

УДК 551.326.1/2(268.53/56)

ПОВТОРЯЕМОСТЬ РАННИХ СРОКОВ ЛЕДООБРАЗОВАНИЯ В ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ

М. В. Шаратунова, В. В. Иванов, А. В. Юлин

*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
ул. Беринга, 38, 199397, г. Санкт-Петербург, Россия, mvsh@aari.ru*

Ранние сроки замерзания арктических морей оказывают неблагоприятное влияние на проведение морских операций в летне-осенний период навигации. В работе представлены результаты анализа изменчивости и повторяемости ранних сроков начала ледообразования для основных участков трасс плавания в Восточно-Сибирском море за период с 1941-2023 гг. В результате исследования были получены рекомендуемые Всемирной метеорологической организацией (ВМО) нормы за период 1991-2020 гг. Анализ новых климатических норм показал устойчивую тенденцию к потеплению, что хорошо согласуется с современным состоянием климата в арктическом регионе.

Ключевые слова: опасные ледовые явления; неблагоприятные ледовые условия; климатические нормы; сроки ледообразования; полярные станции; Арктика.

REPEATABILITY OF EARLY ICE FORMATION IN EAST SIBERIAN SEA

M. V. Sharatunova, V. V. Ivanov, A. V. Yulin

*Arctic and Antarctic Research Institute, Bering st., 38, 199397,
Saint Petersburg, Russia, mvsh@aari.ru*

Early freezing of the Arctic seas has an adverse effect on the conduct of maritime operations during the summer-autumn navigation period. The paper presents the results of an analysis of the variability and frequency of early dates of the onset of ice formation for the main sections of navigation routes in the East Siberian Sea for the period from 1941-2023. As a result of the study, standards recommended by the World Meteorological Organization (WMO) for the period 1991-2020 were obtained. Analysis of new climate norms showed a stable warming trend, which is in good agreement with the current state of the climate in the Arctic region.

Keywords: dangerous ice phenomena; unfavorable ice conditions; climate norms; terms of ice formation; polar stations; Arctic.

Влияние раннего замерзания на проведение морских операций в арктических морях определяет необходимость изучения, мониторинга, анализа и прогнозирования этого важного природного явления. Начало процессов ледообразования в море можно рассматривать как важную

составную часть годового цикла существования ледяного покрова. При анализе режима замерзания в мелководных районах Восточно-Сибирского моря определяющими факторами являются приземная температура воздуха, остаточная ледовитость и адвекция тепла морскими течениями [1].

В работе рассматриваются ранние сроки начала ледообразования, как опасные и неблагоприятные ледовые условия для судоходства в Восточно-Сибирском море.

При планирования и обеспечении безопасности проведения морских операций на Северном морском пути (СМП) прогнозируются сроки начала устойчивого ледообразования и достижения молодым льдом толщин 20-25 см для основных участков трасс плавания, привязанных к полярным станциям, на которых ведутся ледовые наблюдения, согласно Положению, разработанному в ААНИИ [2].

Участки трассы в Восточно-Сибирском море:

- пролив Санникова (п/ст Санникова);
- пролив Санникова — о. Четырехстолбовой;
- о. Четырехстолбовой — мыс Шелагский (п/ст Валькаркай);
- мыс Шелагский — мыс Биллингса (п/ст Биллингса).

В качестве исходных данных использовались фактические данные о ледовых условиях в Восточно-Сибирском море по донесениям полярных станций, детализированных и региональных ледовых карт, составляемых в Центре «Север» ГНЦ ААНИИ за период 1946-2023 гг.

За стандартный период («нормы») для оценивания климатических переменных, характеризующих текущий или современный климат, по рекомендации Всемирной Метеорологической Организации (ВМО) принимается период в 30 лет (1991-2020 гг.).

Для расчета ранних сроков устойчивого ледообразования применялся метод типизации исходного ряда по критерию аномалии средней даты ледообразования по акватории всего моря относительно среднелетней нормы в долях среднего квадратичного отклонения (СКО) [3].

Для анализа повторяемости ранних сроков начала ледообразования использовался критерий $0,2A$ (где A – размах многолетних колебаний), соответствующий $1,2\sigma$ (где σ – стандартное отклонение) [4].

В работе были проанализированы ряды данных по станциям с начала наблюдений до 2023 г. — «длинные ряды» и «короткие» — стандартный период, норма за 1991-2020 гг. Из полученных результатов, в табл. 1, видно, что на всех станциях отмечается общий сдвиг ранних сроков ледообразования в среднем на 6-14 дней в сторону более поздних. Наибольшие изменения наблюдаются в восточной части Восточно-Сибирского моря, где разброс сроков появления льда колеблется от 1,5 до 2 декад.

Таблица 1

**Многолетние данные о ранних появлениях льда на полярных станциях в
Восточно-Сибирском море**

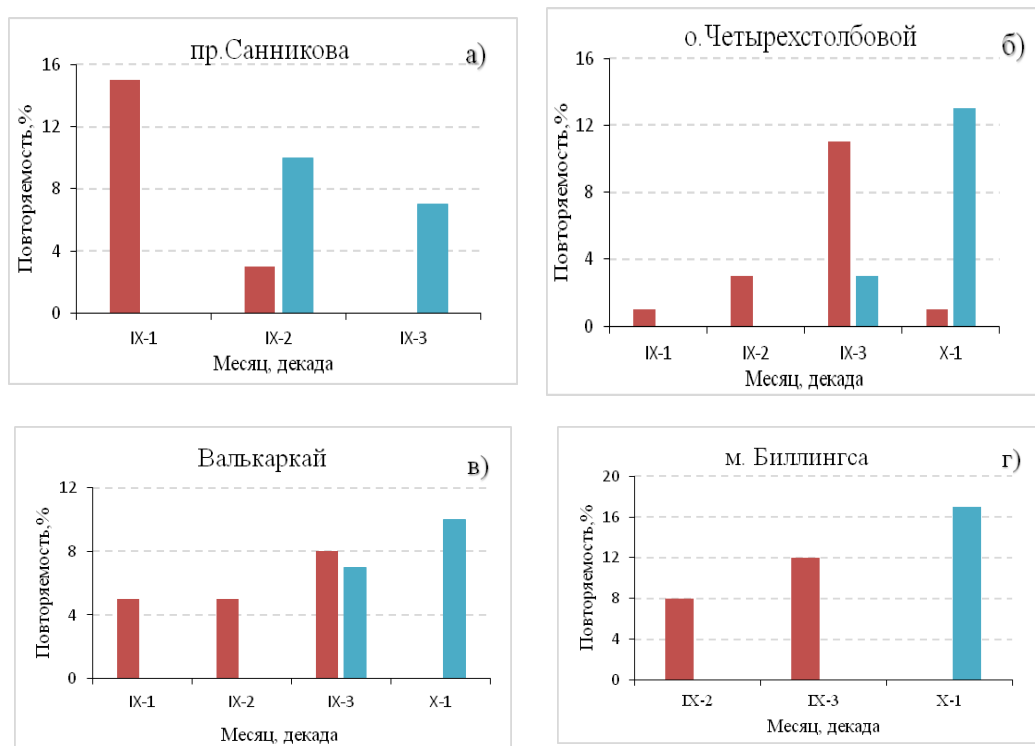
Полярная станция	Год начала наблюдений/ до 2023 г. (количество лет)	Ранняя дата появления льда (весь ряд)	Ранняя дата появления льда (1991-2020 гг.)	Разность, дни
п/ст Санникова	1949 (75 лет)	01-18.09 (15.09)	15-24.09 (21.09)	6 дней
о. Четырехстолбовой	1953 (71 год)	01-26.09 (24.09)	30.09-05.10 (03.10)	9 дней
п/ст Валькаркай	1941 (83 года)	08-27.09 (21.09)	21.09-05.10 (01.10)	10 дней
п/ст Биллингса	1949 (75 лет)	12-26.09 (22.09)	04-08.10 (06.10)	14 дней

Для оценки изменения ледовых условий были выполнены расчеты повторяемости ранних сроков ледообразования на полярных станциях.

В настоящем исследовании установлено, что на всех станциях Восточно-Сибирского моря повторяемость ранних сроков ледообразования не превышает 20 %. Показано смещение ранних сроков появления льда на одну-две декады в сторону более поздних дат.

Полные ряды наблюдений на станциях включают периоды похолодания 1960-80-х и потепления 1990-2000-х годов. Наибольшая повторяемость ранних сроков ледообразования на всех станциях приходится на третью декаду сентября, около 10 %, кроме станции пр. Санникова. Для нее максимальная повторяемость составила 15 % в первой декаде сентября. На м. Биллингса даты начала появления льда смещены ко второй декаде сентября.

На рисунке представлены гистограммы распределения ранних сроков ледообразования на полярных станциях.



Гистограмма распределения ранних сроков ледообразования на полярных станциях:
а – пр. Санникова, *б* – о. Четырехстолбовой, *в* – Валькаркай, *г* – м. Биллингса.
 Красный цвет – полный ряд наблюдений, синий – короткий (норма 1991-2020 гг.).

Современный «стандартный» период 1991-2020 гг. отражает устойчивую тенденцию к потеплению. Наибольшая повторяемость сроков устойчивого замерзания наблюдается в первой декаде октября в среднем 13%. Исключение представляет пр. Санникова, сроки ледообразования на станции сдвинуты на две декады в более раннюю сторону – вторую декаду сентября. Смещение сроков на станциях связано с особенностями географического положения и режимными характеристиками станций.

Раннее ледообразование повторяемостью не чаще одного раза в 10 лет можно отнести к опасному ледовому явлению (ОЛЯ), приводящему к аварийным ситуациям для судов, не имеющих ледового класса. Особенно это касается судов типа «река-море», работающих в прибрежных районах [1,5].

В работе проведены расчеты ОЛЯ для полярных станций Восточно-Сибирского моря для длинного и короткого рядов. Из полученных расчетов видно, что для длинных рядов на станциях пр. Санникова, о. Четырехстолбовой, Валькаркай опасные ледовые явления наблюдались дважды. На станции м. Биллингса было выделено четыре года. В современном 30-летнем периоде 1991-2020 гг. раннее ледообразование, согласно принятому критерию, не наблюдалось, были выделены годы с ранним ледообразованием (табл. 2).

В рамках работы получены данные о повторяемости ранних сроков ледообразования за «стандартный» 30-летний период, характеризующие современное состояние климата Восточно-Сибирского моря. Анализ результатов подтверждает смещение сроков устойчивого ледообразования на одну-две декады в более позднюю сторону, при этом раннее замерзание является процессом менее продолжительным. При долгосрочном и сверх-долгосрочном прогнозировании важно учитывать многолетние данные о ранних появлениях льда в Восточно-Сибирском море.

Таблица 2

Многолетние данные о ранних появлениях льда на полярных станциях в Восточно-Сибирском море

Полярная станция	Ряд наблюдений, количество лет	Опасное ледовое явление (весь ряд)	Годы с ранним появлением льда для периода 1991-2020 гг.
п/ст Санникова	1949-2023	1963, 1975	1992-1993, 1996-1997, 2001
о. Четырехстолбовой	1953-2023	1986, 1998	1997-1999, 2001-2002
п/ст Валькаркай	1941-2023	1965, 1976	1993-1994, 1996, 1998, 2001
п/ст Биллингса	1949-2023	1965, 1975, 1987, 2021	1994, 1998-1999, 2004, 2012

Библиографические ссылки

1. Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике. Ред. Миронов Е. У. СПб: Изд-во ААНИИ, 2010. 320 с.
2. Положение об обеспечении организаций, находящихся в ведении Федерального агентства морского и речного транспорта, долгосрочными ледовыми прогнозами по арктическим морям и устьевым областям сибирских рек. Ред. Миронов Е. У. и др. СПб: Изд-во ААНИИ, 2009. 10 с.
3. Егоров А. Г., Павлова Е. А. Изменение сроков устойчивого ледообразования в восточных арктических морях России в начале XXI в. Проблемы Арктики и Антарктики. 2019;65(4):389-404. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2019-65-4-389-404>.
4. Моря Российской Арктики в современных климатических условиях. СПб.: ААНИИ, 2021. 360 с.
5. Миронов Е. У., Клячкин С. В., Макаров Е. И., Юлин А. В., Афанасьева Е. В. Особенности ледовых процессов в осенний период 2021 г. в морях Российской Арктики и оценка оправдываемости ледовых прогнозов// Российская Арктика. 2021. № 15. С. 40-53. DOI:10.24412/2658-4255-2021-4-40-53.