

Оригинальная статья

УДК 502/504:551.32

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-110-115

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЗАПРИПАЙНЫХ ПОЛЫНЬЕЙ КАРСКОГО МОРЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

ПУТЫРСКИЙ ВЛАДИМИР ЕВГЕНЬЕВИЧ¹, д-р. геогр. наук, профессор
putyrsky1@yandex.ru

ЮЛИН АЛЕКСАНДР ВИКТОРОВИЧ²✉, канд. геогр. наук, доцент
icefor@aari.ru

ПАВЛОВА ЕВГЕНИЯ АНАТОЛЬЕВНА², научный сотрудник
pavlova@aari.ru

КАШКОВА ВАЛЕНТИНА СЕРГЕЕВНА², инженер-техник
svs9393@yandex.ru

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Москва, Тимирязевская, 49. Россия

² Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт (ААНИИ); 199397, Санкт-Петербург, Беринга, 38. Россия

В работе представлен анализ повторяемости и изменения площади заприпайных полыньей Карского моря в зимний период. Приведено сравнение площадей и повторяемости полыньей за период с 2010 по 2019 гг. и за многолетний ряд наблюдений с 1980 по 2009 гг. Продолжен ряд наблюдения за режимом и динамикой полыньей за период с 1980 по 2019 гг. Выявлены изменения в режиме заприпайных полыньей, а также изменение ледовитости юго-западной части Карского моря связанной с увеличением длительности промерзания, а также с ранним взломом припая и быстрым таянием льдов. Для получения данных о площадях и повторяемости полыньей использовались региональные карты ледовых образований ААНИИ в формате SIGRID-3: A VECTOR ARCHIVE FORMAT FOR SEA ICE CHARTS», в геоинформационной системе Arc GIS с последующим созданием архива пространственных данных включающего в себя информацию о площадях стационарных заприпайных полыньей. Работа включала в себя также и использование спутниковых снимков NOAA-19 для работы с которыми использовалась программа ENVI- программа для визуализации и обработки данных дистанционного зондирования Земли.

Ключевые слова: заприпайные полыньи, арктические моря, ледообразование, ледовый режим Карского моря, динамические процессы, зимняя навигация

Формат цитирования: Путьрский В.Е., Юлин А.В., Павлова Е.А., Кашкова В.С. Исследование динамики заприпайных полыньей Карского моря в зимний период // Природообустройство. – 2021. – № 4. – С. 110-115. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-110-115.

© Путьрский В.Е., Юлин А.В., Павлова Е.А., Кашкова В.С., 2021

Original article

INVESTIGATION OF THE DYNAMICS OF THE ZAPRIPAJNY POLYNYAS OF THE KARA SEA IN THE WINTER PERIOD

PUTYRSKY VLADIMIR EVGENJEVICH¹, doctor of geographical sciences, professor
putyrsky1@yandex.ru

YULIN ALEXANDER VICTOROVICH²✉, candidate of geographical sciences, associate professor
icefor@aari.ru

PAVLOVA EVGENIYA ANATOLYEVNA², a researcher
pavlova@aari.ru

KASHKOVA VALENTINA SERGEEVNA², an engineer-technician

svs9393@yandex.ru

¹ Federal State Budgetary Institution of Higher Education «Russian State Agrarian University – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russia

² Federal State Budgetary Institution «Arctic and Antarctic Research Institute», 199397, St. Petersburg, Beringa, 38. Russia

The paper presents an analysis of the repeatability and changes in the area of zapripayny polynyas of the Kara Sea in winter. Comparison of areas and repeatability of polynya during the period from 2010 to 2019 and for many years a number of observations from 1980 to 2009 are given. A number of observations of the regime and dynamics of the polynya for the period from 1980 to 2019 were continued. Changes in the regime of zapripayny polynyas, as well as changes in the ice content of the southwestern part of the Kara Sea associated with an increase in the duration of freezing as well as with early breaking of the pripaj and rapid melting of ice were revealed. To obtain data on the areas and repeatability of the polynya, regional maps of ice formations of AANII were used in the format SIGRID-3: A VECTOR ARCHIVE FORMAT FOR SEA ICE CHARTS», in the geographic information system Arc GIS, followed by the creation of an archive of spatial data including information on the areas of stationary zapripayny polynyas. The work also included the use of NOAA-19 satellite images, for working with which the ENVI program was used – a program for visualizing and processing data of the remote sensing of the Earth.

Keywords: zapripaynye polynyas, Arctic seas, ice formation, ice regime of the Kara Sea, dynamic processes, winter navigation

Format of citation: Putyrsky V.E., Yulin A.V., Pavlova E.A. Kashkova V.S. Investigation of the dynamics of the zapripajny polynyas of the Kara sea in the winter period // Prirodoobustrojstvo. – 2021. – № 4 – S. 110-115. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-110-115.

Введение. Заприпайные полыньи являются характерным и наиболее интересным элементом ландшафта арктических морей в зимний период. Заприпайные полыньи представляют собой пространства чистой воды или молодых льдов до 30 см, которые образуются за кромкой неподвижного льда (припая).

Роль заприпайных полыньей в зимнем ледовом режиме арктических морей очень значительна. Они играют важную роль в гидрологическом режиме арктических морей и являются важнейшим элементом навигации в зимний период [1, 2]. Участки открытой воды и молодых льдов, покрывающих заприпайные полыньи, значительно увеличивают интенсивность теплообмена между океаном и атмосферой [2, 3]. Кроме того, в полыньях осуществляется постоянная репродукция льдов, в связи с чем они играют большую роль в ледовом балансе и увеличении количества льдов в зимний период [2, 4].

Наблюдения за полыньями арктических морей в ААНИИ ведутся несколько десятилетий и с увеличением интенсивности навигации в зимний период потребность в мониторинге динамики полыней возрастает. Карское море является районом активной зимней навигации, характерной особенностью которого является наличие крупных стационарных полыньей. Объем и точность данных наблюдений за заприпайными полыньями Карского моря существенно возрос с 1973 г., с увеличением интенсивности плавания судов на Енисей в зимний период (с октября по май), и с появлением спутниковой

информации. В работе [5] В.П. Карклиным и И.Д. Карелиным были приведены результаты многолетних наблюдений за заприпайными полыньями арктических морей, в том числе Карского моря, с 1980 по 2009 гг.

Однако за последнее десятилетие наблюдается существенное изменение ледового режима российских арктических морей, которое носит ускоряющийся характер. В этой связи, оценка происходящих изменений в режиме арктических заприпайных полыньей приобретает важное научное и практическое значение.

Материалы и методы исследования. В данной статье приведены результаты мониторинга состояния заприпайных полыньей в Карском море в современный период – за последние 10 лет. Приведены статистические оценки развития всех стационарных полыньей Карского моря, а также сравнение полученных оценок со средними значениями за период с 1980 по 2009 гг. Это позволило оценить динамику изменения основных характеристик заприпайных полыньей в Карском море.

Ниже, на рисунке 1 представлена схема расположения заприпайных полыньей Карского моря.

Все основные характеристики заприпайных полыньей получены в результате обработки ледовых карт ААНИИ в формате SIGRID-3 [6], в геоинформационной системе Arc GIS. Массив пространственно-временных данных о полыньях Карского моря содержит более 1500 объектов.

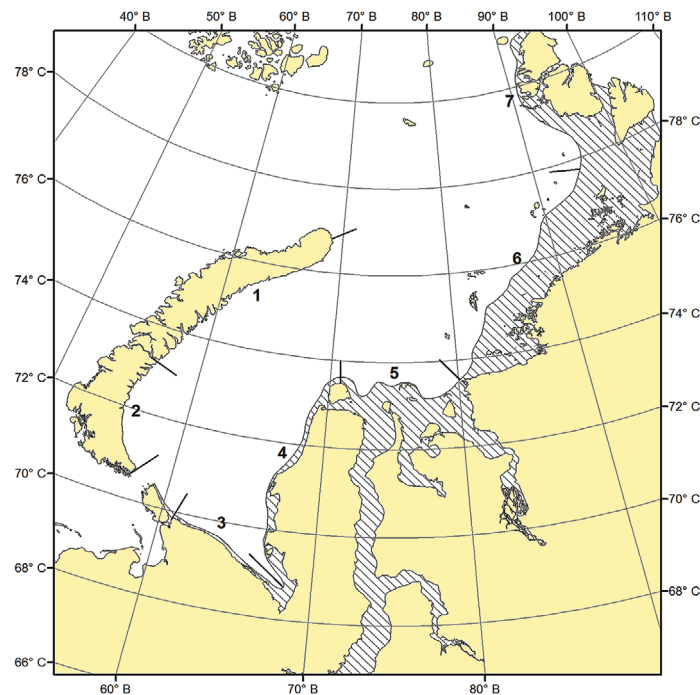


Рис. 1. Полыньи Карского моря:

- 1 – Северная Новоземельская; 2 – Южная Новоземельская;
3 – Амдерминская; 4 – Ямальская; 5 – Обь-Енисейская;
6 – Центральная Карская; 7 – Западная Североземельская [5]

Fig. 1. Polynjas of the Kara sea:

- 1 – Northern Novozemelskaya; 2 – Southern Novozemelskaya;
3 – Amderminskaya; 4 – Yamalskaya; 5 – Ob-Yeniseiskaya;
6 – Tsentralnaya Karskaya; 7 – Western Severozemelskaya

Результаты исследований. На рисунке 2 приводятся полученные средние значения площади полыньей Карского моря за многолетний период с 1980 по 2009 гг. и в современный климатический период с 2010 по 2019 гг. Одновременно приводятся кривые максимальных значений площади полыньей за период с 2010 по 2019 гг. Кривые максимальных значений показывают амплитуду межгодовой изменчивости площади полыньей, которая позволяет корректно оценить изменчивость характеристики относительно средних многолетних значений.

На рисунке 2 также видно, что рассмотренные площади полыньей Карского моря в среднем за последние десять лет в отдельные месяцы могут значительно отличаться от средних многолетних значений (1980-2009 гг.). Однако, кривая максимальных площадей за последние 10 лет достаточно близко подходит к кривой средних многолетних значений (апрель – Центральная Карская полынья, май – Амдерминская полынья). Северная и Южная Новоземельские полыньи в начале холодного периода – в декабре – в среднем были значительно меньше многолетних значений. У отдельных групп полыньей площадь возросла, у другой группы полыньей – площадь уменьшилась.

Нами исследовалась повторяемость полыньей за разные периоды времени и их изменчивость. Так, на рисунке 3 представлены кривые средних значений повторяемости полыньей Карского моря за многолетний период с 1980 по 2009 гг. и за современный климатический период (с 2010 по 2019 гг.).

Из рисунка 3 видно, что характер повторяемости полыньей достаточно сильно изменился. Значительно увеличилась повторяемость Ямальской полыньи с февраля по май, а также Западной Северо-Земельской и Центральной Карской полыньей с декабря по март. Обращая внимание на графики повторяемости таких полыньей как Северная Новоземельская, Южная Новоземельская, Амдерминская и Ямальская, можно отметить сильное снижение повторяемости полыньей по сравнению с многолетними данными за 1980-2009 гг. Это связано с тем, что за последние 10 лет наблюдается сильное изменение ледовитости Карского моря, а именно его юго-западной части. Отсутствие стабильного ледообразования в юго-западной части моря может быть связано с общим потеплением климата, а также с заток более теплых вод Баренцева моря в акваторию Карского через пролив Карские ворота.

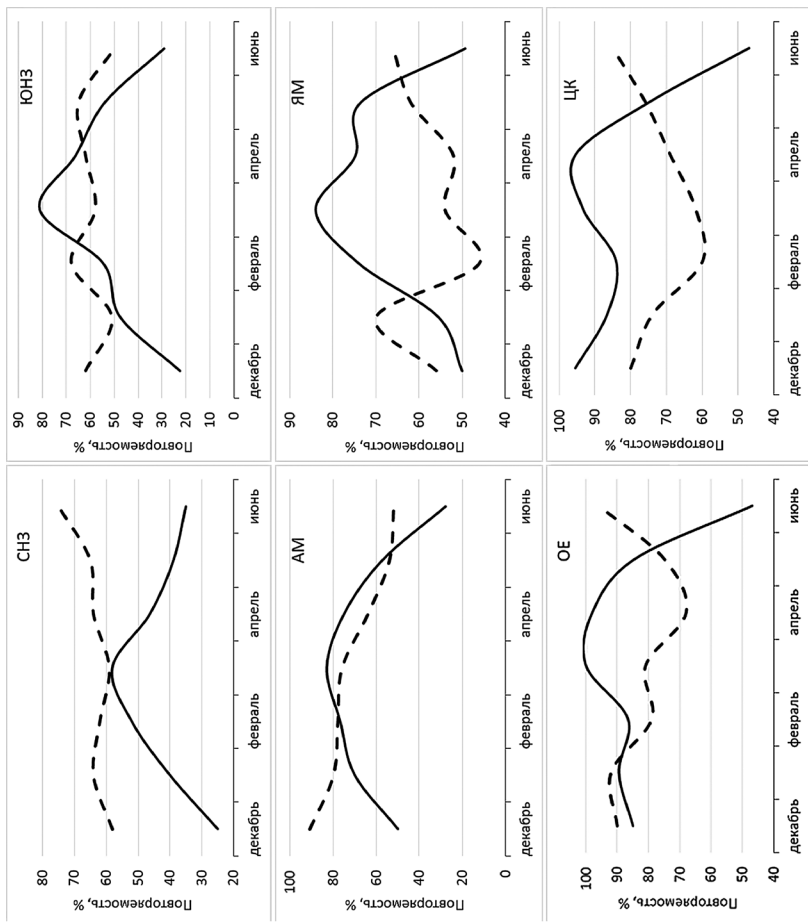


Рис. 3. Повторяемость полыней Карского моря:
 Чёрная сплошная кривая – средние значения 2010-2019 гг.;
 чёрная пунктирная линия – средние значения 1980-2009 гг.

Fig. 3. Repeatability of polynyas of the Kara sea:
 Black solid curve – average values of 2010-2019;
 black dotted line – average values of 1980-2009

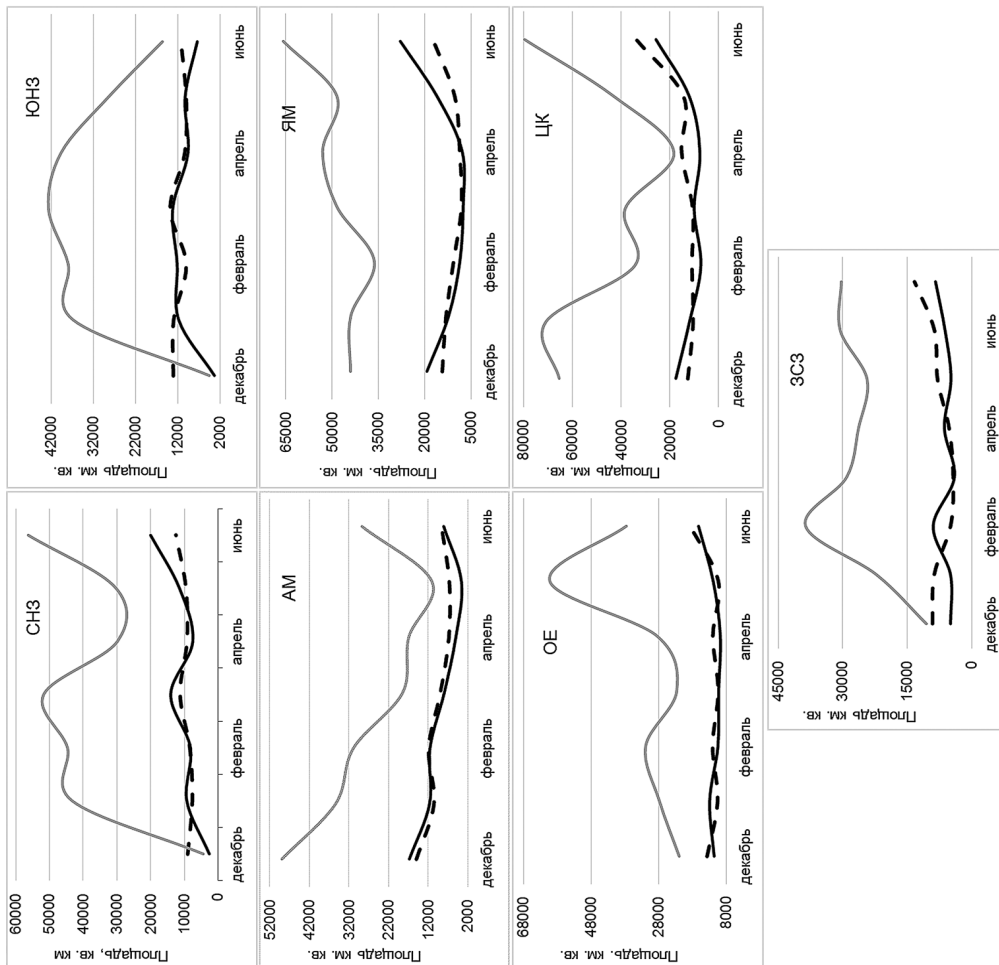


Рис. 2. Площади полыней Карского моря:
 Чёрная сплошная кривая – максимальные значения 2010-2019 гг.;
 серая кривая – максимальные значения 2010-2019 гг.;
 чёрная пунктирная линия – средние значения 1980-2009 гг.

Fig. 2. The polynyas area of the Kara sea:
 Black solid curve – average values of 2010-2019;
 gray curve – maximum values of 2010-2019;
 black dotted line – average values of 1980-2009

На рисунке 4 представлена региональная ледовая карта ААНИИ за 04.01.2006 г. Как видно, практически всю юго-западную часть Карского моря занимают пространства чистой воды и молодых льдов. В данном случае при отсутствии стабильного ледообразования эти участки не могут считаться полыньями, потому не вносились в архив данных по повторяемости полыньей. Также стоит

отметить, что в июне повторяемость резко падает практически для всех полыньей. Указанные наблюдения позволяют нам судить о климатических изменениях, происходящих в исследуемом районе, таких как сокращение холодного периода и развитие динамических процессов, происходящих в ледяном покрове в зимний период на акватории Карского моря.

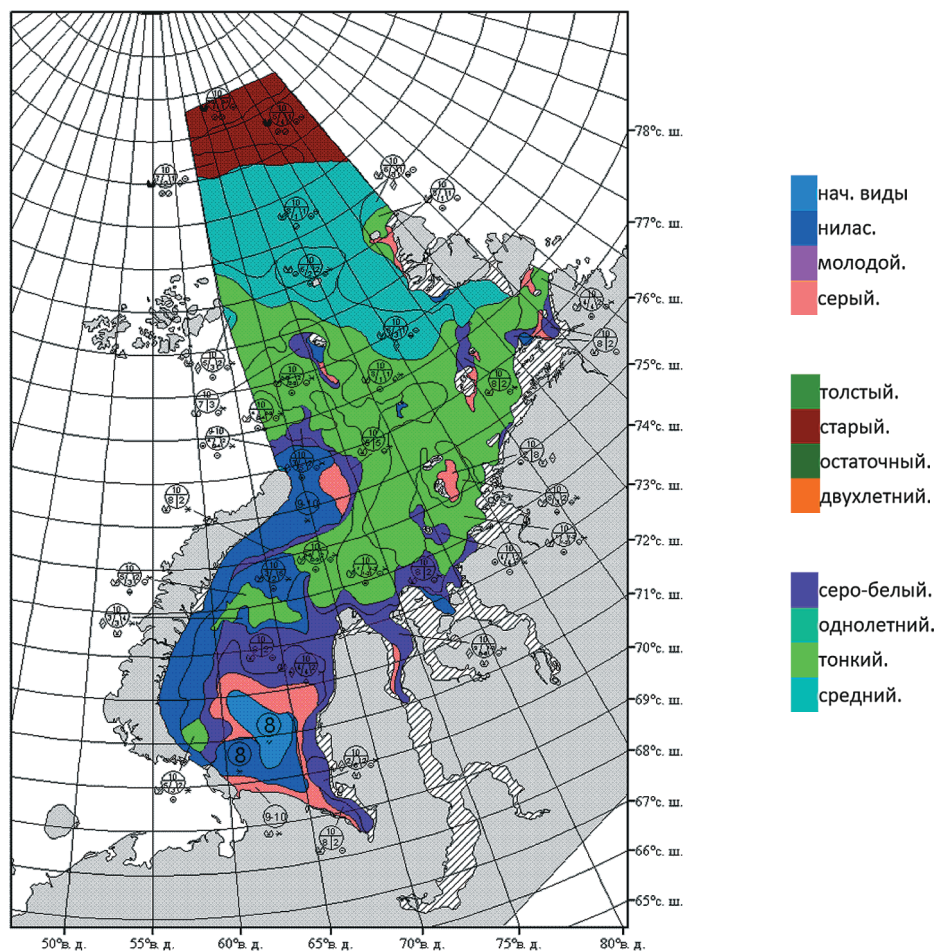


Рис. 4. Состояния ледяного покрова в Карском море 04.01.2006 г.

Fig. 4. The state of the ice cover in the Kara Sea 04.01.2006

Выводы

Исходя из полученных данных о режиме заприпайных полыньей в зимний период можно утверждать, что полынья как один из основных элементов ледяного ландшафта, действительно является динамичной структурой, которая способна изменяться за короткий промежуток времени под влиянием различных природных факторов. К тому же за последние годы наблюдается резкая трансформация гидрометеорологических условий в регионе Российской Арктики, что существенно влияет на режим полыньей в Карском море.

Общая тенденция к увеличению границ стационарных полыньей, присутствие слитых

полыньей и уменьшение площади припайного льда могут говорить о процессах динамики ледообразования, наблюдающихся в Российской части арктического бассейна.

Полученные результаты дают понять, что изменение условий ледообразования способно влиять как на изменение климата, так и на человеческую деятельность за полярным кругом. Проведенное исследование позволяет уточнить параметры зимней навигации на Северном морском пути (к 2024 году планируется проводить круглогодично), что соответствует целям по разработке полезных ископаемых и развитию Арктики.

Библиографический список

1. Морской энциклопедический справочник. Том 1. / под ред. Исанина Н.Н. – Л.: Судостроение, 1987. – 506 с.
2. **Богородский П.В., Макштас А.П., Пнюшков А.В.** Моделирование нарастания льда в заприпайной полынье // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2012. – № 2(92). – С. 85-94.
3. Тепловой баланс арктических льдов в зимний период / Макштас А.П. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 66 с.
4. **Barber D.G., Massom R.A.** Theroleofse-icein Arcticand Antarctic Polynyas //Polynyas: Windows Tothe World / Eds. W.O. Smith Jr. Barber, D.G. New York: Elsiver, 2007. Ser. 47. p. 1-43.
5. **Карелин И.Д., Карклин В.П.** Припай и заприпайные полыньи арктических морей сибирского шельфа в конце XX – начале XXI века. – СПб.: ААНИИ, 2012. – 179 с.
6. **Афанасьева Е.В.** Методика составления ледовых карт ААНИИ / Афанасьева Е.В., Алексеева Т.А., Соколова Ю.В. и др. // Российская Арктика. – 2019. – № 7. – С. 5-20.
7. **Гудкович З.М.** Климатические изменения ледяного покрова морей евразийского шельфа / Гудкович З.М., Карклин В.П., Ковалев Е.Г. и др. – СПб.: Наука, 2007. – 136 с.
8. **Карклин В.П.** Климатическая изменчивость ледяных массивов Карского моря / Карклин В.П., Юдин А.В., Шаратунова М.В. и др. // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2017. – № 4. – С. 37-46.
9. **Лебедев Г.А., Сухоруков К.К., Ковалев С.М.** Термическое разрушение морского льда. – СПб.: Гидрометеоздат, 2003. – 183 с.
10. **Graversen R.G., Mauritsen T., Tjernstrom M., Kallen E., Svensson G.** Vertical structure of recent Arctic warming // Nature. 2008.
11. **Raspopov O.M., Dergachev V.A., Kolstrom T.** Hale Cyclicity of Polar Activity and its relation to climate variability // Solar Physics. 2004. Vol. 224.

Критерии авторства

Путырский В.Е., Юлин А.В., Павлова Е.А., Кашкова В.С. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию 01.06.2021 г.

Одобрена после рецензирования 15.09.2021 г.

Принята к публикации 24.09.2021 г.

References

1. Morskoj entsiklopedicheskij spravochnik. Tom 1. / pod red. Isanina N.N. – L.: Sudostroe-ние, 1987. – 506 s.
2. **Bogorodskij P.V., Makshtas A.P., Pnyushkov A.V.** Modelirovanie narastaniya ljda v zapri-pajnoj polynje // Problemy Arktiki i Antarktiki. – 2012. – № 2(92). – S. 85-94.
3. Teplovoj balans arkticheskoh ljdov v zim-nij period / Makshtas A.P. – L.: Gidrometeoiz-dat, 1984. – 66 s.
4. **Barber D.G., Massom R.A.** Theroleofse-icein Arcticand Antarctic Polynyas //Polynyas: Windows Tothe World / Eds. W.O. Smith Jr. Barber, D.G. New York: Elsiver, 2007. Ser. 47. p. 1-43.
5. **Karelin I.D., Karklin V.P.** Pripaj i za-pripajnye polynji arkticheskikh morej sibirskogo shelfa v kontse XX – nachale XXI veka. – SPb.: AANII, 2012. – 179 s.
6. **Afanasjeva E.V.** Metodika sostavlениya ledovyh kart AANII / Afanasjeva E.V., Alekseeva T.A., Sokolova Yu.V. i dr. // Rossijskaya Ark-tika. – 2019. – № 7. – S. 5-20.
7. **Gudkovich Z.M.** Klimaticheskije izmene-niya ledyanogo pokrova morej evrazijskogo shel-fa / Gudkovich Z.M., Karklin V.P., Kovalev E.G. i dr. – SPb.: Nauka, 2007. – 136 s.
8. **Karklin V.P.** Klimaticheskije izmeneniya le-dyanyh massivov Karskogo morya / Karklin V.P., Yudin A.V., Sharatunova M.V. i dr. // Problemy Arktiki i Antarktiki. – 2017. – № 4. – S. 37-46.
9. **Lebedev G.A., Sukhorukov K.K., Ko-valev S.M.** Termicheskoe razrushenie morskogo ljda. – SPb.: Gidrometeoizdat, 2003. – 183 s.
10. **Graversen R.G., Mauritsen T., Tjernstrom M., Kallen E., Svensson G.** Vertical structure of recent Arctic warming // Nature. 2008.
11. **Raspopov O.M., Dergachev V.A., Kolstrom T.** Hale Cyclicity of Polar Activity and its relation to climate variability // Solar Physics. 2004. Vol. 224.

Criteria of authorship

Putyrsky V.E., Yulin A.V., Pavlova E.A., Kashkova V.S. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 01.06.2021

Approved after reviewing 15.09.2021

Accepted for publication 24.09.2021