УДК: 551.5(470) **DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-709-718**

А.А. Магаева[1], **Н.А. Яицкая**[2]

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД НА ФОНЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена анализу опасных гидрометеорологических природных явлений (ОГЯ), возникающих в зимний период в северной части Каспийского моря, и их пространственно-временной динамике на фоне региональных климатических изменений. Рассмотрены ОГЯ за период 1950–2020 гг.: суровые зимы, раннее ледообразование, штормовое волнение, ветровой нагон, а также кумулятивные ОГЯ – сочетания штормового волнения и нагона. Информационной основой исследования ледового режима Каспийского моря послужила геоинформационная система (ГИС) «Ледовый режим южных морей России». Для ретроспективного анализа ветрового волнения использована математическая модель SWAN. На основе сумм градусодней мороза (СГДМ) выполнена типизация зим по степени суровости. За исследуемый период преобладают умеренные типы зим (59,4 %), а количество суровых и мягких зим одинаково и составляет 14 шт. (20,3 %) каждого типа. На фоне климатических изменений возрастает количество мягких по температурным условиям зим, а число суровых снижается. Начиная с 1985 г. отмечено всего лишь 3 суровые зимы (2002/03, 2007/08, 2011/12 гг.). А площадь ледяного покрова сократилась на ~7–10 %, продолжительность ледового сезона – на 5 дней на ГМС Пешной. Выделено 157 ситуаций сочетаний штормового нагона и штормового волнения, из них 140 случаев потенциальных ситуаций кумулятивных явлений сочетания шторма и нагонных явлений со скоростью 15 м/с и более ветров эффективных направлений. Наибольшее количество случаев кумулятивных ОГЯ со скоростью ветра более 15 м/с зафиксировано в марте. После 2000-х гг. отмечено увеличение количества случаев и продолжительности ОГЯ в ноябре и марте. Прямой связи между количеством случаев кумулятивных ОГЯ и суровостью зим не установлено.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Северный Каспий, опасные гидрометеорологические явления, штормовой нагон, ледяной покров

---

[1] Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук (Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences), пр. Чехова, 41, 344006, г. Ростов-на-Дону, Россия; *e-mail:* **a.magaeva@mail.ru**

[2] Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук», ул. Яна Фабрициуса, 2/28, 354002, Сочи, Россия; Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, пр. Чехова, д. 41, 344006, Ростов-на-Дону, Россия; *e-mail:* **yaitskayan@gmail.com**

Anastasiia A. Magaeva[1], **Natalia A. Yaitskaya**[2]

HYDROMETEOROLOGICAL HAZARDS DURING THE WINTER PERIODS IN THE NORTHERN CASPIAN AND DYNAMICS UNDER THE INFLUENCE OF CLIMATIC CHANGES

ABSTARCT

Hydrometeorological hazards of the Northern Caspian during the winter periods 1950–2020 – due to climatic changes were investigated. Hydrometeorological hazards for the period 1950–2020 are considered: severe winter periods, early ice freeze-up, storm waves, wind surge, as well as cumulative hydrometeorological hazards – combinations of storm waves and surge. Geographic information system (GIS) "Ice regime of the southern seas of Russia" is the information basis for the study of the ice regime of the Caspian Sea.

Storm activity in the Caspian Sea were reconstructed using SWAN spectral wave model. Based on the cumulative freezing-degree days winters were divided by severity – mild, moderate and severe. During the study period, moderate types of winters prevail (59.4 %), and the number of severe and mild winters is the same and amounts to 14 pcs. (20.3 %) of each type. Due to climate change, the number of mild winters is increasing, and the number of severe ones is decreasing. Since 1985, 3 severe winters (2002/03, 2007/08, 2011/12) have been recorded. As a result, the ice cover area decreased by ~7–10 %, and the duration of the ice season at the observation point Peshnoy was reduced by 5 days. 157 situations of combinations of storm surge and storm waves are identified: 140 are cases of potential situations of cumulative phenomena of a combination of storm and surge phenomena with a speed of 15 m/s or more of winds of effective directions. The largest number of cases of cumulative dangerous hydrometeorological hazards with a wind speed of more than 15 m/s is observed in March. After the 2000s there was an increase in the number of cases and duration of dangerous hydrometeorological hazards in November and March. A direct relationship between the number of cases of cumulative dangerous hydrometeorological hazards and the severity of winters has not been found.

KEYWORDS: the Northern Caspian, hydrometeorological hazards, storm surge, ice cover

ВВЕДЕНИЕ

В XX – начале XXI вв. климатические условия и водобалансовый режим Каспийского моря претерпел значительные изменения. Характерна значительная пространственно-временная неоднородность в распределении элементов гидрологической структуры, на фоне которой прослеживается некоторая цикличность. При этом в отдельных районах моря межгодовые изменения являются синхронными, но не всегда однонаправленными.

[1] Southern Scientific Centre of Russian Academy of Sciences, pr. Chekhova, 41, 344006, Rostov-on-Don, Russia; *e-mail:* **a.magaeva@mail.ru**

[2] Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Yana Fabritsiusa str., 2/28, 354002, Sochi, Russia; Southern Scientific Centre of Russian Academy of Sciences, pr. Chekhova, 41, 344006, Rostov-on-Don, Russia; *e-mail:* **yaitskayan@gmail.com**

Как неоднократно отмечалось в литературе, Каспийское море, вследствие изолированности от Мирового океана, является чувствительным к флуктуациям внешних факторов и быстро на них реагирует.

С увеличением числа случаев природных катаклизмов в начале XXI века в южном макрорегионе России особенно остро выявляется проблема исследования не только отдельных опасных гидрометеорологических (ОГЯ) и природных (ОПЯ) явлений, но и их возможных сочетаний (мультиопасных явлений), приводящих к негативному кумулятивному эффекту воздействия. Для Каспийского моря характерны следующие зимние опасные природные явления, перечень и критерии которых утверждены Росгидрометом[1]:

- сильное волнение – высота волны 4.0 м и более;
- ветровой нагон – подъем уровня 240 см для о. Тюлений и 320 см для Лагань;
- кумулятивное явление: нагон и волнение – 200 см при высоте волн 2.5 м и более;
- раннее появление льда – конец октября – начало ноября;
- обледенение судов;
- дрейф ледяных полей;
- появление льда, непроходимого судами в период навигации на судовых трассах;
- навалы льда на берега и морские гидротехнические сооружения;
- отрыв прибрежных льдов в местах выхода людей на лед.

Наиболее катастрофическим может стать т.н. «ледовый нагон» или «ледовый шторм» – сочетание стремительного нагонного повышения уровня воды или экстремального волнения при наличии ледяного покрова. Наибольшая вероятность возникновения таких сочетаний возникает в ноябре – декабре и марте, когда еще не сформировался припай и ледяной покров под воздействием шторма или нагонного повышения уровня воды может взламываться и переноситься в сторону берега, разрушая все на своем пути. Такие мультиопасные гидрометеорологические явления могут привести к тяжелым хозяйственным потерям в прибрежных областях, особенно на фоне порой существенных межгодовых колебаний уровня моря. Для корректного учета и понимания фоновых процессов таких явлений необходимо отойти от механического рассмотрения набора факторов по отдельности и перейти к увязке разных явлений и параметров между собой, найти физическую основу и связи с описанными флуктуациями гидрологического режима Каспийского моря.

В настоящей статье представлен анализ зимних опасных гидрометеорологических явлений (ОГЯ) северной части Каспийского моря за период с 1950 по 2020 гг., их пространственно-временная динамика на фоне климатических изменений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Информационной основой исследования ледового режима Каспийского моря стала геоинформационная система (ГИС) «Ледовый режим южных морей России». ГИС разработана как уникальная среда для сбора, хранения, накопления, быстрого доступа и дальнейшего совместного использования данных для разных задач [*Яицкая, Магаева*, 2020]. ГИС содержит информацию о ледовых характеристиках в Азовском, Черном и Каспийском морях за период 1810–2021 гг.:

- картографические данные. Представлены картосхемами и векторными данными (формата *.shp) ледовой обстановки в морях за период 1959–2021 гг. с обозначением положения кромки льда, форм плавучего льда, сплоченности льда в баллах – всего 499 картосхем;

[1] Перечень и критерии опасных природных гидрометеорологических явлений утверждены приказом ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС» от 26.02.2016 № 22 (с изменениями).

• табличные (численные) данные – результаты многолетних наблюдений (1810–2021 гг.) за характеристиками ледового режима на пяти прибрежных метеопунктах (Астрахань, Пешной, Искусственный, Тюлений, Кулалы).

Пространственно-распределенная информация находится в базе геоданных, которая поддерживает хранение и управление географической информацией в сводных таблицах стандартных систем управления базами данных.

Для оценки межгодовой динамики зимних температурных условий применяется типизация зим по степени суровости. Определение типов зим является ключевым параметром не только при анализе ледового режима морей, но и для оценки климатических изменений. Чередование суровых и мягких зим может говорить о цикличности климата, что подтверждается работами [*Матишов и др.,* 2008; *Матишов и др.,* 2014].

Наиболее распространенный метод типизации зим по степени суровости – определение (вычисление) сумм градусодней мороза (СГДМ). Необходимо сложить все отрицательные температуры воздуха за зимний период, а затем по предлагаемым градациям определить к какому типу относится зимний период. В работе [*Думанская*, 2013] к умеренным относятся зимы, для которых СГДМ попадает в интервал от значения, соответствующего «среднее плюс 20 % амплитуды» до значения «среднее минус 20 % амплитуды». Зимы, входящие в интервал выше и ниже указанных значений, относятся к суровым и мягким соответственно. При этом исключаются две крайние аномальные зимы как наименее характерные – самая холодная и самая теплая [*Думанская*, 2013]. Данную методику для типизации зим Каспийского моря также применяют в своих работах П.И. Бухарицин, А.В. Федоренко и др. [*Бухарицин*, 2008; *Федоренко*, 2011].

В настоящей работе для типизации зим по степени суровости использовались отрицательные температуры воздуха за зимний период – декабрь – март для гидрометеорологических станций (ГМС) Каспийского моря – Астрахань, Атырау, Махачкала, Форт-Шевченко за период 1950–2019 гг. Для унификации данных о температурном режиме СГДМ рассматриваемых ГМС были суммированы, а затем распределены по типам зим согласно градациям, выделенным вышеописанным методом.

Для ретроспективного анализа ветрового волнения в Каспийском море использована математическая модель SWAN (Simulating WAves Nearshore)[1], версия 41.31 – волновая модель третьего поколения для получения реалистичных параметров при заданном ветре, батиметрии и текущих условиях в мелководных акваториях – прибрежных регионах, озерах и эстуариях. Модель разработана на факультете Гражданского строительства и наук о Земле Делфтского технического университета, Нидерланды. Модель применяется для расчетов волнения во внутренних полузамкнутых морях, например, для Азовского моря, Балтийского моря, Черного моря [*Akpınar et al.,* 2012; *Akpınar et al.,* 2016; *Van Vledder, Akpınar*, 2015; *Zijlema, Van der Westhuyse*, 2005; *Yaitskaya*, 2022]. Это наиболее активно используемая в настоящее время модель, которая показывает достоверные результаты как для глубоководных областей, так и для мелководных замкнутых акваторий. Для расчетов использована сетка с пространственным разрешением 0.01°×0.01°, построенная на основе цифровой модели рельефа (ЦМР) дна Каспийского моря. В качестве ветрового форсинга использован глобальный атмосферный реанализ ERA-Interim ECMWF[2] в виде наборов зональной и меридиональной компонент на высоте 10 м над уровнем моря, доступный с 1979 года по 31 августа 2019 года. Временная дискретность – 1 час. Пространственное разрешение сетки реанализа составляет около 80 км.

[1] https://swanmodel.sourceforge.io

[2] https://www.ecmwf.int/en/elibrary/8174-era-interim-archive-version-20

Верификация модели SWAN к условиям Каспийского моря выполнялась ранее и подробно описана в работах Н.А. Яицкой. Шаг расчетов по времени составил 15 минут с 1979 г. На каждом временном шаге значения искомых параметров рассчитывались в каждой ячейке сетки и записывались в выходные файлы. Значения внешних факторов (скорость и направление ветра) изменялись каждый час. Результатом работы модели SWAN являются рассчитанные значения ветро-волновых характеристик: значительная высота, средний (нулевой и минус первый моменты спектра) период, длина и направление волны, параметры волн зыби.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования было выяснено, что за изучаемый период 1950–2020 гг. преобладают умеренные типы зим (59,4 %). Стоит отметить, что количество суровых и мягких зим одинаково и составляет 14 шт. (20,3 %) каждого типа. Интерес представляет их повторяемость (рис. 1) – с 1950 по 1985 гг. суровые зимы в Северном Каспии отмечались раз в 2–5 лет, но начиная с 1985 г. по 2019 г., отмечено всего лишь 3 суровые зимы (2002/03, 2007/08, 2011/12 гг.). В результате площадь ледяного покрова сократилась на ~ 7–10 %, продолжительность ледового сезона – на 5 дней на ГМС Пешной [*Ogorodov et al.,* 2020].

Самая суровая зима в северо-каспийском регионе была в 1953/54 гг., когда СГДМ на ГМС Астрахань составила минус 1166,5°С. Уже с первой декады ноября 1953 г. в акватории наблюдался ледяной покров до первой – второй декады апреля 1954 г., а в некоторых районах Северного Каспия – до третьей декады апреля. Вся акватория Северного Каспия была покрыта припаем (рис. 2), толщина ровного льда достигала 60–65 см, в Красноводском заливе – 30 см. В районе Махачкалы наблюдался лед толщиной 24 см. Вдоль западного побережья Среднего Каспия наблюдалась полоса дрейфующего льда сплоченностью 7–9 баллов. Ширина этой полосы доходила местами до 70 км. Дрейфующие льды блокировали все западное побережье моря вплоть до Апшеронского п-ова. Работа л/к «Серго Орджоникидзе», занимавшегося проводкой судов, была неэффективной и ее пришлось приостановить. Было разрушено несколько нефтяных вышек, установленных в море [*Думанская*, 2014]. Среднемноголетняя площадь ледяного покрова в суровые зимы составляет около 65 000 км^2. Продолжительность ледового сезона – 150–170 дней в северной части моря и 110–160 дней в средней. Самая мягкая – зима 1999/00 гг., СГДМ на ГМС Астрахань – минус 78,7 °С.

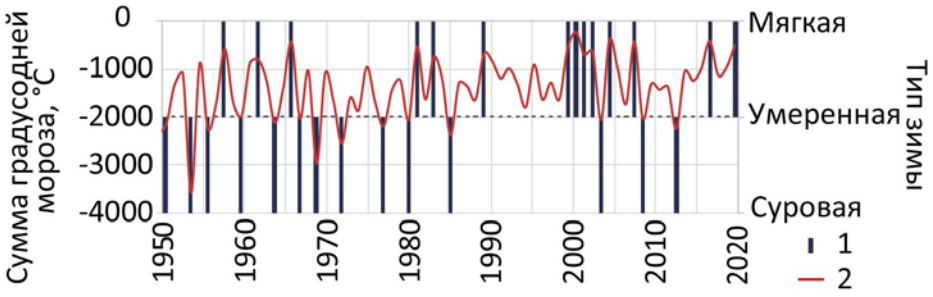

Рис. 1. Типизация зим по степени суровости Северного Каспия:
1 – Тип зимы (суровая, умеренная, мягкая); 2 – сумма градусодней мороза, °С

Fig. 1. Winter severity timeline of the Northern Caspian:
1 – Type of winter (severe, moderate, mild); 2 – cumulative freezing degree-days, °C

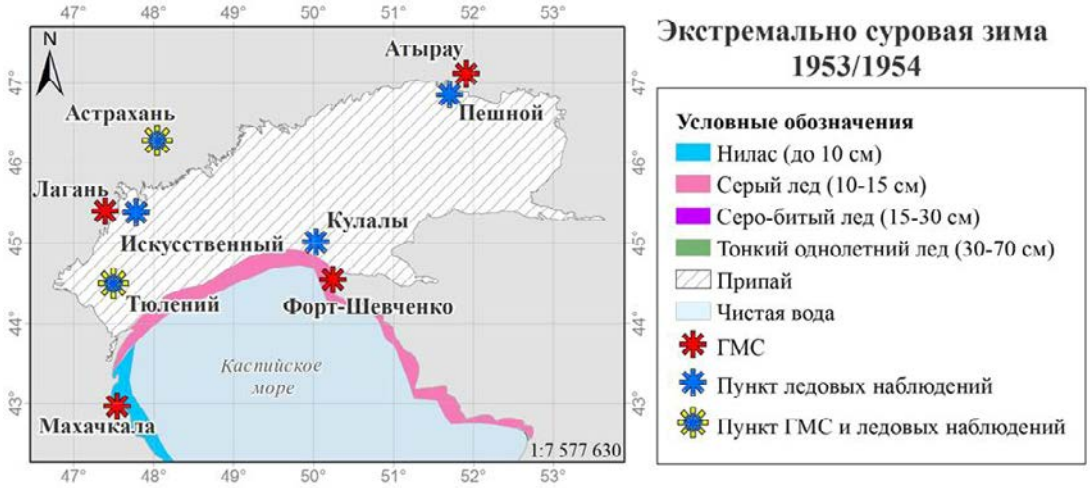

Рис. 2. Ледяной покров Северного Каспия в экстремально суровую зиму 1953/1954 гг. по данным авиаразведки

Fig. 2. Ice cover of the Northern Caspian at the extreme severe winter 1953/1954 (aerial reconnaissance data)

В зависимости от степени суровости зимы меняется положение ледяных торосистых образований. Подвижки ледяных торосистых образований приводят к механическому воздействию льдов на грунт, вследствие динамики ледяного покрова, торошения и стамухообразования под влиянием гидрометеорологических факторов и рельефа прибрежно-шельфовой зоны [*Огородов*, 2011]. Данные процессы представляют опасность для гидротехнических и др. инженерных сооружений. Наибольшее количество ледяных торосистых образований (торосы и стамухи) наблюдается в умеренные зимы со средней ледовитостью (рис. 3). В суровые зимы большую часть акватории занимает устойчивый припай, а в мягкие зимы процесс торошения ограничен не полностью покрытой льдом акваторией и малой толщиной льда [*Бухарицин и др.,* 2015].

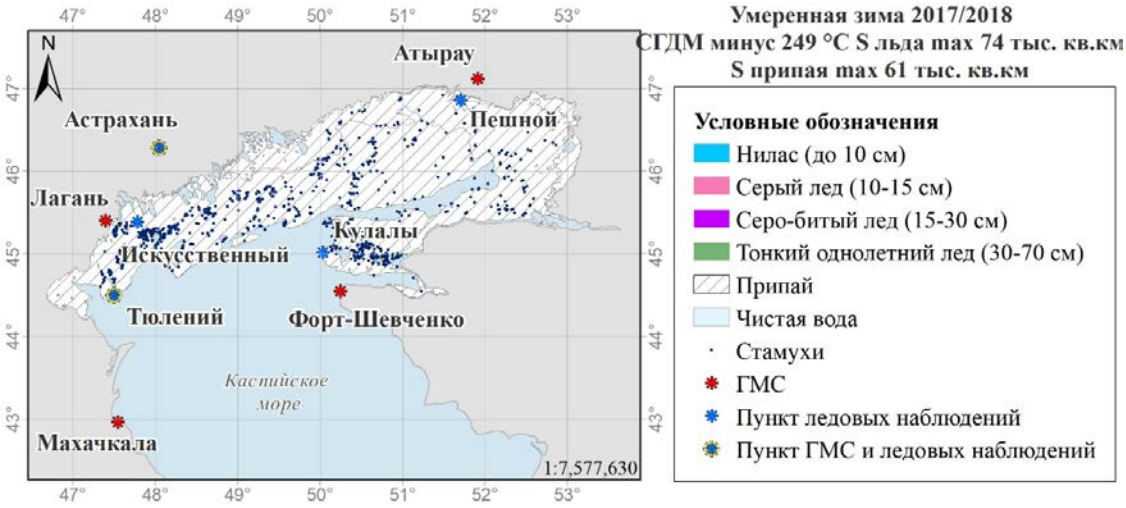

Рис. 3. Стамухи Северного Каспия в умеренную зиму 2017/2018 гг. по спутниковым данным LLP ICEMAN.KZ [Sigitov et al., 2019]

Fig. 3. Stamukhi of the Northern Caspian at the moderate winter 2017/2018 satellite data acquired by LLP ICEMAN.KZ [Sigitov et al., 2019]

С 1950 года число случаев раннего ледообразования на прибрежных ГМС Северного Каспия составило:

- 9 на ГМС Пешной;
- 5 на ГМС Тюлений;
- 9 на ГМС Искусственный.

В таких случаях продолжительность ледового сезона составляет в среднем от 115 дней для ГМС Тюлений до 150 дней для ГМС Пешной, при среднемноголетних значениях 88 и 121 день соответственно. Случаи раннего ледообразования не наблюдаются с начала 2000-х годов, за исключением ГМС Пешной – здесь последний случай раннего ледообразования отмечен в зимний сезон 2011/2012.

Из рассматриваемых опасных явлений чаще всего возникает штормовое волнение. Кумулятивный эффект достигается именно при «наложении» на штормовое волнение опасных нагонов и льда в море. С 1948 г. по настоящее время выделено 157 ситуаций сочетаний штормового нагона и штормового волнения, для которых характерны скорости ветра от 10 м/с; эффективное направление по отношению к берегу, что вызывает нагоны; высота волн от 3 м в открытом море. Величина нагонного превышения уровня различается для выбранных ситуаций и составляет от нескольких десятков сантиметров до 2.5–3.0 м. Из них 140 случаев потенциальных ситуаций кумулятивных явлений сочетания шторма и нагонных явлений со скоростью 15 м/с и более ветров эффективных направлений.

Мультиопасные гидрометеорологические явления в зимний период наблюдаются практически ежегодно, исключение составляет период с 1986 по 1992 гг., когда не отмечено ни одного опасного явления, хотя среднесуточные уровни моря в Северном Каспии в этот период неоднократно практически достигали отметок опасности. Среднее количество случаев за зимний сезон составляет два–три.

Наибольшая повторяемость (количество случаев в год) отмечается в 1950–60-е гг. и в 2000-е гг. В зимние периоды 1952/53 и 2005/06 гг. наблюдалось наибольшее за более, чем полвека, количество случаев (7 и 8 случаев соответственно). С увеличением повторяемости мягких зим с 1980-х гг. постепенно возрастает количество и **продолжительность** мультиопасных гидрометеорологических явлений. Так, за пятнадцать лет с 2000 г. количество случаев продолжительностью более 27 часов составило 12 (для сравнения, всего с 1950 г. по 1999 г. – 8 случаев). Максимум зафиксирован в умеренную зиму 2004/05 гг. (январь), когда продолжительность непрерывного экстремального мульти-ОГЯ составила более четырех суток (105 ч). А в умеренную зиму 2005/06 гг. (январь) продолжительность непрерывного экстремального кумулятивного ОГЯ составила более 70 ч.

Средняя продолжительность случаев при полном отсутствии ледяного покрова или при наличии отдельных плавающих льдин составляет 5 часов. Только в 9 случаях из 157 отмечалась штормовая ситуация, охватившая все море, при этом ледовитость в Северном Каспии составляла более 50 %.

Наименьшая повторяемость зафиксирована в конце 1980-х гг. – начале 1990-х гг. на фоне увеличившейся в этот период максимальной высоты волны и постепенного роста и стабилизации уровня моря, при отсутствии суровых зим. Величина нагонного превышения уровня моря также уменьшается. При возникновении кумулятивных ОГЯ со скоростью ветра более 15 м/с процесс охватывает всю акваторию. Рассчитанные среднесуточные значения высот волн подтверждают это.

Прямой связи между количеством случаев кумулятивных ОГЯ и суровостью зим нет. Неблагоприятные и опасные нагоны в сочетании со штормовым волнением могут возникать как при наличии ледяного покрова, так и без него. Исключение составляет присутствие припая на акватории. Важной особенностью является то, что наибольшее ко-

личество случаев кумулятивных ОГЯ со скоростью ветра более 15 м/с отмечается в марте. И если в феврале, декабре и январе количество случаев практически неизменно из года в год, то в ноябре и марте после 2000-х гг. наблюдается увеличение ОГЯ, в том числе и по продолжительности.

ВЫВОДЫ

Выполнен анализ зимних опасных гидрометеорологических явлений за период 1950–2020 гг. На фоне климатических изменений возрастает количество мягких по температурным условиям зим, а число суровых снижается. В результате площадь ледяного покрова (в том числе и припая) и продолжительность ледового сезона сокращаются. Случаи раннего ледообразования не наблюдаются с начала 2000-х годов.

Выделено 157 ситуаций сочетаний штормового нагона и штормового волнения, из них 140 случаев потенциальных ситуаций кумулятивных явлений сочетания шторма и нагонных явлений со скоростью 15 м/с и более ветров эффективных направлений. Наибольшее количество случаев кумулятивных ОГЯ со скоростью ветра более 15 м/с отмечается в марте. После 2000-х гг. зафиксировано увеличение количества случаев и продолжительности ОГЯ в ноябре и марте. Прямой связи между количеством случаев кумулятивных ОГЯ и суровостью зим не установлено.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, № гр. проекта 122013100131-9 в части анализа температурного и ледового режимов; за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-77-00083) в части анализа штормового волнения и нагонных явлений.

ACKNOWLEDGMENTS

The reported study was funded under the state assignment research of SSC RAS, project No. 122013100131-9 “Geoinformation analysis and modelling of marine and terrestrial ecosystems in the South of Russia” regarding the analysis of temperature and ice regimes; Russian Science Foundation (project No. 20-77-00083) in terms of the analysis of storm waves and surge phenomena.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бухарицин П.И., Огородов С.А., Архипов В.В*. Воздействие ледяных образований на дно Северного Каспия в условиях колебаний уровня и ледовитости. Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2015. №. 2. С. 101–108.
2. *Бухарицин П.И.* Сравнительные характеристики многолетней изменчивости ледяного покрова северной части Каспийского и Азовского морей. Вестник Астраханского государственного технического университета. 2008. № 3. С. 207–213.
3. *Думанская И.О.* Ледовые условия морей европейской части России. М.: ИГ–СОЦИН, 2014. 608 с.
4. *Думанская И.О.* Типовые условия на основных судоходных трассах морей европейской части России для зим различной суровости. Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2013. № 350. С. 142–166.
5. *Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Бердников С.В., Сорокина В.В., Левитус С., Смоляр И.В*. Внутривековые флуктуации климата Азовского моря (по термохалинным данным за 120 лет). Доклады Академии Наук, 2008. Т. 422. № 1. С. 106–109.

6. *Матишов Г.Г., Чикин А.Л., Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В., Чикина Л.Г.* Ледовый режим Азовского моря и климат в начале XXI века. Доклады Академии Наук, 2014. Т. 457. № 5. С. 603–607.
7. *Огородов С.А.* Роль морских льдов в динамике рельефа береговой зоны. М.: Изд-во МГУ, 2011. 171 с.
8. *Федоренко А.В.* Исследование сезонных и внутривековых колебаний основных ледовых параметров на южных морях (Азовское и Каспийское). Труды ГОИН, 2011. Т. 215. С. 15–25.
9. *Яицкая Н.А., Магаева А.А.* Ледовый режим Северного Каспия. Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2020. № 6. С. 63–72.
10. *Akpınar A., Bingölbalia B., Van Vledder G.P.* Wind and wave characteristics in the Black Sea based on the SWAN wave model forced with the CFSR winds. Ocean Engineering, 2016. Vol. 126. P. 276–298. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2016.09.026.
11. *Akpınar A., Van Vledder G.P., Kömürcü M.I ̇., Özger M.* Evaluation of the numerical wave model (SWAN) for wave simulation in the Black Sea. Continental Shelf Research, 2012. Vol. 50. P. 80–99. DOI: 10.1016/j.csr.2012.09.012
12. *Ogorodov S.A., Magaeva A.A., Maznev S.V., Yaitskaya N.A., Vernyayev S., Sigitov A., Kadranov Y.* Ice Features of the Northern Caspian under sea level fluctuations and ice coverage variations. Geography, Environment, Sustainability. 2020. Vol. 13. No. 3. P. 129–138. DOI: 10.24057/2071-9388-2020-77.
13. *Sigitov A., Kadranov Y., Vernyayev S.* Analysis of Stamukhi Distribution in the Caspian Sea. Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, POAC, 2019. P. 1–14.
14. *Van Vledder G.P., Akpınar A*. Wave model predictions in the Black Sea: Sensitivity to wind fields. Applied Ocean Research. 2015. Vol. 53. P. 161–178.
15. *Yaitskaya N*. The Wave Climate of the Sea of Azov. Water. 2022. Vol. 14 (4). P. 555. DOI: 10.3390/w14040555.
16. *Zijlema M., Van der Westhuyse A.J.* On convergence behavior and numerical accuracy in stationary SWAN simulations of nearshore wind wave spectra. Coastal Engineering. 2005. Vol. 52. No. 3. P. 237–256. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2004.12.006.

REFERENCES

1. *Akpınar A., Bingölbalia B., Van Vledder G.P.* Wind and wave characteristics in the Black Sea based on the SWAN wave model forced with the CFSR winds. Ocean Engineering. 2016. Vol. 126. P. 276–298. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2016.09.026.
2. *Akpınar A., Van Vledder G.P., Kömürcü M.I ̇., Özger M.* Evaluation of the numerical wave model (SWAN) for wave simulation in the Black Sea. Continental Shelf Research. 2012. Vol. 50. P. 80–99. DOI: 10.1016/j.csr.2012.09.012.
3. *Bukharitsin P.I.* Comparative characterisitcs of long-term variability of the ice cover in the north part of the Caspian and Azov seas. Vestnik of Astrakhan State Technical University. 2008. Vol. 3. P. 207–213 (in Russian).
4. *Bukharitsin P.I., Ogorodov S.A., Arkhipov A.A.* Impact of ice bodies on the seabed of the Northern Caspian Sea under sea level fluctuation and ice coverage changes. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya. 2015. Vol. 2. P. 101–108 (in Russian).
5. *Dumanskaya I.O.* Ice conditions of the seas of the European part of Russia. Moscow: IG SOTSIN, 2014. 608 p. (in Russian).

6. *Dumanskaya I.O.* Typical conditions on the main navigable routes of the seas of the European part of Russia for winters of varying severity. Proceedings of Hydrometcentre of Russia. 2013. No 350. P. 142–166 (in Russian).
7. *Fedorenko A.V.* The study of seasonal and intra-annual variations of the main ice parameters on the southern seas (the Sea of Azov and the Caspian Sea). Proceedings of the GOIN. 2011. Vol. 215. P. 15–25 (in Russian).
8. *Matishov G.G., Chikin A.L., Dashkevich L.V., Kulygin V.V., Chikina L.G.* Ice regime of the Sea of Azov and the climate at the beginning of the XXI century. Doklady Earth Sciences. 2014. Vol. 457. No. 5. P. 603–607 (in Russian).
9. *Matishov G.G., Matishov D.G., Berdnikov S.V., Sorokina V.V., Levitus S., Smolyar I.V* Secular climate fluctuations in the Sea of Azov region (based on thermohaline data over 120 years). Doklady Earth Sciences. 2008. Vol. 422. No. 1. P. 106–109 (in Russian).
10. *Ogorodov S.A., Magaeva A.A., Maznev S.V., Yaitskaya N.A., Vernyayev S., Sigitov A., Kadranov Y.* Ice Features of the Northern Caspian under sea level fluctuations and ice coverage variations. Geography, Environment, Sustainability. 2020. Vol. 13 (3). P. 129–138. DOI: 10.24057/2071-9388-2020-77.
11. *Ogorodov S.A.* The Role of Sea Ice in Coastal Dynamics. Moscow: Moscow University Press, 2011. 171 p. (in Russian).
12. *Sigitov A., Kadranov Y., Vernyayev S.* Analysis of Stamukhi Distribution in the Caspian Sea. Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, POAC. 2019. P. 1–14.
13. *Van Vledder G.P., Akpınar A*. Wave model predictions in the Black Sea: Sensitivity to wind fields. Applied Ocean Research. 2015. Vol. 53. P. 161–178.
14. *Yaitskaya N*. The Wave Climate of the Sea of Azov. Water. 2022. Vol. 14 (4). P. 555. DOI: 10.3390/w14040555.
15. *Yaitskaya N.A., Magaeva A.A.* Ice regime of the Northern Caspian. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya. 2020. Vol. 6. P. 63–72 (in Russian).
16. *Zijlema M., Van der Westhuyse A.J.* On convergence behavior and numerical accuracy in stationary SWAN simulations of nearshore wind wave spectra. Coastal Engineering. 2005. Vol. 52. No. 3. P. 237–256. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2004.12.006.