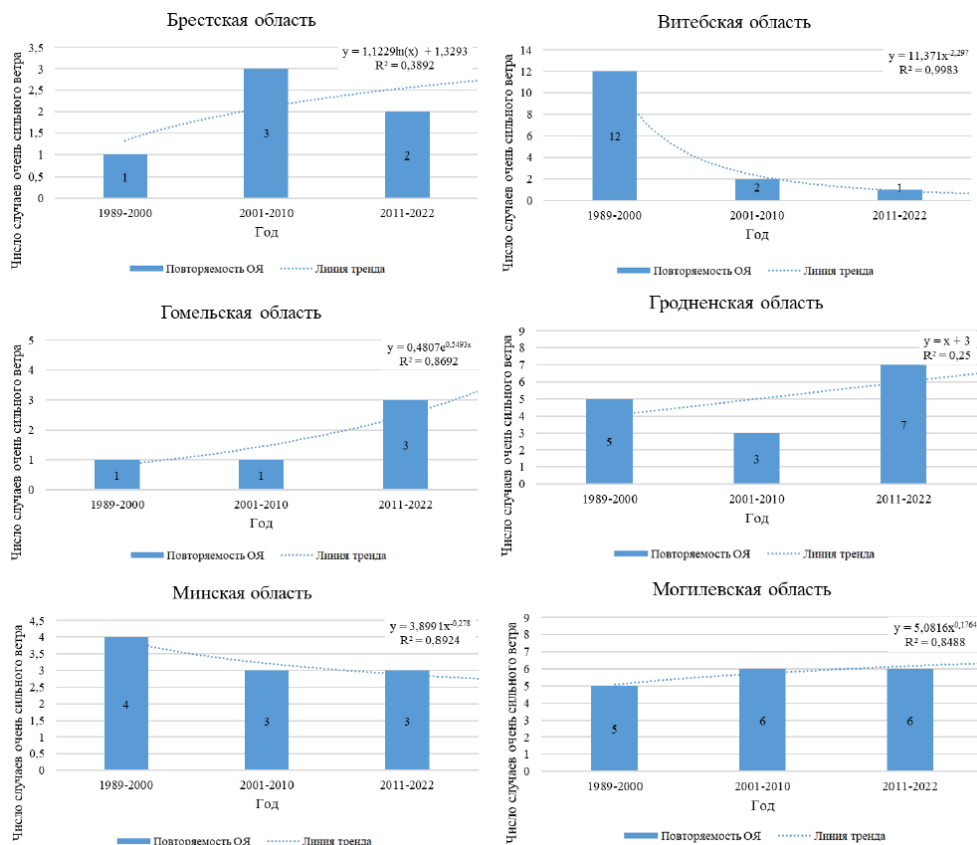


Рис. 3. Повторяемость случаев очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра, наблюдавшихся в областях РБ за холодный период 1989–2022 гг., и временные тенденции, составлено автором.

Усиление ветра до критериев очень сильного порывистого сопровождалось осадками в 92% случаев. При этом осадки выпадали в виде ливневого дождя (47 случаев), ливневого дождя со снегом (8 случаев) или ливневого снега (5 случаев). При активном развитии кучево-дождевой облачности отмечалось выпадение снежной крупы (3 случая), а 27 февраля 2002 г. на МС Ивацевичи и 18 ноября 2004 г. на МС Слуцк были зафиксированы грозы. При этом ухудшение видимости в осадках в основном составляло 5 км и более, лишь в ливневом снеге видимость ухудшалась до 0,6 км.

Приземные синоптические условия формирования очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра с ноября по март 1989–2022 гг. определялись не только плотным барическим градиентом, но и развитием кучево-дождевой облачности, усилением динамического фактора при прохождении фронтальных разделов, а именно основного холодного фронта (39 случаев), холодного фронта с волнами (5 случаев), вторичных холодных фронтов (17 случаев) и фронтов окклюзий (7 случаев).

Данные атмосферные фронты были связаны с ложбинами активных глубоких циклонов в основном западных траекторий (61 случаев). Было зафиксировано 7 случаев очень сильного ветра при прохождении фронтальных

разделов от ныряющих циклонов. Циклоны смещались, как правило, в стадии максимального развития, при этом давление в центре циклонов колебалось от 954 до 995 гПа (исключение – случай 17–18 ноября 2000 г. в Славгороде – 1007 гПа).

В качестве типичной синоптической ситуации, характерной для возникновения очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра, рассмотрим случай 14 января 2022 г., когда в результате прохождения холодного фронта от западного циклона “FAMKE” (рис. 4) произошло усиление ветра порывами 26–32 м/с на следующих МС: Воложин, Ошмяны, Новогрудок, Полесская, Горки, Могилев, Славгород и Октябрь, а также авиационных гражданских МС: Могилев и Гомель.

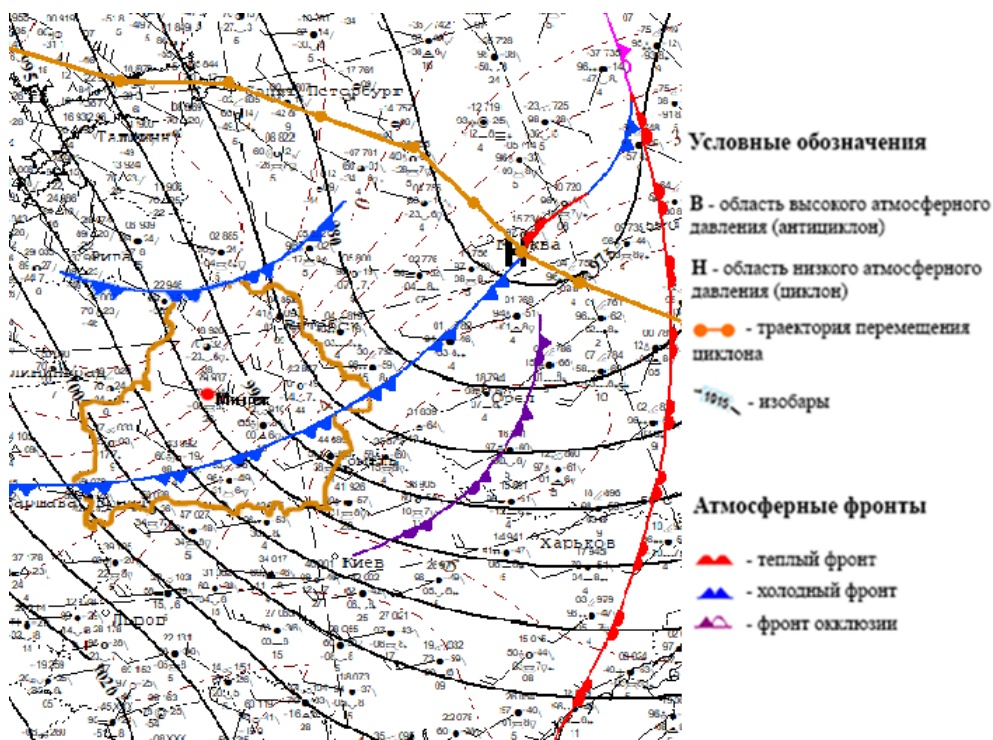


Рис. 4. Приземная карта погоды за 12 UTC 14 января 2022 г. и траектория перемещения циклона “FAMKE” [23].

Циклон “FAMKE”, сформировавшись 13 января на волновом возмущении холодного атмосферного фронта от обширного североатлантического циклона с центром над Белым морем, смещаясь с западными воздушными потоками, на утро 14 января достиг районов Санкт-Петербурга. Далее, углубляясь, он передвигался в Московском направлении.

При этом погодные условия Беларуси определялись влиянием активных атмосферных фронтов от циклона “FAMKE”, которые привели к формированию неустойчивой ветреной погоды. В утренние часы территория страны находилась под влиянием фронта окклюзий, а в первую половину дня

отмечалось прохождение основного холодного фронта, в послеполюденные часы – вторичных холодных фронтов при плотном барическом градиенте.

В результате чего днем на большей части территории страны прошли осадки (дождь, переходящий в мокрый снег, и снег), местами по республике отмечалось налипание мокрого снега, в отдельных районах прогремели грозы. Во многих районах страны произошло усиление ветра порывами 15–24 м/с (неблагоприятное гидрометеорологическое явление), местами порывы ветра достигали 26–32 м/с (опасное гидрометеорологическое явление) (рис. 5).

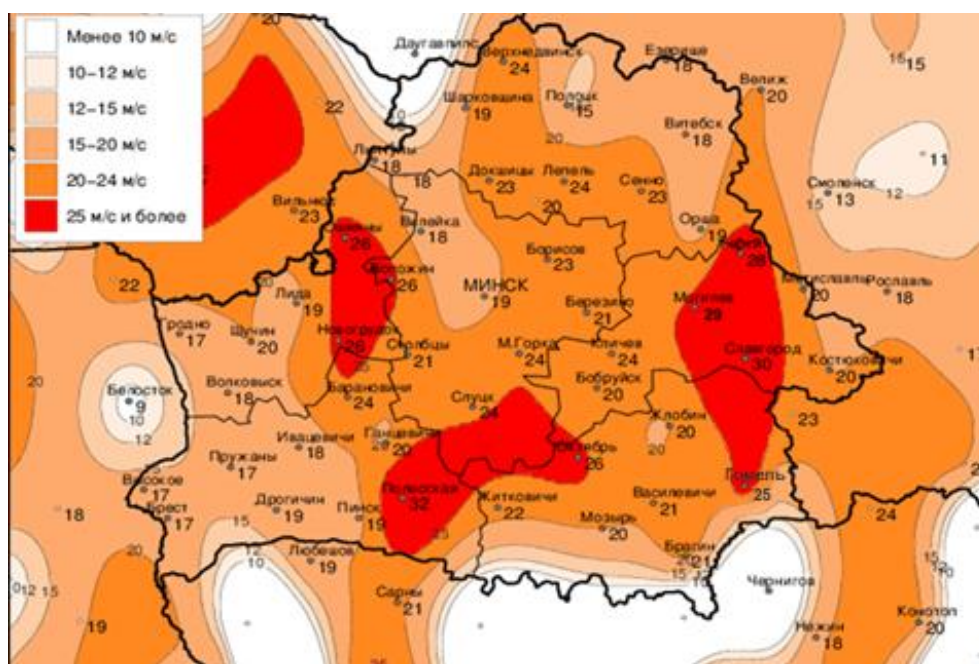


Рис. 5. Распределение максимальной скорости ветра (м/с) по территории РБ с 6 UTC 14 января до 6 UTC 15 января 2022 г., составлено автором.

В ночные часы 15 января республика оказалась в холодной тыловой части циклона, поэтому в осадках начал преобладать снег, сохранялся порывистый ветер и метели. Днем 15 января, по мере смещения циклона вглубь России, снегопады, ветер и метели в Беларуси ослабли.

Высотные аэрологические условия формирования очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра порывами 25 м/с и более, как правило, были связаны с развитием кучево-дождевой облачности, которая имела нижнюю и верхнюю границу около 500 м и 3000 м соответственно.

Температуры воздуха на уровне изобарической поверхности АТ-850 колебались от +1,4°C до –11,3°C, дефициты точки росы от 0°C до 10°C. При этом гребень теплого воздуха быстро сменялся ложбиной холода.

По высотам преобладали ветры северо-западного направления. При этом на уровне АТ-700 отмечались ветры со скоростями 50–170 км/ч, на уровне АТ-500 – 50–230 км/ч, на уровне АТ-300 – 50–300 км/ч. Это свидетельствует о

наличии струйных течений на уровнях АТ-700, АТ-500 и АТ-300, способствующих быстрому смещению барических образований и усиливающих конвективные процессы.

На рис. 6 представлена аэрологическая диаграмма за 14 января 2022 г. по МС Полесская, где в период с 12:18 до 12:30 UTC усиливался ветер порывами до 32 м/с.

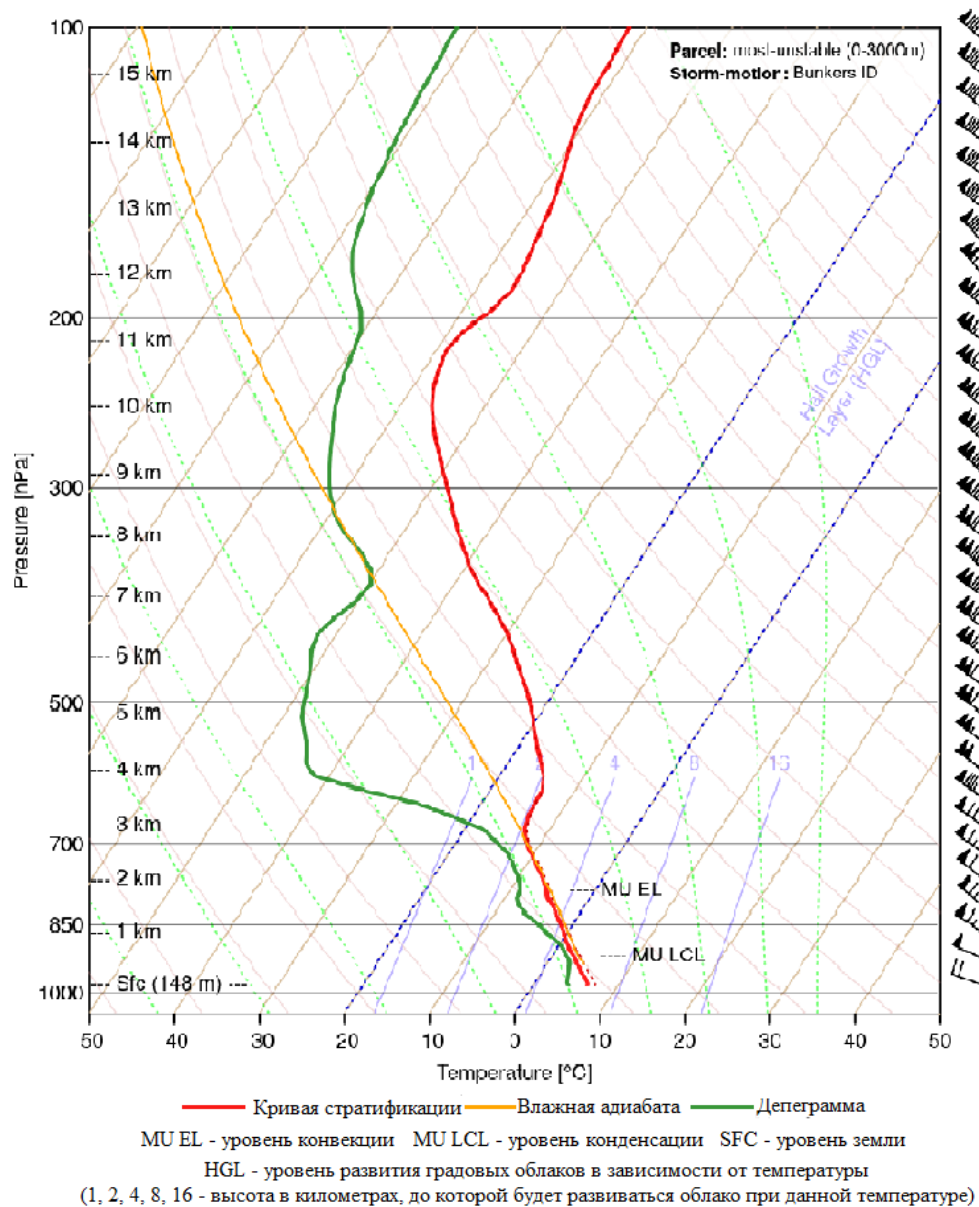


Рис. 6. Аэрологические условия возникновения очень сильного ветра на метеостанции Полесская (12 UTC 14 января 2022 г.) [27].

Так, согласно аэрологическим данным, на уровне изобарической поверхности АТ-850 наблюдался гребень теплого и относительно сухого воздуха, поэтому усиление ветра в результате прохождения холодного фронта осадками не сопровождалось. Наряду с этим в приземном слое отмечался порывистый северо-западный ветер со скоростями до 130 км/ч, а в средней и верхней тропосфере преобладали сильные ветры северо-западного направления со скоростями до 260 км/ч.

Индексы неустойчивости атмосферы, как правило, имели следующие значения: CAPE – 0–81 Дж/кг (небольшая неустойчивость), CIN – 0...–30 Дж/кг (конвекция), Li – 0–24 (устойчивое состояние атмосферы). Эти значения говорят о том, что при прогнозе очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра в холодный период года следует использовать значения индекса неустойчивости CIN, который указывает на вероятность развития конвективных процессов в атмосфере, способствующих усилению ветра.

Заключение. На основании анализа исходной информации было выявлено, что за холодный период 1989–2022 гг. на территории РБ было отмечено 68 случаев очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра. При этом порывы ветра достигали 25–32 м/с.

Наибольшее число случаев ОЯ пришлось на северо-западные, центральные и восточные регионы страны, что обусловлено не только синоптическими условиями (северо-запад республики первый подвергается влиянию активных западных и ныряющих циклонов), но и местными физико-географическими условиями МС (возвышенный рельеф, открытая незалесенная местность и др.).

Для случаев очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра характерен сложный временной ход, наибольшее количество зафиксированных фактов ОЯ пришлось на период с ноября по март 1989–2000 гг., а с 2001 по 2010 гг. наблюдалась тенденция уменьшения количества ОЯ, которая сменилась тенденцией роста в последнем десятилетии (2011–2022 гг.).

В разрезе областей заметное увеличение числа случаев возникновения очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра в последнее десятилетие наблюдалось на территории Гомельской и Гродненской областей, в то время как для Витебской области, наоборот, характерна тенденция уменьшения количества исследуемого ОЯ. Для остальных областей РБ характерно равномерное распределение числа случаев очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра в течение рассматриваемого промежутка времени.

Во временном разрезе холодного периода года 59% случаев очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра было отмечено в январе.

Согласно синоптическому анализу, возникновение исследуемого ОЯ определялось не только плотным барическим градиентом, но и развитием кучево-дождевой облачности, усилением динамического фактора при прохождении фронтальных разделов, а именно: основного холодного фронта (57% случаев), холодного фронта с волнами (8%), вторичных холодных фронтов (25%) и фронтов окклюзий (10%).

Усиление ветра до критериев очень сильного порывистого наблюдалось при выходе на территорию РБ активных глубоких циклонов западных траекторий (90% случаев) и ныряющих (10% случаев).

Усиление ветра до критериев очень сильного порывистого, как правило, было связано с развитием кучево-дождевой облачности, которая имела уровень конденсации и конвекции на высотах около 500 и 3000 м соответственно. Температуры воздуха на уровне изобарической поверхности АТ-850 преимущественно колебались от +1,4°C до –11,3°C, дефициты точки росы составляли 0–10°C. При этом гребень теплого воздуха быстро сменялся ложбиной холода. По высотам преобладали сильные ветры северо-западного направления, достигающие критериев струйного течения.

Среди исследуемых индексов неустойчивости наилучшие показатели имеет индекс CIN, который указывает на вероятность развития конвективных процессов в атмосфере, сопровождающихся усилением ветра до критериев очень сильного порывистого.

По результатам анализа приземных синоптических и высотных аэрологических условий возникновения очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра на территории РБ с ноября по март 1989–2022 гг. были сформированы следующие синоптические рекомендации к прогнозу ОЯ в холодный период года:

- прохождение основных и вторичных холодных фронтов, холодных фронтов с волнами, фронтов окклюзий, связанных с выходом глубоких западных и ныряющих циклонов в стадии максимального развития;
- наличие теплой и относительно влажной массы у земли и на уровне АТ-850;
- наличие струйных течений северо-западного направления на уровнях АТ-700, АТ-500 и АТ-300;
- существование слоя конвективной неустойчивости в атмосфере (значения индекса неустойчивости CIN 0...–30 Дж/кг).

Все вышеперечисленные факторы формирования очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра позволят на начальном этапе определить наличие аэро-синоптических условий, благоприятных для прогноза ОЯ с помощью анализа карт приземного анализа, карт барической топографии, аэрологических диаграмм.

Если в результате пошагового выполнения пунктов данной рекомендации определены условия, благоприятные для формирования очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра необходимо дополнительно использовать результаты численных расчетов для рассматриваемой территории или пункта.

Также стоит отметить то, что для целей наукастинга в сочетании с численными моделями прогноза погоды стоит применять оперативные радиолокационные данные.

Таким образом, по результатам исследования были выявлены особенности пространственно-временного распределения очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра в холодный период года на территории РБ, которые могут быть использованы при разработке природоохранных мероприятий с целью снижения негативных последствий от ОЯ, уменьшения рисков влияния этих явлений на экономику и население страны. Также были установлены связи между рассматриваемым ОЯ и аэросиноптическими условиями его образования, которые могут рассматриваться в качестве рекомендаций для прогнозирования очень сильного (в т.ч. шквалистого) ветра и пополнения методической базы в сфере оперативного метеорологического обеспечения

страны своевременными прогнозами погоды и штормовыми предупреждениями.

Поступила 04.04.2025

Получена с рецензии 14.05.2025

Утверждена 15.08.2025

ЛИТЕРАТУРА

1. *Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорология. Правила составления краткосрочных прогнозов погоды общего назначения: ТКП 17.10-06-2008 (02120).* Минск, Минприроды (2008), 30.
2. Лукша М.В., Новик А.А. Аэросиноптические условия образования зимних гроз на примере аэродрома Минск-2. *Журнал БГУ. География. Геология* **1** (2022), 42–56.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-1-42-56>
3. Лукша М.В. Закономерности формирования конвективных явлений холодного периода на территории Минской области. *География* **2** (2024), 15–23.
4. Лукша М.В. *Научное обоснование прогноза конвективных явлений холодного периода на примере аэродрома Минск-2.* Минск (2022), 60.
5. Лукша М.В. *Прогноз конвективных явлений холодного периода на территории Беларуси.* XV Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу. Матер. докл. Всерос. конф. Томск, 2023 г.; Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (ред. Е.А. Головацкая). Томск, Ин-т мониторинга клим. и эколог. систем СО РАН (2023), 68–71.
6. Luksha M.V., Novik A.A. Features of Synoptic Processes of Winter Thunderstorms on the Territory of the Minsk Region in a Changing Climate. *Slupskie prace geograficzne* **18** (2022), 75–87.
<https://doi.org/10.34858/spg.18.2021.007>
7. Логинов В.Ф. *Климат Беларуси.* Минск, Ин-т геол. наук АН Беларуси (1996), 235.
8. Данилович И.С., Костюченко И.В. Трансформация ветрового режима на территории Беларуси в условиях изменяющегося климата. *География* **2** (2023), 8–16.
9. Логинов В.Ф., Волчек А.А., Шпока И.Н. Географические особенности распределения гроз и шквалов на территории Беларуси. Минск, *Природопользование* **16** (2009), 42–49.
10. Логинов В.Ф., Волчек А.А., Шпока И.Н. *Опасные метеорологические явления на территории Беларуси.* Минск, Беларуская навука (2010), 128.
11. Логинов В.Ф., Волчек А.А., Шпока И.Н. Сравнение пространственно-временных особенностей изменений опасных метеорологических явлений в характерное и не характерное для них время года. *Природопользование* **19** (2011), 5–22.
12. Шпока И.Н. *Пространственно-временное распределение опасных метеорологических явлений на территории Беларуси.* Автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. геогр. наук. Минск (2012), 23.
13. Логинов В.Ф., Бровка Ю.А., Микуцкий В.С. Изменение климата, экстремальных погодных и климатических явлений и их связь с типами циркуляции атмосферы Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому. *Природопользование* **24** (2013), 5–11.
14. Сумак Е.Н., Семенова И.Г. Циклоническая активность и повторяемость опасных явлений погоды над территорией Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология* **2** (2019), 79–93.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-79-93>
15. Юсупов Ю.И. *Прогноз шквалов и интенсивности осадков с применением термодинамических параметров и потенциального вихря Эртеля.* Автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. физ.-мат. наук. Москва (2021), 129.

16. Неижмак А.Н., Расторгуев И.П. Методика прогноза конвективных опасных метеорологических явлений по комплексу спутниковых и аэрологических данных. *Успехи современного естествознания* **6** (2019), 100–104.
17. Алексеева А.А., Васильев Е.В., Бухаров В.М. *Прогноз сильных шквалов на европейской территории России и их идентификация доплеровскими радиолокаторами*. Москва, Гидромет. науч.-исслед. центр (2017), 18.
18. Дементьева С.О., Ильина Н.В., Шаталина М.В. Прогноз конвективных явлений и его верификация по данным наблюдений атмосферного электричества. *Известия РАН. Физика атмосферы и океана* **56** (2020), 150–157.
19. Вельтищев Н.Ф., Жупанов В.Д., Павлюков Ю.Б. Краткосрочный прогноз сильных осадков и ветра с помощью разрешающих конвекцию моделей WRF. *Метеорология и гидрология* **1** (2011), 5–18.
20. Вельтищев Н.Ф., Жупанов В.Д. Эксперименты по численному моделированию интенсивной конвекции. *Метеорология и гидрология* **9** (2008), 30–44.
<https://rucont.ru/efd/331866>
21. Маргарян В.Г. Особенности режима климатических характеристик скорости ветра на территории Сюникского марза. *Вестник ВГУ. География. Геоэкология* **2** (2020), 46–54.
<https://doi.org/10.17308/geo.2020.2/2885>
22. Маргарян В.Г. О вопросах закономерностей пространственно-временного распределения климатических характеристик максимального ветра (марз Сюник, Армения). *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки* **3** (2020), 60–68.
<https://doi.org/10.18522/1026-2237-2020-3-60-68>
23. Архив карт Белгидромета за 1989–2022 гг. – Ф.1 Оп.1 Д. Подлинник.
24. Мельник В.И., Комаровская Е.В. Особенности изменения климата на территории Республики Беларусь за последние десятилетия. *Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания*. Сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Брест 2014 г. **Ч. 1**. Брест, БрГТУ (2014), 153–162.
25. Подгорная Е.В., Мельник В.И., Комаровская Е.В. *Особенности изменения климата Республики Беларусь за последние десятилетия*. Минск, Белгидромет (2015), 120.
26. Климатическая характеристика зимы 2023/2024 года (дата обращения 01.03.2024).
<https://elgidromet.by>
27. ThundeR – ERA5 Sigma Levels Browser. Europe, Date of access: 29.05.2024.
<https://www.rawinsonde.com/ERA5>
28. Хандожко Л.А. *Региональные синоптические процессы*. Ленинград, ЛГМИ (1988), 103.

Մ. Վ. ԼՈՒԿՇԱ

ԲԵԼԱՍՈՒՄԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ՏԱՐԱԾՔՈՒՄ
ՏԱՐՎԱ ՑՈՒՐՏ ԺԱՄԱՆԱԿԱՀԱՏՎԱԾԻ ՇԱՏ ՈՒԺԵՂ ԶԱՄԻՆ
ՓՈՓՈԽՎՈՂ ԿԼԻՄԱՅԻ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հոդվածում վերլուծվում են Բելառուսի Հանրապետության տարածքում ցուրտ սեզոնի ընթացքում շատ ուժեղ (ներառյալ փոթորկային) քամիների դեպքերը՝ փոփոխվող կլիմայի պայմաններում (1989-ից 2022 թթ.): Սահմանվել են շատ ուժեղ (ներառյալ փոթորկային) քամիների նոյեմբերից մարտ ամիսներին կրկնությունը, տարածա-ժամանակային բաշխման առանձնահատկությունները, ինչպես նաև ներկայացվել են փոփոխվող կլիմայի պայմաններում վտանգավոր հիդրոոդերևութաբանական երևույթների զարգացման միտումները: Բացի օդերևութաբանական կայանների ֆիզիկաաշխարհագրական պայմաններից,

որոնք ազդում են ուսումնասիրվող երևույթի տարածա-ժամանակային բաշխման վրա, որոշվել են գետնամերձ շերտի սինոպտիկական և բարձր անբոլոգիական պայմանները, որոնք նպաստում են քամու ուժգնացմանը մինչև շատ ուժեղի: Ներկայացվում է տարվա ցուրտ ժամանակահատվածում շատ ուժեղ (ներառյալ փոթորկային) քամիների կանխատեսման հիմնական սինոպտիկական առաջարկությունները:

M. V. LUKSHA

THE OCCURRENCE OF VERY STRONG WINDS IN THE COLD SEASON
OF THE YEAR IN THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BELARUS
IN CONDITIONS OF A CHANGING CLIMATE

Summary

This article analyzes the occurrence of very strong (including squally) winds during the cold season in the territory of the Republic of Belarus in a changing climate (from 1989 to 2022). The repeatability, spatial and temporal features of the distribution of such wind from November to March, as well as the trends in the development of a hazardous hydrometeorological phenomenon in a changing climate are presented. In addition to the physical and geographical conditions of weather stations, which affect the spatial and temporal distribution of the phenomenon under study, surface synoptic and high-altitude aerological conditions are determined, contributing to the strengthening of the wind to the criteria of very strong. The main weather recommendations for forecasting very strong (including squally) winds during the cold season are proposed.