

В.А. Романюк¹, В.М. Пищальник², И.В. Шумилов³, И.В. Никулина⁴

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТАТАРСКОГО ПРОЛИВА (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены особенности отдельных элементов ледового режима юго-восточной части Татарского пролива за период стандартной климатической нормы 1991–2020 гг. Выполнен анализ межсезонной и внутрисезонной изменчивости ледовитости, определены даты основных ледовых фаз. На основе данных спутниковых наблюдений и геоинформационных технологий выполнен анализ и построена карта пространственного распределения продолжительности ледового периода в юго-восточной части Татарского пролива. Установлено, что ее северная подзона имеет более суровые ледовые условия, которые обусловлены географическим положением и особенностями ледового режима Татарского пролива. Отмечено, что северная подзона в отдельные годы может покрываться льдом на 100 %, в то время как максимальная ледовитость южной подзоны не превышает 24 %. Вместе с тем, в среднем за период стандартной климатической нормы 1991–2020 гг. стадия максимального развития ледовых процессов в северной подзоне длится около 23 суток — с 10 февраля по 5 марта, а на кривой внутрисезонной изменчивости отчетливо выделяются 2 сезонных максимума ледовитости — 10 февраля и 5 марта. Абсолютные значения внутрисезонной изменчивости ледовитости южной подзоны в разы ниже, чем в северной: фаза интенсивного развития здесь длится с 15 по 28 февраля, фаза разрушения с начала марта по середину марта. В среднем за исследуемый период наибольшее количество дней со льдом (55–60 сут.) наблюдается на участке побережья от с. Красногорск до с. Ильинское, продолжительность периода со льдом от 20 до 35 суток характерна для отрезка побережья от мыса Старомаячный до мыса Яблоновый.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ледовитость, ГИС, климатические нормы, Татарский пролив, Японское море

¹ ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет», ул. Ленина, д. 290, Южно-Сахалинск, Россия, 693000,

e-mail: varomanyuk2020@gmail.com

² ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет», ул. Ленина, д. 290, Южно-Сахалинск, Россия, 693000,

e-mail: vpishchalnik@rambler.ru

ФГБУН «ИМГИГиГ ДВО РАН», ул. Науки, д. 1Б, Южно-Сахалинск, Россия, 693000,

e-mail: vpishchalnik@rambler.ru

³ ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет», ул. Ленина, д. 290, Южно-Сахалинск, Россия, 693000,

e-mail: ilyarolevik1@yandex.ru

⁴ ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет», ул. Ленина, д. 290, Южно-Сахалинск, Россия, 693000,

e-mail: irinkaeremenko@yandex.ru

Valery A. Romanyuk¹, Vladimir M. Pishchal'nik², Ilya V. Shumilov³, Irina V. Nikulina⁴

ANALYSIS OF THE PECULIARITIES OF THE ICE REGIME IN THE SOUTHEASTERN PART OF THE TATAR STRAIT (SEA OF JAPAN)

ABSTRACT

The article considers the features of the ice regime of the southeastern part of the Tatar Strait during the period of the standard climatic norm 1991–2020. The analysis of inter-seasonal and intra-seasonal variability of ice cover was carried out, the dates of the main ice phases were determined. Based on satellite observations and the developed software package, the analysis was performed and maps of the spatial distribution of the ice period in the southeastern part of the Tatar Strait were constructed. It is established that the northern subzone of the southeastern part of the Tatar Strait has more severe ice conditions, which are due to its geographical location and the peculiarities of the ice regime of the Tatar Strait. It is noted that the northern subzone in some years can be filled with ice by 100 %, while the maximum occupancy of the southern subzone does not exceed 24 %. At the same time, on average for the period of the standard climatic norm of 1991–2020, the stage of maximum development of ice processes in the northern subzone lasts on average about 23 days — from February 10 to March 5, and on the intra-seasonal variability curve, 2 seasonal ice maxima are clearly distinguished — February 10 and March 5. The absolute values of the intra-seasonal variability of the ice cover of the southern subzone are several times lower than in the northern one: the phase of intensive development here lasts from February 15 to February 28, the phase of destruction from early March to mid-March. On average, during the study period, the largest number of days with ice is observed on the coast from the village of Krasnogorsk to the village of Ilyinskoye, the duration of the period with ice from 20 to 35 days is typical for the segment of the coast from Cape Staromayachny to Cape Yablonovy.

KEYWORDS: ice coverage, GIS, climatic norms, Tatar Strait, Sea of Japan

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Сахалинской области проводится эксперимент по контролю за выбросом парниковых газов⁵. В рамках государственного задания «Углеродный баланс биоморфолитосистем побережья и прилегающих морских акваторий окраинных морей Дальнего Востока (FEFF-2022-0027)» планируется создание карбонового полигона и размещение на нем марикультурной фермы, на которой будет оцениваться фоновое значение поглощающей способности CO₂ морскими экосистемами и его изменение. Одним из наиболее перспективных районов проведения исследований, с точки зрения климатических и логистических условий, является юго-западное побережье о. Сахалин. Однако, наличие здесь в зимний период времени ледяного покрова ограничивает

¹ Sakhalin state University, 290, Lenina str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russia,
e-mail: varomanyuk2020@gmail.com

² Sakhalin state University, 290, Lenina str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russia,
e-mail: vpishchalnik@rambler.ru
FSBI “IMGIG FEB RAS”, 1B, Nauki str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russia,
e-mail: vpishchalnik@rambler.ru

³ Sakhalin state University, 290, Lenina str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russia, *e-mail:*
ilyarolevik1@yandex.ru

⁴ Sakhalin state University, 290, Lenina str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russia,
e-mail: irinkaeremenko@yandex.ru

⁵ Федеральный закон от 06.03.2022 № 34-ФЗ «О проведении эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах Российской Федерации»

функционирование объектов марикультурных хозяйств, сокращает период проведения морских исследований, а также повышает вероятность повреждения технологического оборудования. Именно поэтому актуальным является вопрос исследования особенностей отдельных элементов ледового режима юго-восточной части Татарского пролива.

Согласно ледово-географическому районированию, акватория Татарского прол. включает в себя северный, юго-западный и юго-восточный районы [Минервин и др., 2015]. Формирование ледяного покрова начинается в северной зоне в конце ноября, которая является основной областью генерации льда в проливе и отражает общую динамику его ледовитости. Дальнейшее образование льда отмечается в юго-западной (третья декада декабря) и, в последнюю очередь (как правило, в январе) — в юго-восточной зоне. Условия формирования ледяного покрова в Татарском прол. зависят от орографии береговой линии, географического положения, гидрологических условий и метеорологической обстановки [Якунин, 2012]. Более 90 % ледовитости Японского моря сосредоточено на акватории Татарского прол. [Плотников, 2002, 2010]. В течение зимне-весеннего периода преобладающий ветер северных румбов обуславливает постоянный дрейф льда в южном и юго-восточном направлениях, при этом в юго-восточной части пролива происходит разрушение льда под действием теплого Цусимского течения (рис. 1.) [Якунин, 2012; Минервин и др., 2015,]. Несмотря на общую тенденцию снижения ледовитости Татарского прол., которая за период с 1882 по 2018 гг. составляет около 8 % [Пищальник и др., 2019] и средней величине ледовитости, равной 34 %, в отдельные годы значения среднезимней ледовитости могут достигать 56 %, а ледовый период может длиться до 190 сут. [Плотников, 1990; Якунин, 2012].

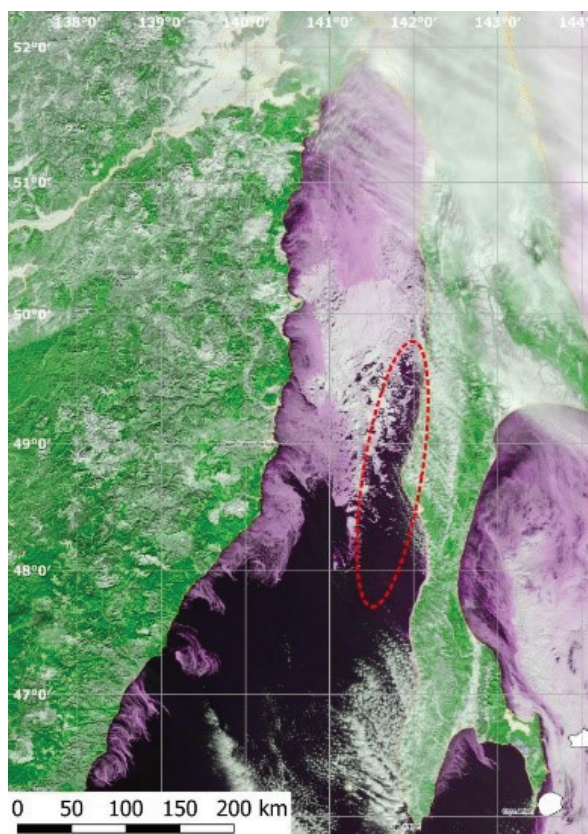


Рис. 1. Разрушение ледяного покрова ветвью теплого Цусимского течения.
Спутниковый снимок Terra-MODIS, 27 января 2023 г.

Fig. 1. Destruction of the ice cover by a branch of the warm Tsushima current.
Terra-MODIS satellite image, January 27, 2023

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ элементов ледового режима юго-восточной части Татарского прол. выполнен на основе ледовых карт-схем Японского метеорологического агентства с пентадной дискретностью, подготовленных на основе спутниковых наблюдений в микроволновом, инфракрасном и видимом диапазонах спектра за период современной климатической нормы с 1991 по 2020 гг. [Руководящие указания..., 2017]. Результаты сравнительного анализа подробно рассмотрены в [Минервин и др., 2015]. Расчеты ледовых характеристик производились с использованием ПК «Лед»¹ в границах юго-восточной части Татарского прол., которая для удобства анализа была разделена на северную и южную подзоны [Минервин и др., 2015; Границы..., 2000] (рис. 2).

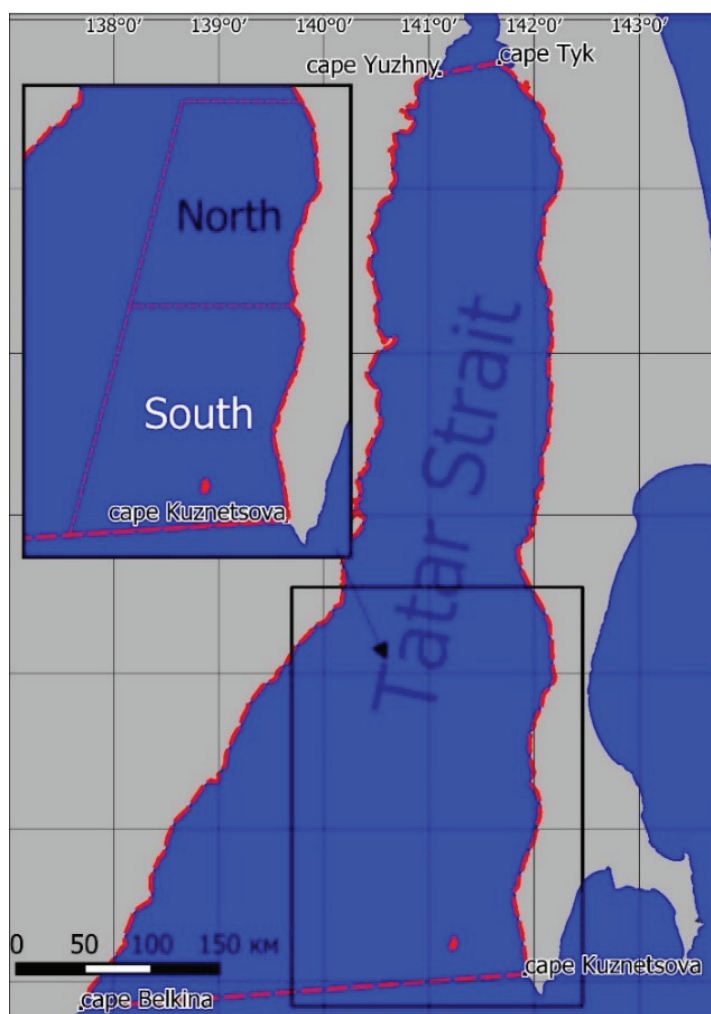


Рис. 2. Границы исследуемого района [Границы..., 2000]
Fig. 2. Boundaries of the study area [Boundaries..., 2000]

Значения ледовитости исследуемых акваторий вычислялись в виде отношения площадей, занятых льдом, к площади акватории в целом и представлялись в процентах. Среднезимнее значение ледовитости за ледовый сезон рассчитывалось путем усреднения месячных значений площадей ледяного массива с декабря по апрель.

¹ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015660472. Программный комплекс для расчета площади ледяного покрова в Охотском и Японском морях по данным ДЗЗ (ПК «ЛЕД»). Дата гос. регистрации в Росреестре программ для ЭВМ 01 октября 2015 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Межсезонная изменчивость ледовитости

Характерной особенностью многолетнего хода ледовитости северной подзоны юго-восточной части Татарского прол. является значительный размах колебаний значений ледовитости (рис. 3). Так, за период с 1991 по 2020 гг. размах среднезимней и максимальной ледовитости составляет 29 и 99 % соответственно. За весь исследуемый период значение среднезимней ледовитости составляет 7 %, при этом ее наибольшие значения отмечались в 2001 (24 %), 2012 (18 %) и 2019 гг. (28 %). Самой малоледовитой были зимы 1991 г., когда среднезимняя ледовитость составляла 2 %. За рассматриваемый 30-летний период в северной подзоне наблюдается тенденция увеличения среднезимней ледовитости, величина положительного линейного тренда составляет 9 %.



Рис. 3. Изменчивость среднезимней ледовитости в юго-восточной части Татарского пролива за период 1991–2020 гг.

Fig. 3. Variability of the average winter ice cover in the southeastern part of the Tatar Strait for the period 1991–2020

Величина среднезимнего значения ледовитости южной подзоны за исследуемый период составляет 0,2 %. Наиболее ледовитыми были зимы 2001 (2,6 %), 2008 (0,5 %) и 2019 гг. (0,9 %). Отдельно стоит отметить, что в 23 % случаев (в ледовые сезоны 1991–1993, 1995, 1997, 1998, 2011 гг.) на акватории южной подзоны ледяной покров отсутствовал, а среднее значение максимальных величин ледовитости составляет 2,5 %.

Для решения вопроса выбора места размещения марикультурных хозяйств крайне важной является информация о наличии ледяного покрова. Анализ графика максимальных значений ледовитости позволяет сделать вывод, что в отдельные годы максимальное заполнение дрейфующим льдом северной подзоны достигает 60–100 % (среднее значение 39 %) и только в одном случае за 30-летний период (1991 г.) наблюдалось полное отсутствие льда (рис. 4).

Во внутрисезонной изменчивости среднезимней ледовитости северной подзоны за период 1991–2020 гг. отчетливо выделяются две волны интенсивного ледообразования. Первая — с конца декабря по середину января, вторая — с конца января по первую декаду февраля (рис. 5). Вероятно, пауза в развитии ледовитости связана с активизацией циклонической активности в это время и, как следствие, сменой направления

господствующих ветров [Шатилина, 2006; Плотников, 2015]. Стадия максимального развития ледовых процессов продолжается немногим более 20 сут. — с 10 февраля по 5 марта. В этот период значения средней ледовитости варьируются в диапазоне 15–19 %. Следует обратить внимание на тот факт, что повышение ледовитости северной подзоны > 90 % происходит в период с 10 февраля по 28 февраля. На кривой внутрисезонной изменчивости также отчетливо выделяются 2 сезонных максимума ледовитости — 10 февраля и 5 марта. Уменьшение ледовитости на стадии разрушения происходит неравномерно со средней скоростью ~2 % за пентаду. Во второй половине марта наблюдается кратковременный рост ее значений, связанный с началом перестройки атмосферной циркуляции.

Абсолютные значения внутрисезонной изменчивости ледовитости южной подзоны в разы ниже, чем северной. Фаза интенсивного заполнения местным (образующимся в прибрежной полосе) и дрейфующим из северной части пролива льдом здесь приходится на вторую половину февраля (рис. 6). За ней следует не менее интенсивная фаза разрушения ледяного покрова. Окончательное разрушение льда в южной подзоне происходит в середине марта. Максимальные внутрисезонные значения ледовитости в среднем не превышают 24 %. На участке побережья от м. Лопатина до м. Кузнецова, находящегося под влиянием Цусимского течения, льды полностью отсутствуют. В отдельные годы во второй половине апреля возможен вынос отдельных полос охотоморского льда из пролива Лаперуза, представленного активно разрушающимися обломками торосов и ледяной кашей.



Рис. 4. Изменчивость максимальной ледовитости
в юго-восточной части Татарского пролива за период 1991–2020 гг.
Fig. 4. Variability of maximum ice cover
in the southeastern part of the Tatar Strait for the period 1991–2020



Рис. 5. Внутрисезонная изменчивость средней ледовитости юго-восточной части Татарского пролива за период 1991–2020 гг.

Fig. 5. Intraseasonal variability of the average ice cover of the southeastern part of the Tatar Strait for the period 1991–2020

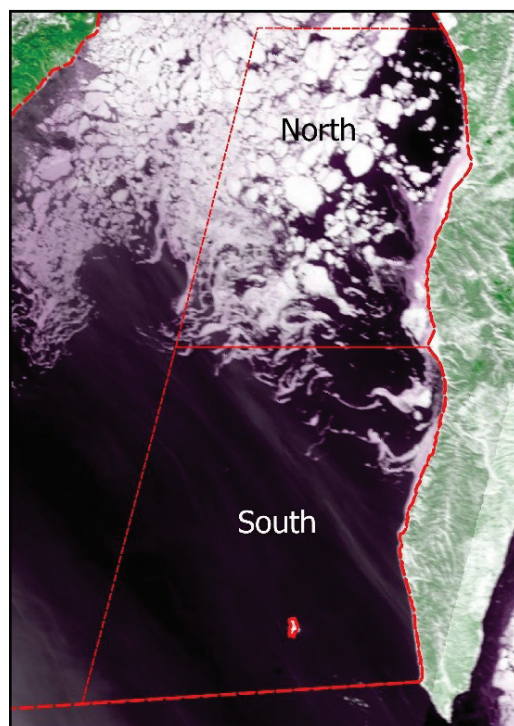


Рис. 6. Ледовая обстановка в юго-восточной части Татарского пролива 27 февраля 2001 г. (Terra-MODIS)

Fig. 6. Ice conditions in the southeastern part of the Tatar Strait on February 27, 2001 (Terra-MODIS)

Даты наступления ледовых фаз и продолжительность ледового периода

В табл. 1 представлены статистические характеристики дат наступления основных ледовых фаз в северной и южной подзонах юго-восточной части Татарского прол. В среднем за период 1991–2020 гг. в северной подзоне первое появление морского льда происходило на 11 сут. раньше, чем в южной — 18 и 29 января соответственно. Следует отметить, что фактические даты наступления основных ледовых фаз в северной и южной подзонах могут колебаться в широких пределах. Так, самое раннее устойчивое образование льда в северной подзоне зафиксировано 5 декабря 2018 г., самое позднее — на 77 сут. позже, 20 февраля 1996 г. В южной подзоне разброс между ранними и поздними датами устойчивого образования льда составляет 54 сут. (15 января 2019 г. и 10 марта 2012 г.). Окончательное очищение ото льда на исследуемых акваториях в среднем происходит с разницей в 19 сут.: в северной подзоне 20 марта, в южной — 1 марта. Среднегодулетная продолжительность ледового периода в северной подзоне длится на 50 сут. дольше, чем в южной и составляет 60 и 10 сут. соответственно.

*Табл. 1. Даты наступления основных ледовых фаз
в юго-восточной части Татарского пролива за период с 1991 по 2020 гг.
Table 1. The dates of the onset of the main ice phases
in the south-eastern part of the Tatar Strait for the period from 1991 to 2020*

	Северная подзона	Южная подзона
Средняя дата первого появления льда	18 янв.	29 янв.
Ранняя дата первого появления льда	5 дек.	31 дек.
Поздняя дата первого появления льда	20 фев.	28 фев.
Средняя дата устойчивого образования льда	18 янв.	9 фев.
Ранняя дата устойчивого образования льда	5 дек.	15 янв.
Поздняя дата устойчивого образования льда	20 фев.	10 мар.
Средняя дата окончательного очищения ото льда	20 мар.	1 мар.
Ранняя дата окончательного очищения ото льда	5 фев.	20 янв.
Поздняя дата окончательного очищения ото льда	15 апр.	20 мар.

При выборе места размещения объектов марикультурных хозяйств также необходимо учитывать время наличия ледяного покрова, т. е. периода со времени даты первого появления льда на акватории по дату окончательного очищения акватории ото льда. С использованием данных дистанционного зондирования Земли был выполнен расчет пространственного распределения средней за период 1991–2020 гг. продолжительности ледового периода на акватории юго-восточного района Татарского прол. (рис. 7). По результатам анализа расчетов наибольшая продолжительность ледового периода (55–60 сут.) отмечается на участке побережья от с. Красногорск (48°25' с. ш., 142°05' в. д.) до с. Ильинское (47°59'31" с. ш., 142°12' в. д.). На участке побережья от м. Старомаячный до м. Яблоновый продолжительность периода с наличием льда варьирует от 20 до 35 сут. Минимальная продолжительность ледового периода от 5 до 10 сут. характерна для прибрежной зоны от с. Яблочное (47°09' с. ш., 142°03' в. д.) до м. Кузнецова — здесь количество дней со льдом варьирует от 5 до 10 сут.

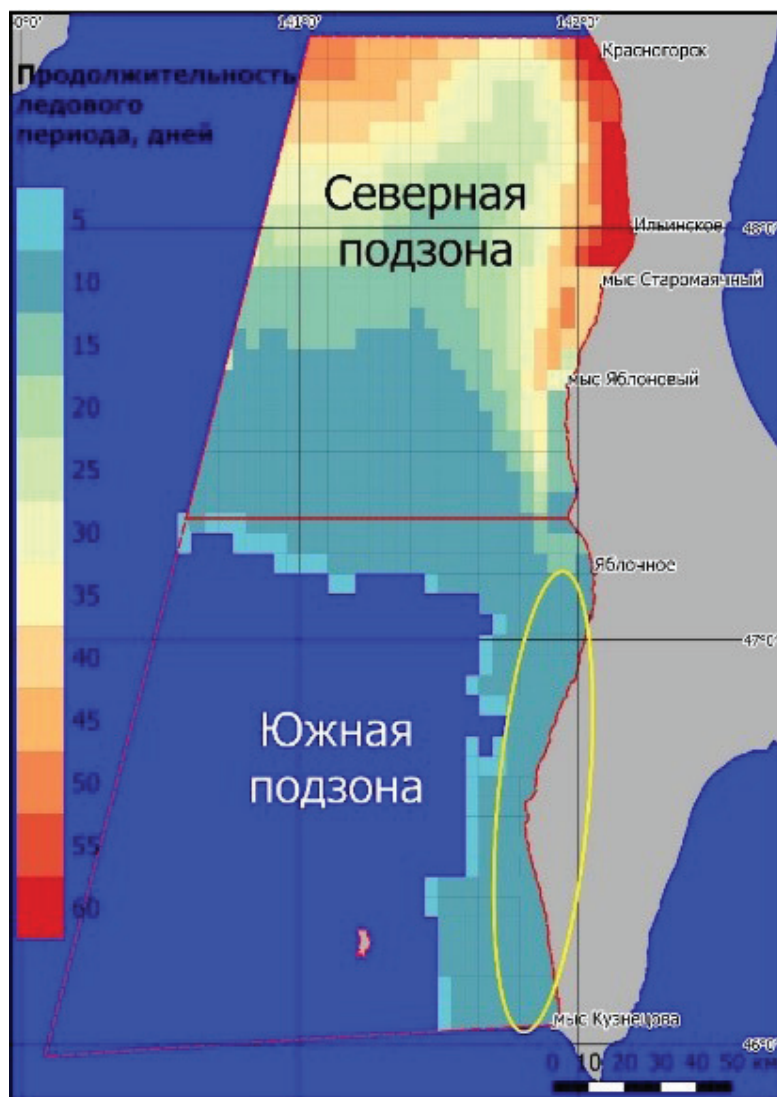


Рис. 7. Пространственное распределение продолжительности ледового периода (сутки) в юго-восточной части Татарского пролива за период 1991–2020 гг.

Fig. 7. Spatial distribution of the duration of the ice period (day) in the southeastern part of the Tatar Strait for the period 1991–2020

ВЫВОДЫ

На основе данных дистанционного зондирования Земли с использованием геоинформационных технологий выполнен анализ отдельных элементов ледового режима юго-восточной части Татарского пролива за период стандартной климатической нормы 1991–2020 гг. В результате исследований установлено, что: среднезимняя величина ледовитости в северной и южной подзонах, составляет 7 и 0,2 % соответственно; в северной подзоне наблюдается тенденция увеличения среднезимней ледовитости на 9 %, в южной подзоне наклон линейного тренда отсутствует.

Наиболее сложные ледовые условия в северной подзоне юго-восточной части Татарского пролива наблюдаются с 10 февраля по 5 марта — в этот период ледовитость акватории составляет в среднем 15–19 %; однако в отдельные годы максимальные значения ледовитости могут достигать 100 %. Южная подзона имеет более мягкие ледовые условия, что вызвано воздействием теплых вод ветви Цусимского течения. Максимальные значения

средней ледовитости наблюдается 28 февраля и составляет 1,3 %. В отдельные годы максимальная ледовитость может достигать 24 %.

Благоприятными участками для ведения марикультурного хозяйства является юго-западное побережье о. Сахалин от с. Яблочное до м. Кузнецова, где количество дней со льдом варьирует от 5 до 10 сут.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках государственного задания «Углеродный баланс биоморфолитосистем побережья и прилегающих морских акваторий окраинных морей Дальнего Востока (FEFF-2022-0027)».

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was carried out within the framework of the state task “Carbon balance of biomorpholithosystems of the coast and adjacent marine areas of the marginal seas of the Far East (FEFF-2022-0027)”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Границы океанов и морей. СПб.: ГУНиО МО (Управление навигации и океанографии Министерства обороны), 2000. № 9031. С. 127–137.

Минервин И.Г., Пищальник В.М., Бобков А.О., Романюк В.А. Основные принципы работы программного комплекса «ЛЕД»: Девятый Всероссийский симпозиум «Физика геосфер». Владивосток: Дальнаука, 2015. С. 556–561.

Пищальник В.М., Дорофеева Д.В., Минервин И.Г. Межгодовая динамика аномалий ледовитости Татарского пролива с 1882 по 2018 г. Известия ТИНРО, 2019. Т. 196. С. 114–122.

Плотников В.В. Сезонная и межгодовая изменчивость ледовитости дальневосточных морей. Труды ДВНИГМИ, 1990. Вып. 40. С. 65–75.

Плотников В.В. Изменчивость ледовых условий дальневосточных морей России и их прогноз. Владивосток: Федеральное государственное унитарное предприятие, 2002. 167 с.

Плотников В.В., Мезенцева Л.И., Дубина В.А. Циркуляция атмосферы над Дальним Востоком и ее отражение в ледовых процессах. Владивосток: Тихоокеанский океанологический ин-т им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН, 2015. 159 с.

Плотников В.В., Четырбоцкий А.Н., Гордейчук Т.В. Оценка состояния ледяного покрова Японского моря. Метеорология и гидрология, 2010. № 3. С. 46–55.

Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. Женева: ВМО, 2017. № 1203. 32 с.

Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В. Опыт использования метода интервального распознавания для прогноза экстремальной ледовитости Татарского пролива (Японское море). Метеорология и гидрология, 2006. № 10. С. 65–73.

Якунин Л.П. Атлас основных параметров ледяного покрова Охотского моря. Владивосток: ДВФУ, 2012. 118 с.

REFERENCES

Minervin I.G., Pishchal'nik V.M., Bobkov A.O., Romanyuk V.A. Basic principles of operation of the “ICE” software package. Ninth All-Russian Symposium “Physics of Geospheres”. Vladivostok: Dalnauka, 2015. P. 556–561 (in Russian).

Pishchal'nik V.M., Dorofeeva D.V., Minervin I.G. Interannual dynamics of anomalies in the arctic of the Tatar Strait from 1882 to 2018. *Izvestiya TINRO*, 2019. V. 196. P. 114–122.

Plotnikov V.V. Seasonal and interannual variability of the ice cover of the Far Eastern seas. *Proceedings of the FERHRI*, 1990. Iss. 40. P. 65–75 (in Russian).

Plotnikov V.V. Variability of ice conditions of the Far Eastern seas of Russia and their forecast. *Vladivostok: Federal State Unitary Enterprise*, 2002. 167 p. (in Russian).

Plotnikov V.V., Chetyrbotsky A.N., Gordeychuk T.V. Assessment of the state of the ice cover of the Sea of Japan. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2010. No. 3. P. 46–55 (in Russian).

Plotnikov V.V., Mezentseva L.I., Dubina V.A. Atmospheric circulation over the Far East and its reflection in ice processes. *Vladivostok: V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute*, 2015. 159 p. (in Russian).

Shatilina T.A., Tsitsiashvili G.Sh., Radchenkova T.V. Experience of using the interval recognition method for predicting the extreme iciness of the Tatar Strait (Sea of Japan). *Russian Meteorology and Hydrology*, 2006. No. 10. P. 65–73 (in Russian).

The boundaries of oceans and seas. *St. Petersburg: UNO MD (Department of Navigation and Oceanography of the Ministry of Defense)*, 2000. No. 9031. P. 127–137 (in Russian).

WMO guidelines for the calculation of climate standards. *Geneva: WMO*, 2017. No. 1203. 32 p.

Yakunin L.P. Atlas of the main parameters of the ice cover of the Sea of Okhotsk. *Vladivostok: FEFU*, 2012. 118 p. (in Russian).
