

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2023-4-105-117>

УДК 551.467

Анализ ледовых условий на судоходных трассах Каспийского моря

Е.С. Нестеров¹, А.А. Максимов², А.В. Федоренко¹

*¹Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации, г. Москва, Россия;*

*²Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»,
г. Москва, Россия
nesterov@mecom.ru*

Представлен анализ ледовых условий на судоходных трассах северной части Каспийского моря. Рассматриваются толщина и сплоченность льда в зимние сезоны 2011/2012, 2015/2016 и 2022/2023 годов. Наиболее тяжелые ледовые условия были в сезон 2011/2012 гг. На основе спутниковой информации даны примеры распространения стамух – опасных для судоходства ледяных образований.

Ключевые слова: Каспийское море, ледяной покров, судоходные трассы, толщина и сплоченность льда, стамухи

Analysis of ice conditions on the Caspian Sea shipping routes

E.S. Nesterov¹, A.A. Maksimov², A.V. Fedorenko¹

¹Hydrometeorological Research Center of Russian Federation, Moscow, Russia;

*²Scientific Research Center of Space Hydrometeorology "Planeta", Moscow, Russia
nesterov@mecom.ru*

An analysis of ice conditions on the shipping routes in the northern part of the Caspian Sea is given. The thickness and concentration of sea ice on the routes in the winter seasons of 2011/2012, 2015/2016, and 2022/2023 are considered. The most severe ice conditions were observed in the winter season of 2011/2012. On the basis of satellite information, examples of the spread of stamukhas, which are the ice structures, dangerous for navigation, are given.

Keywords: Caspian Sea, ice cover, shipping routes, thickness and concentration of sea ice, stamukhas

Введение

В северной части Каспийского моря (далее Северный Каспий) ведется активная деятельность по разведке, добыче и транспортировке углеводородов. Наличие ледяного покрова является лимитирующим фактором для этой деятельности. Интенсивный дрейф ледяных полей, заторы и торосение льда снижают скорость движения судов. Активное торосение, в результате которого образуются ледяные торосистые образования, и припай

могут значительно препятствовать судоходству. Также под влиянием интенсивных подвижек и торошения льда происходит образование большого количества стамух (торосистых образований, сидящих на грунте) [4]. В январе суровых и умеренных зим преобладающая торосистость на трассах Северного Каспия составляет 1–2 балла, в феврале – 2–3 балла [7].

Опасность для морских операций представляет также появление льда или припая в ранние сроки в мелководных районах Северного Каспия. Когда самостоятельное движение грузовых судов становится небезопасным, из них формируются караваны для проводки за ледоколами. Скорость движения каравана зависит от толщины, сплоченности, торосистости льда и других факторов.

Основные судоходные трассы Каспийского моря представлены на рис. 1.

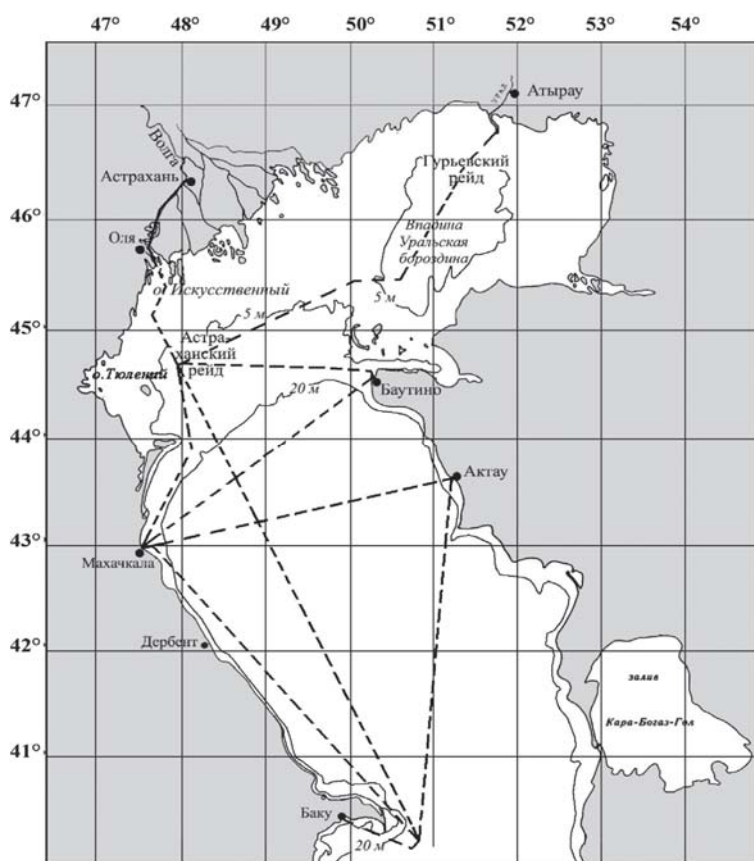


Рис. 1. Основные судоходные трассы (пунктир) в Северном и Среднем Каспии [9].

Fig.1. The main shipping routes (dotted line) in the Northern and Middle Caspian Sea [9].

В данной работе основное внимание будет уделено трассам: порт Оля – Астраханский рейд – Махачкала (протяженность около 170 морских миль), Астраханский рейд – Баутино (90 миль), Астраханский рейд – Гурьевский рейд – Атырау (около 200 миль). Глубина моря на данных трассах не превышает 20 м. Трассы Астраханский рейд – Баутино и Астраханский рейд – Атырау проходят над глубинами от 2 до 10 метров.

Некоторая информация о ледовых условиях на этих трассах приведена в монографии [5]. Так, трасса Астраханский рейд – Гурьевский рейд – Атырау в суровые зимы бывает полностью покрыта припаем, в мягкие зимы припай занимает одну треть трассы. Трасса Астраханский рейд – Баутино в суровые зимы в феврале также покрыта припаем, разрушение которого происходит под действием восточных и юго-восточных ветров, при этом усиливается дрейф льда. На трассе Астраханский рейд – Махачкала в умеренные зимы в январе-феврале помимо местного льда появляется лед, дрейфующий с севера и достигающий устья реки Сулак [7]. В аномально холодную зиму 2011–2012 гг. под действием сильного северо-западного ветра дрейфующий лед распространился вдоль западного побережья до Апшеронского полуострова [1].

Наиболее сложные ледовые условия в Каспийском море для судов складываются на участке трассы Астраханский рейд – Гурьевский рейд – Атырау. Особое внимание необходимо уделять освещению обстановки в районе Гурьевского рейда, так как именно в этой части Северного Каспия наблюдаются динамические подвижки льда, торошение, наслоение, сжатие, что приводит к образованию крупных стамух, гряд торосов, представляющих большую опасность не только для судов, но и для гидротехнических сооружений.

Для некоторых из этих трасс в [7] были получены оценки сплоченности дрейфующего льда в месяцы с декабря по март для разных типов зим (суровая, умеренная, мягкая). Показано, что сплоченность увеличивается при ветрах южной четверти, когда происходит перемещение дрейфующего льда от прикромочной зоны к границе припая.

Важной частью трассы от порта Оля до Астраханского рейда является Волго-Каспийский морской судоходный канал (ВКМСК). Протяженность морской части канала 102 км, максимальная ширина 100 м, глубина 4,5 м [5]. В районе ВКМСК преобладают ветры восточных и юго-восточных направлений. В зимний период они способствуют поступлению в зону канала дрейфующего льда, который, уплотняясь и смерзаясь, становится препятствием для прохода судов.

В суровую зиму толщина припая в канале может достигать 35–45 см, сплоченность дрейфующего льда 7–9 баллов. В умеренную зиму толщина припая составляет 20–30 см при сплоченности дрейфующего льда 9–10 баллов, в мягкую зиму соответственно 5–10 см и 5–7 баллов. Продолжительность ледового периода в ВКМСК составляет около 50 суток в мягкие зимы и до 100 суток в суровые [9].

Характеристики ледяного покрова на судоходных трассах Северного Каспия

Характеристики ледяного покрова на трассах будем рассматривать для трех зимних сезонов: холодного и длительного 2011/2012 гг., теплого и короткого 2015/2016 гг. и умеренного 2022/2023 гг. Их длительность (наличие льда на поверхности моря) в сезон 2011/2012 гг. составила 146 дней, 2015/2016 гг. – 86, 2022/2023 гг. – 88 дней.

Максимальная толщина льда зимой 2011/2012 гг. была 50 см, зимой 2015/2016 гг. – 20 см, зимой 2022/2023 гг. – 42 см. Площадь ледяного покрова в сезон 2011/2012 гг. составила 90 000 км², 2015/2016 гг. – 46 600 км² [13].

По методике оценки площади ледяного покрова, применяемой в ФГБУ «Гидрометцентр России», площадь ледяного покрова выражается в процентах от всей площади рассматриваемой акватории. За площадь Северного Каспия принята акватория, лежащая севернее линии о. Чечень – северо-западная часть полуострова Мангышлак [9]. Согласно этой методике, максимальные значения площади ледяного покрова составили зимой 2011/2012 гг. 98 %, зимой 2015/2016 гг. – 86 %, зимой 2022/2023 гг. – 92 %.

Коротко опишем основные особенности эволюции ледяного покрова Северного Каспия в эти сезоны. Если в 2011/2012 гг. формирование ледяного покрова началось уже в третьей декаде ноября, то в 2015/2016 гг. начальные формы льда появились только во второй декаде декабря. К концу января 2012 г. почти вся акватория Северного Каспия была покрыта льдом (рис. 2а), толщина припая в северо-восточной части достигала 35 см, в 2016 г. – 20 см.

Если в феврале 2012 г. ледяной покров Северного Каспия продолжал оставаться устойчивым, то в феврале 2016 г. началось его разрушение (рис. 2б) и к середине марта лед исчез. В 2012 г. это произошло на месяц позже.

Ледообразование в 2022 г. началось в третьей декаде ноября и было очень активным в декабре. Ледовитость Северного Каспия к концу первой декады декабря составила 73 %, а в середине февраля достигла 92 % (рис. 2в). На момент максимального развития ледяного покрова преобладал тонкий однолетний и серо-белый дрейфующий лед. В дельте Волги и к востоку от дельты у побережья наблюдался обширный припай толщиной в районе Лагани – 26 см, Жамбая – 38 см, о. Пешной – 40–42 см. В третьей декаде февраля лед начал разрушаться и таять, ледовитость сократилась до 75 %, во второй декаде марта до 21 %. К концу марта на северо-востоке сохранялись отдельные стамухи, к началу апреля акватория моря полностью очистилась ото льда.

Таким образом, ледовые условия зимы 2011/2012 гг. на Северном Каспии были тяжелее ледовых условий зим 2015/2016 и 2022/2023 гг. как по ледовитости, так и по толщине льда (рис. 2).

Анализ толщины и сплоченности ледяного покрова в Северном Каспии

Наибольший интерес для судоходства представляют такие характеристики ледяного покрова, как толщина и сплоченность. В данной работе толщина льда H рассчитывалась на основе архива ледовых карт по формуле:

$$H = \frac{(s_1 * h_1 + s_2 * h_2 + s_3 * h_3)}{10},$$

где s_1, s_2, s_3 – частные сплоченности дрейфующего льда в исследуемой ледовой зоне; h_1, h_2, h_3 – толщины дрейфующего льда соответствующей сплоченности. На рис. 3 представлена толщина льда в Северном Каспии в зимы 2011/2012, 2015/2016 и 2022/2023 гг.

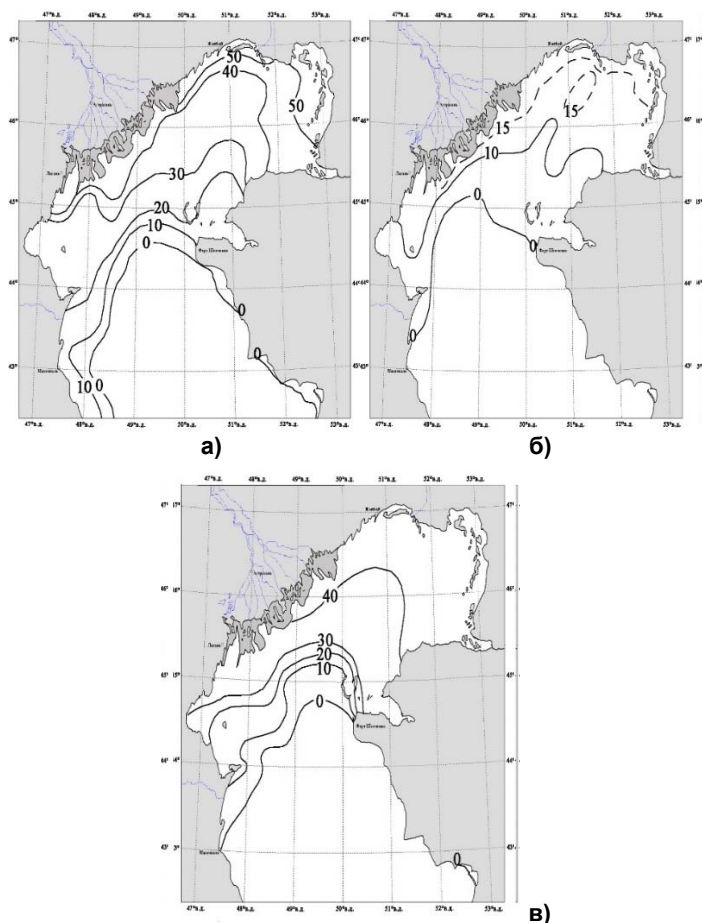


Рис. 3. Толщина льда в северной части Каспийского моря в период максимального развития ледяного покрова зимой 2011/2012 г. (а); 2015/2016 г. (б); 2022/2023 г. (в).

Fig. 3. Ice thickness in the northern part of the Caspian Sea during the period of maximum ice cover development in winter 2011/2012 (a); 2015/2016 (b); 2022/2023 (c).

Как следует из рис. 3, наиболее тяжелыми ледовые условия на всех трассах были зимой 2011/2012 гг. На трассе порт Оля – Махачкала область со льдом толщиной 30 см и больше наблюдалась от порта Оля до Астраханского рейда, включая район ВКМСК, южнее до подходов к Махачкале преобладал дрейфующий лед толщиной от 10 до 27 см. По трассе Астраханский рейд – Баутино в районе Астраханского рейда его толщина была 20–27 см, на подходах к Баутино 10–15 см. Наиболее тяжелыми условия были на трассе Астраханский рейд – Атырау, где на подходах к Атырау толщина доходила до 45–50 см.

В сезон 2015/2016 гг. льда на подходах к Махачкале не было; севернее, включая акваторию ВКМСК, толщина льда не превышала 10–15 см. По трассе Астраханский рейд – Баутино толщина льда не превышала 5 см, на подходах к Баутино льда не было. На большей части трассы Астраханский рейд – Атырау толщина льда была 10–15 см.

В сезон 2022/2023 гг. в северной части трассы порт Оля – Махачкала толщина льда достигала 30 см, в районе Астраханского рейда 7–12 см, в южной части трассы не превышала 7 см. По трассе Астраханский рейд – Баутино в области к востоку от Астраханского рейда до подходов к Баутино лед отсутствовал, на подходах к Баутино толщина льда составляла 4–6 см. На трассе Астраханский рейд – Атырау толщина льда составляла от 10 до 25 см в западной части трассы и более 30 см в области к юго-западу от Атырау.

Помимо толщины льда, важное значение для судоходства имеет сплоченность дрейфующего льда, которая на трассах в начале и в конце ледового сезона меняется достаточно быстро от 0 до 10 баллов. Увеличение сплоченности льда на 1 балл приводит к уменьшению скорости судна на 0,5 узла, а при сплоченности более 5 баллов — на 1 узел [6].

На рис. 4 представлена сплоченность дрейфующего льда толщиной 10 см и более в зимы 2011/2012, 2015/2016 и 2022/2023 гг. на момент максимального развития ледяного покрова.

Из анализа рис. 4 следует, что в зимы, близкие умеренным, области очень сплоченного льда толщиной 10 см и более имеют хорошо очерченные границы. Так, в 2011/2012 гг. область с толщиной более 10 см распространялась в западной части моря до Дербента. Зимой 2015/2016 гг. на большей части трасс сплоченность льда толщиной 10 см и более не превышала 8 баллов, за исключением северной части трассы Астраханский рейд – Атырау, где она составляла 10 баллов, но там помимо дрейфующего льда наблюдался и припай.

Зимой 2022/2023 гг. на трассе порт Оля – Махачкала до Астраханского полуострова и острова Чечень преобладал очень сплоченный дрейфующий лед. В районе Астраханского рейда сплоченность льда толщиной до 10 см не превышала 6 баллов, однако южнее возрастала от 8 до 10 баллов. При этом области с пониженной сплоченностью распространялись на северо-восток уже до параллели 46° с. ш.

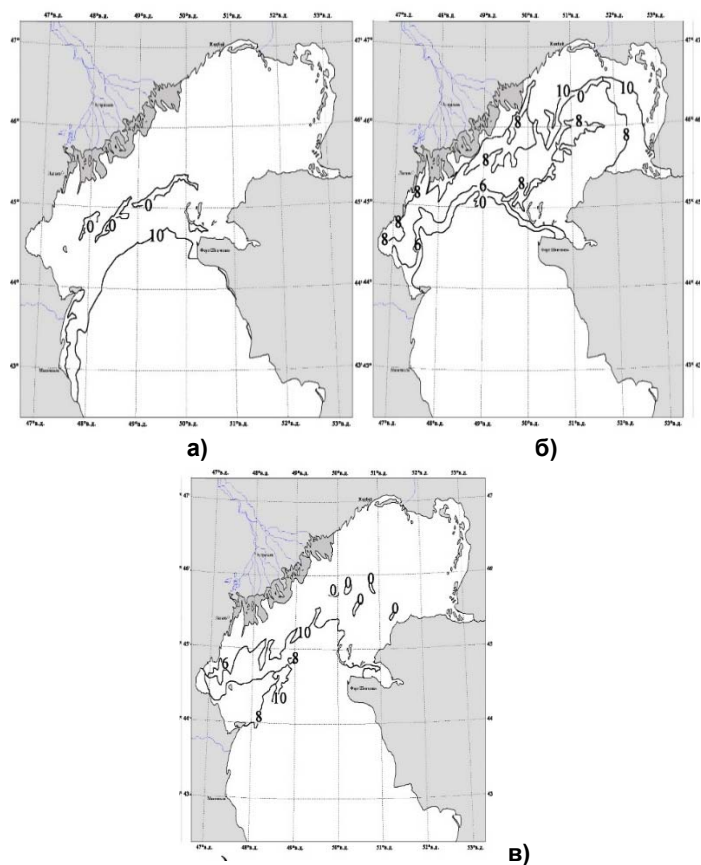


Рис. 4. Сплоченность льда толщиной 10 см и более в северной части Каспийского моря зимой 2011/2012 (а), 2015/2016 (б), 2022/2023 гг. (в).

Fig. 4. The concentration of ice with a thickness of 10 cm or more in the northern part of the Caspian Sea in the winter of 2011/2012 (а), 2015/2016 (б), 2022/2023 (в).

Таким образом, степень суровости зимы влияет не только на толщину льда, но и на его сплоченность, а значит и на стабильность ледяного покрова, особенно на самой протяженной трассе Астраханский рейд – Атырау, где в мягкие зимы сплоченность льда в 9–10 баллов может соседствовать с крупными зонами редкого и разреженного дрейфующего льда.

Суда испытывают серьезное затруднение при движении в припае, который в зимний период занимает большие площади в акватории Северного Каспия, особенно в умеренные и суровые зимы. Так, например, в зиму 2022/2023 гг., которая относится к умеренной, площадь припая в период максимального развития ледяного покрова составила 40 % от всей акватории Северного Каспия. На спутниковом изображении космического

аппарата «Метеор-М» №2-2 отчетливо прослеживается граница дрейфующего льда и припая, который сформировался обширной зоной вдоль побережья от Кизлярского залива до полуострова Бузачи (рис. 5).

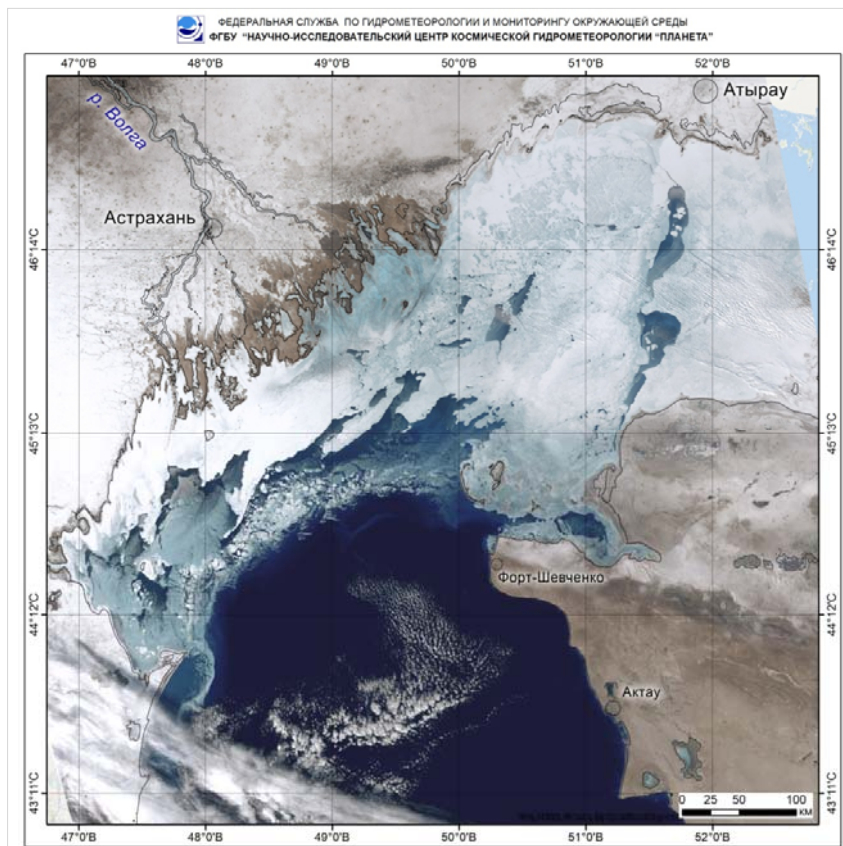


Рис. 5. Спутниковое изображение ледовой обстановки северной части Каспийского моря. ИСЗ «Метеор-М» №2-2 10 февраля 2023 г.

Fig. 5. Satellite image of the ice situation in the northern part of the Caspian Sea. Meteor-M ISS No. 2-2 February 10, 2023.

Как видно из рис. 5, на большей части трассы порт Оля – Астраханский рейд наблюдается зона обширного припая возраста от серо-белого до тонкого однолетнего льда. В то же время в западной части трассы Астраханский рейд – Баутино наблюдается зона молодого (серого, серо-белого) дрейфующего льда, в том числе дрейфующего с севера. Остальная часть трассы, как правило, даже в умеренные зимы остается свободной ото льда, за исключением подходов к Баутино, где в умеренные зимы образуется нилас и серый лед толщиной до 10 см.

На трассе Астраханский рейд – Махачкала до острова Чечень наблюдается дрейфующий молодой лед сплоченностью 8–10 баллов. Вдоль Аграханского полуострова – чистая вода, но мористее наблюдается выносимый с северо-запада ниласовый и серый дрейфующий лед, который при смене направления ветра может быть поджат к побережью Аграханского полуострова, что создаст определенные трудности для судов. Наиболее сложная ледовая обстановка складывалась на трассе Астраханский рейд – Гурьевский рейд. Особенно стоит отметить участок трассы севернее 42° с. ш., где наблюдалась обширная зона восторошенного тонкого однолетнего дрейфующего льда сплоченностью до 9–10 баллов

Также необходимо отметить, что в связи с падением уровня Каспия и уменьшением глубин в мелководной северной части моря возрастет интенсивность процессов торошения льда. Особую угрозу будут представлять сплоченные льды, выносимые ветром и течениями в среднюю часть моря и дрейфующие вдоль берегов на юг [11].

Характеристики стамух на основе спутниковой информации

Эффективным источником информации о ледовой обстановке и опасных ледяных образованиях (стамухи, торосы и др.) являются спутниковые данные [1–3, 9, 10, 12, 13]. Снимки высокого (2–50 м) пространственного разрешения позволяют определять не только местоположение (координаты) стамух, но и оценивать их геометрические размеры. Стамухи на таких изображениях выделяются среди полей дрейфующего льда своей округлой формой с «обточенными» границами и четко выраженными неоднородностями в виде нагромождений льда (парус стамух, торосы), а также тенью от них.

Дешифрирование стамух, находящихся в окружении полей дрейфующего льда, осуществляется на спутниковых снимках по следующим признакам:

- постоянное географическое положение ледяного образования относительно находящегося в движении дрейфующего льда;
- наличие вытянутого по направлению дрейфа водного пространства, образующегося на подветренной стороне стамухи. В некоторых литературных источниках находящееся за стамухой водное пространство называют «водяной тенью»;
- большое количество мелкобитого льда перед стамухой среди больших ледяных полей дрейфующего льда.

Характерной особенностью в период таяния дрейфующего льда в северной части Каспийского моря является то, что даже после очищения акватории большое количество стамух продолжает существовать довольно продолжительный период.

По результатам спутникового мониторинга во время очищения Северного Каспия в период с 10 по 26 марта 2023 г. было обнаружено более

600 стамух, в том числе в непосредственной близости от трассы Астраханский рейд – Гурьевский рейд (рис. 6). Размеры этих стамух составляли от 80 до 1180 м, длина самой большой стамухи с собственным припаем – 2689 метров.

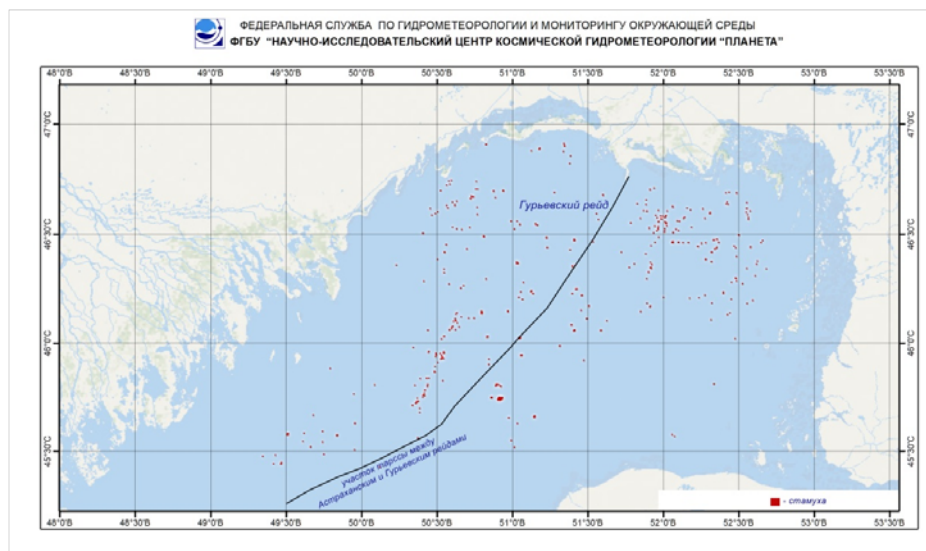


Рис. 6. Местоположение стамух в северной части Каспийского моря, обнаруженных по спутниковым данным в период с 10 по 26 марта 2023 г.

Fig. 6. The location of the stamukhas in the northern part of the Caspian Sea, detected by satellite data in the period from March 10 to March 26, 2023.

Заключение

Из анализа ледовых условий на судоходных трассах в зимние сезоны 2011/2012, 2015/2016 и 2022/2023 гг. следует, что сезон 2011/2012 гг. был самой тяжелой. Наиболее трудные ледовые условия во все сезоны наблюдаются на трассе Астраханский рейд – Атырау, а наиболее легкие – на самой короткой трассе Астраханский рейд – Баутино. Наиболее изменчивые ледовые условия характерны для трассы порт Оля – Махачкала, где в отдельные зимы южнее Астраханского рейда может наблюдаться чистая вода, а на подходах к Махачкале – сплоченный дрейфующий лед. На большей части трасс наблюдаются локальные зоны достаточно резких изменений толщины и сплоченности льда: это район Астраханского рейда и район к северо-западу от Тюленьих островов на подходах к наиболее глубокой части Северного Каспия – Уральской бороздине.

Опасными для судоходства являются такие ледяные образования, как стамухи. Даже после очищения акватории Северного Каспия ото льда

большое количество стамух продолжает существовать довольно продолжительный период. Например, в период 10–26 марта 2023 г. было обнаружено более 600 стамух, в том числе в непосредственной близости от судоходной трассы Астраханский рейд – Гурьевский рейд.

Список литературы

1. Антонюк А.Ю. Особенности океанологических процессов в Каспийском море, выявленные с помощью дистанционного зондирования // Труды ГОИН. 2014. Вып. 215. С. 302-318.

2. Асмус В.В., Василенко Е.В., Затягалова В.В., Иванова Н.П., Кровотынцев В.А., Максимов А.А., Тренина И.С. Космический мониторинг ледяного покрова и состояния водной среды Каспийского моря // Метеорология и гидрология. 2018. № 10. С. 81-95.

3. Асмус В.В., Волгутов Р.В., Дерюгина В.В., Кровотынцев В.А., Максимов А.А., Милехин О.Е., Тренина И.С. Использование космических средств и технологий для решения гидрометеорологических задач в Арктике // Метеорология и гидрология. 2019. № 4. С. 54-69.

4. Бухарицин П.И. Особенности процессов торошения ледяного покрова северной части Каспийского моря // Водные ресурсы. 1984. № 6. С. 15-123.

5. Бухарицин П.И., Болдырев Б.Ю., Новиков В.И. Система гидрометеобеспечения безопасности мореплавания на Каспии // Комплекс мероприятий по гидрометеорологическому обеспечению безопасности мореплавания и работы портов. Werlag: Palmarium Academic Publising, 2015. 318 с.

6. Валлер Ф.И. Некоторые черты ледового режима северной части Каспийского моря // Сб. работ Астраханской ГМО. 1970. № 1. С. 112-131.

7. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том VI. Каспийское море. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 359 с.

8. Глушков С.В. Планирование ледокольных проводок судов в Волго-Каспийском бассейне // Научные проблемы водного транспорта. 2018. № 56. С. 112-119.

9. Думанская И.О. Ледовые условия морей Европейской части России. М.; Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2014. 608 с.

10. Максимов А.А., Тренина И.С. Мониторинг ледяного покрова Каспийского моря по спутниковой информации // Комплексные исследования Мирового океана. 2017. С. 162-163.

11. Новиков В.И., Бухарицин П.И. Влияние гидрометеорологических факторов на работу портовых комплексов Астраханской области // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2009. № 2. С. 73-81.

12. Фролов А.В., Асмус В.В., Землянов И.В., Зильберштейн О.И. и др. Комплексные исследования гидрометеорологической и ледовой обстановки в северо-западной части шельфа Каспийского моря на основе данных спутниковых и экспедиционных наблюдений и модельных расчетов // Метеорология и гидрология. 2009. № 3. С. 20-34.

13. Lavrova O.Y., Kostianoy A.G., Mityagina M.I., Strockhov A.Y. et al. Remote sensing of sea ice in the Caspian Sea // Proc. SPIE 11150, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions, 2019. DOI: 10.1117/12.2532136.

References

1. Antonyuk A.Yu. Osobennosti okeanologicheskikh processov v Kaspijskom more, vyyavlennye s pomoshch'yu distancionnogo zondirovaniya. *Trudy GOIN*, 2014, vol. 215, pp. 302-318 [in Russ.].
2. Asmus V.V., Vasilenko E.V., Zatyagalova V.V., Ivanova N.P., Krovotyntsev V.A., Maksimov A.A., Trenina I.S. Satellite Monitoring of Sea Ice Cover and Water Parameters for the Caspian Sea. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2018, vol. 43, no. 10, pp. 686-696. DOI: 10.3103/S1068373918100084.
3. Asmus, V.V., Volgutov, R.V., Deryugina, V.V., Krovotyntsev V.A., Maksimov A.A., Milekhin O.E., Trenina I.S. Satellite Technologies Applied to Hydrometeorological Problems in the Arctic Region. *Russ. Meteorol. Hydrol.* 2019, vol. 44, no. 4, pp. 250-261. DOI: 10.3103/S1068373919040046.
4. Buharicin P.I. Osobennosti processov torosheniya ledyanogo pokrova severnoj chasti Kaspijskogo moray. *Vodnye resursy [Water Resources]*, 1984, no. 6, pp. 15-123 [in Russ.].
5. Buharicin P.I., Boldyrev B.Yu., Novikov V.I. Sistema gidrometobespecheniya bezopasnosti moreplavaniya na Kaspii. Kompleks meropriyatij po gidrometeorologicheskomu obespecheniyu bezopasnosti moreplavaniya i raboty portov. Werlag, Palmarium Academic Publ., 2015, 318 p. [in Russ.].
6. Valler F.I. Nekotorye cherty ledovogo rezhima severnoj chasti Kaspijskogo moray. *Sb. rabot Astrahanskoy GMO*, 1970, no. 1, pp. 112-131 [in Russ.].
7. Gidrometeorologiya i gidrohimiya morej. Tom VI. Kaspijskoe more. Saint Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 1992, 359 p. [in Russ.].
8. Glushkov S.V. Planning icebreaker shipments in the Volga-Caspian basin. *Nauchnye problemy vodnogo transporta [Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport]*, 2018, no. 56, pp. 112-119 [in Russ.].
9. Dumanskaya I.O. Ledovye usloviya morej Evropejskoj chasti Rossii. Moscow; Obninsk, IG-SOCIN Publ., 2014, 608 p. [in Russ.].
10. Maksimov A.A., Trenina I.S. Monitoring ledyanogo pokrova Kaspijskogo morya po sputnikovoj informacii. *Kompleksnye issledovaniya Mirovogo okeana*, 2017, pp. 162-163 [in Russ.].
11. Novikov V.I., Bukharitsin P.I. Influence of Hydro-Meteorological factors on the work of port complexes of the Astrakhan region. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya [Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies]*, 2009, no.2, pp. 73-81 [in Russ.].
12. Frolov A.V., Asmus V.V., Zemlyanov I.V., Zil'bershtein O.I., Krovotyntsev V.A., Martyshchenko V.A., Mironov E.A. Complex studies of hydrometeorological and ice conditions on the northwestern shelf of the Caspian Sea based on satellite and expedition observational data and model calculations. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2009, vol. 34, pp. 148-158. DOI: 10.3103/S1068373909030029.
13. Lavrova O.Y., Kostianoy A.G., Mityagina M.I., Strockov A.Y. et al. Remote sensing of sea ice in the Caspian Sea. *Proc. SPIE 11150, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions*, 2019. DOI: 10.1117/12.2532136.

Поступила 17.11.2023; одобрена после рецензирования 23.11.2023;
принята в печать 12.12.2023.

Submitted 17.11.2023; approved after reviewing 23.11.2023;
accepted for publication 12.12.2023.