

<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2023-69-3-331-342>
УДК 551.326 12 (268.52)



ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ORIGINAL ARTICLE

Возрастной состав льдов в юго-западной части Чукотского моря в осенне-зимний период

Т.В. Шевелева*, А.В. Юлин

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
Санкт-Петербург, Россия

*sheveleva@aaari.ru

Резюме

Возрастной состав является основной характеристикой ледяного покрова арктических морей в осенне-зимний период. В статье представлены результаты исследования сезонного хода и межгодовых изменений возрастного состава льдов в юго-западной части Чукотского моря с октября по май за ряд наблюдений 1997–2022 гг. Полученные результаты позволили выявить закономерности накопления и изменения льдов различного возраста.

В развитии ледяного покрова в юго-западной части Чукотского моря наблюдается хорошо выраженный сезонный ход. От начала ледообразования и до середины декабря преобладают молодые льды (10–30 см). С начала января преобладают однолетние тонкие льды (30–70 см). С февраля начинают преобладать однолетние средние льды (70–120 см). В конце периода нарастания ледяного покрова, который приходится на середину мая, преобладают однолетние средние и толстые льды (более 120 см). Их общее количество составляет 71 % от всего состава льдов. Количественные изменения льдов разного возраста на акватории моря позволяют определить средние даты переходов типов сложности ледовых условий от легкого до тяжелого. В среднем переход от легкого типа к среднему происходит в первой декаде февраля, а от среднего к тяжелому — во второй декаде апреля. Анализ межгодовых изменений возрастного состава за 25-летний период наблюдений позволил установить тенденцию к замещению старых и однолетних толстых льдов более тонкими однолетними средними и молодыми.

Ранее подобные исследования по юго-западной части Чукотского моря не проводились. Полученные результаты позволяют восполнить знания о развитии ледяного покрова в осенне-зимний период, а также использовать их при разработке методов ледовых прогнозов для судоходства.

Ключевые слова: возраст льда, дрейфующий лед, ледяной покров, припай, юго-западная часть Чукотского моря.

Для цитирования: Шевелева Т.В., Юлин А.В. Возрастной состав льдов в юго-западной части Чукотского моря в осенне-зимний период // Проблемы Арктики и Антарктики. 2023. Т. 69. № 3. С. 331–342. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2023-69-3-331-342>.

Поступила 19.05.2023

После переработки 11.07.2023

Принята 02.09.2023

Age composition of the sea ice in southwestern part of the Chukchi Sea in the autumn-winter period

Tatyana V. Sheveleva*, Alexander V. Yulin

State Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

*sheveleva@aari.ru

Summary

Age composition is the main characteristic of the ice cover of the Arctic seas in the autumn-winter period. The article presents the results of a study of the seasonal course and interannual changes in the age composition of ice in the southwestern part of the Chukchi Sea in the autumn-winter period for a number of years 1997–2022. The results obtained made it possible to reveal patterns of accumulation and change of ice of various ages.

A well-pronounced seasonal course is observed in the development of the ice cover in the southwestern part of the Chukchi Sea. From the beginning of ice formation to mid-December, young ice (10–30 cm) predominates. From the beginning of January, one-year thin ice (30–70 cm) prevails. From February, first-year average ice (70–120 cm) begins to prevail. At the end of the period of ice cover growth, which occurs in mid-May, one-year medium and thick ice (more than 120 cm) predominate. Their total amount is 71 % of the total ice composition.

Quantitative changes in ice of different ages in the sea waters allow us to determine the average dates of transitions of types of complexity of ice conditions from light to severe. On average, the transition from mild to medium occurs in the first decade of February, and from medium to severe in the second decade of April.

An analysis of interannual changes in the age composition of ice over a 25-year observation period made it possible to establish a trend towards the replacement of old and thick ice by thinner one-year average and young ice.

Previously, similar studies in the southwestern part of the Chukchi Sea were not carried out. The results obtained make it possible to acquire knowledge about the development of ice cover in winter and use it in the development of methods for ice forecasts for shipping.

Keywords: drifting ice, fast ice, ice age, ice cover, southwestern part of the Chukchi Sea.

For citation: Sheveleva T.V., Yulin A.V. Age composition of the sea ice in southwestern part of the Chukchi sea in the autumn-winter period. Arctic and Antarctic Research. 2023, 69 (3): 331–342. [In Russian]. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2023-69-3-331-342>.

Received 19.05.2023

Revised 11.07.2023

Accepted 02.09.2023

ВВЕДЕНИЕ

Чукотское море является самым восточным из российских арктических морей. Природные условия в нем достаточно суровы. Ледовый режим Чукотского моря формируется под влиянием, с одной стороны, Арктического бассейна, с которым море имеет открытую границу, с другой стороны, адвекцией сравнительно теплых берингоморских вод, поступающих через Берингов пролив. Большую часть года температуры воздуха над ним отрицательны. Зимой (с октября по май) море полностью покрыто дрейфующими и припайными льдами. Летом (с июня по сентябрь) происходит частичное очищение акватории моря. Географическое положение моря определяет его важное транспортное значение. Через юго-западную часть моря проходит трасса Северного морского пути (СМП).

В настоящее время существенно возросли объемы перевозок грузов по СМП. В 2022 г. было перевезено более 34 млн тонн, а в 2024 г. планируется увеличить объем до 80 млн тонн. В связи с этим начиная с 2024 г. планируется переход к круглогодич-

ной навигации по всей трассе СМП. В летний период возможности плавания судов изучены достаточно хорошо, однако для осенне-зимнего периода года наблюдается недостаточная изученность данной области. Эффективное и безопасное плавание по трассе СМП осенью и зимой невозможно без знания основных закономерностей формирования ледяного покрова. Пренебрежение информационным сопровождением морских операций и особенностями ледового режима арктических морей привели к ледовому плену более 20 транспортных судов на трассе СМП в осенний период 2021 г. [1]. В связи с этим изучение осенне-зимних ледовых условий арктических морей становится чрезвычайно важной научной и прикладной задачей.

Возрастной состав (толщина) льдов является одним из главных факторов, оказывающих прямое влияние на судоходство в арктических морях. Нарастание толщины и изменение количества льдов разного возраста с октября по май, а также их неравномерное распределение по акватории определяют сложность ледовых условий в море. Изучение закономерностей сезонных и межгодовых изменений возраста ледяного покрова позволяет правильно оценивать и прогнозировать текущую ситуацию и давать рекомендации по плаванию.

В последние годы, в связи с возникшими потребностями обеспечения зимних навигаций, начали появляться исследования по отдельным характеристикам ледового режима. Опубликованные работы по данной проблеме в большей степени были связаны с морями западного сектора Арктики. В настоящее время более детально проанализирован режим ледообразования [2, 3] и изменения возрастного состава льдов в Баренцевом и Карском морях [4–7]. Согласно этим исследованиям, происходящие климатические изменения в Арктике существенно повлияли на ледообразование, нарастание и разрушение льдов в морях.

Период активного летнего судоходства значительно расширился за счет более раннего начала таяния весной и более позднего ледообразования осенью. Изменился зимний ледовый режим морей. Позднее ледообразование и теплые зимы влияют на нарастание толщины льда, наблюдается замещение старых льдов на однолетние. В связи с этим более детальное изучение ледовых условий осенне-зимнего периода с учетом региональных особенностей российских арктических морей по-прежнему остается важной и востребованной задачей.

В настоящей работе представлены результаты анализа сезонных и межгодовых изменений возрастного состава ледяного покрова в юго-западной части Чукотского моря как района, значимого для хозяйственно-экономической деятельности. Подобного рода исследования по этому району проводятся впервые.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

Анализ сезонных и межгодовых изменений возрастного состава льдов в юго-западной части Чукотского моря выполнен с использованием электронного архива региональных ледовых карт Арктического и антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ) за период 1997–2022 гг. [8]. Основой архива являются данные спутниковых наблюдений, которые стали регулярными с конца 70-х гг. прошлого столетия.

Методика обработки спутниковых снимков включает в себя прием, обработку и дешифрацию изображений, построение детализированных карт ледовой обстановки, оцифровку данных и их накопление в формате SIGRID-3. Использование пакета программ ArcGis и Python позволило сформировать и обработать данные по

возрастному составу дрейфующего и припайного льдов за каждую декаду месяца с осени 1997 г. и по настоящее время [9].

Сформированный электронный архив данных дает возможность рассчитывать площадь и количество дрейфующего и припайного льда различного возраста, проводить сравнительный анализ их сезонных и межгодовых изменений. Благодаря этому архиву впервые появилась возможность оценить возрастной состав льдов в юго-западной части Чукотского моря в осенне-зимний период.

В настоящее время нет надежных методов, позволяющих достаточно точно оценить толщину ледяного покрова с помощью дистанционных авиационных и спутниковых средств наблюдений, хотя исследования и разработки в этом направлении ведутся давно [10, 11].

В связи со сложностью определения толщины льда по спутниковым данным с большой точностью в настоящее время используют интервальные оценки толщины. Согласно «Международной номенклатуре по морскому льду» и «Атласу ледяных образований», возрастной состав связан со следующими градациями толщины [12, 13]:

- начальные виды льда (нилас, склянка) — до 10 см;
- молодые льды (серый, серо-белый) — 10–30 см;
- однолетний тонкий лед (тонкий) — 30–70 см;

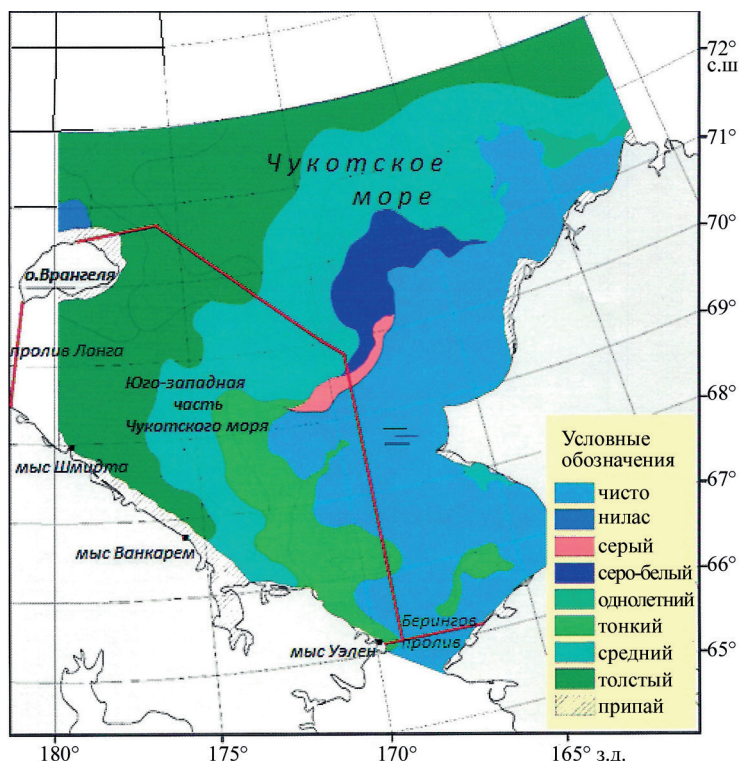


Рис. 1. Среднее положение границ дрейфующего льда и припая в юго-западной части Чукотского моря в период его максимального нарастания в мае

Fig. 1. The average position of drift ice and of fast ice boundaries in the southwestern part of the Chukchi Sea during its maximum increase in May

- однолетний средний лед (средний) — 70–120 см;
- однолетний толстый лед (толстый) — более 120 см;
- старый лед (двухлетний, многолетний) — более 200 см.

В осенне-зимний период года ледяной покров юго-западной части Чукотского моря представлен дрейфующими льдами различного возраста (90 %), припаем (4,5 %) и заприпайными польнями (5,5 %). Средняя толщина ровных дрейфующих льдов в море на период максимального нарастания, по данным полярных станций, может достигать 100–140 см. На рис. 1 приведены границы юго-западной части моря, близкие к типовым положения припая и всех основных ледовых зон на период максимального развития (конец мая).

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВОЗРАСТНОГО СОСТАВА ДРЕЙФУЮЩИХ И ПРИПАЙНЫХ ЛЬДОВ

Дрейфующие льды

Сроки начала ледообразования в юго-западной части Чукотского моря в среднем приходятся на первую декаду октября. Однако в разных районах моря ледообразование происходит в различные сроки: к северу от о. Врангеля — 10 октября, вдоль чукотского побережья — 20 октября, в районе Берингова пролива — 25 ноября [2].

Изменчивость сроков ледообразования и неравномерность нарастания льда в зимний период, постоянное перераспределение льдов в результате дрейфа приводят к формированию в море ледяного покрова различного возрастного состава. В развитии ледяного покрова наблюдается хорошо выраженный сезонный ход (рис. 2).

После начала ледообразования и до середины декабря в юго-западной части моря наблюдаются преимущественно молодые (серые и серо-белые) льды.

Однолетние тонкие льды появляются в третьей декаде октября. В течение ноября и декабря их количество быстро увеличивается. Они начинают преобладать с первой декады января. Во второй декаде января они достигают максимума и могут составлять до 50 % от общего состава льдов. Оставшиеся 50 % составляют молодые льды, количество которых быстро сокращается в связи с переходом в градацию однолетних тонких.



Рис. 2. Межсезонный ход изменений возрастного состава дрейфующих льдов в период нарастания ледяного покрова в юго-западной части Чукотского моря по данным за 1997–2022 гг., %
Fig. 2. Interseasonal course of changes in the age composition of drifting ice during the period of ice cover growth in the southwestern part of the Chukchi Sea according to data for 1997–2022, %

В первой декаде декабря в юго-западной части моря появляются однолетние средние льды. Их количество увеличивается в течение декабря–января, и они начинают преобладать с первой декады февраля. В течение марта и апреля они являются преобладающим видом в юго-западной части моря. Максимальное количество средних льдов наблюдается в третьей декаде марта, когда они составляют до 49 % от общего состава льдов. Оставшийся 51 % ледяного покрова практически в равных долях составляют молодые, тонкие и толстые льды.

Во второй декаде января появляются однолетние толстые льды. Переход средних льдов в толстые начинается в северной части моря и постепенно распространяется на прибрежную часть. Количество толстых льдов медленно увеличивается в течение января–марта и более интенсивно в апреле. Начиная с третьей декады апреля толстые льды начинают преобладать в возрастном составе. Их количество достигает максимума в мае, когда они составляют до 40 % от общего состава льдов (рис. 2).

На период максимального нарастания толщины льдов, который приходится на середину мая, ледяной покров в юго-западной части Чукотского моря в среднем состоит из толстых (около 40 %), средних (около 31 %), тонких (около 7 %) и молодых льдов (около 10 %). На северной границе моря в течение всего сезона может наблюдаться до 2–3 % старых льдов.

Сезонное изменение количества льдов представляет собой повторяющийся волнообразный процесс. Льды младших возрастных градаций достигают своего максимального количества и затем начинают уменьшаться, переходя в старшие возрастные группы.

Анализ сезонного изменения количества льдов различного возраста позволяет определить средние даты перехода от одного типа ледовых условий к другому — более сложному. По принятому в ААНИИ критерию переход от легкого типа к среднему происходит при появлении на акватории моря от 30 % и более средних льдов. Переход от среднего типа к тяжелому происходит при появлении на акватории от 30 % и более толстых льдов [5]. В соответствии с этими критериями можно установить средние даты наступления различного типа ледовых условий в юго-западной части Чукотского моря:

- от типа чистой воды к легкому (вторая декада октября);
- от легкого к среднему (первая декада февраля);
- от среднего к тяжелому (вторая декада апреля).

Припайные льды

Становление припая в прибрежной части Чукотского моря в среднем начинается во второй декаде октября. Припай наблюдается вдоль всего чукотского побережья и достигает своего максимального развития в мае (рис. 1).

В течение октября и ноября припай состоит из молодых и однолетних тонких льдов. Начиная с третьей декады ноября лед в припае начинает постепенно переходить в градацию средних. В первой декаде января средний лед становится преобладающим (в дрейфующих льдах это происходит в первой декаде февраля), а во второй декаде появляются толстые льды. Их количество постепенно увеличивается за счет перехода средних льдов в градацию толстых. Толстые льды в припае начинают преобладать с первой декады марта (в дрейфующих льдах это происходит в третьей декаде апреля). В течение апреля–мая припай практически целиком состоит из однолетних толстых льдов (рис. 3).

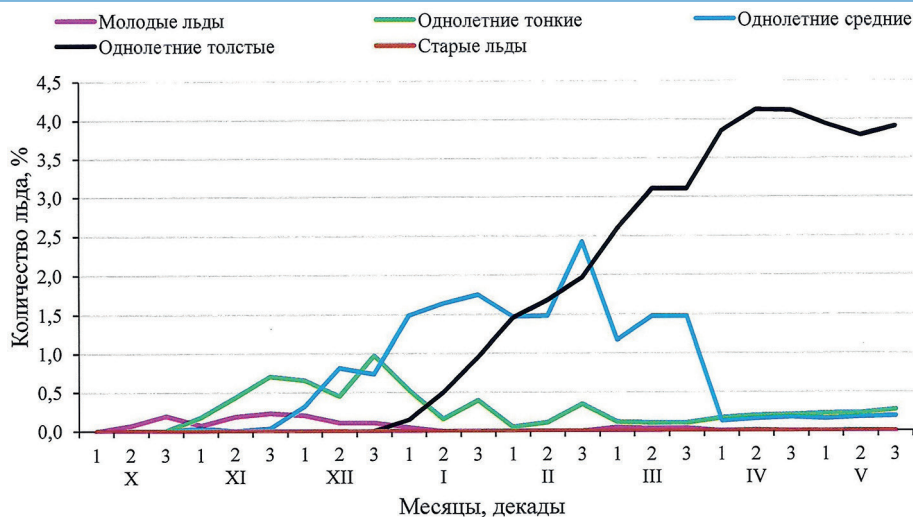


Рис. 3. Сезонный ход изменения припайных льдов в период нарастания ледяного покрова в юго-западной части Чукотского моря по данным за 1997–2022 гг., %

Fig. 3. Seasonal change in fast ice during the period of ice cover growth in the southwestern part of the Chukchi Sea according to data for 1997–2022, %

Наибольшее развитие припая, как по толщине, так и по ширине, наблюдается в первой половине мая. Его средняя ширина вдоль чукотского побережья изменяется от 10 до 30 км, площадь припая составляет около 4,5 % от площади юго-западной части моря (в годы максимального развития — 14 %, минимального — 2 %).

Сравнение сроков перехода льдов в разные возрастные градации и сроков достижения максимумов показывает, что толщина припая нарастает быстрее по сравнению с дрейфующими льдами на 3–4 декады. Данные выводы являются важным прогностическим признаком.

СОСТАВ ДРЕЙФУЮЩИХ ЛЬДОВ НА ПЕРИОД МАКСИМАЛЬНОГО НАРАСТАНИЯ

Наращение толщины ледяного покрова и изменение его возрастного состава происходит до середины мая. Во второй декаде мая ледяной покров в юго-западной части Чукотского моря достигает своего максимального развития. С третьей декады мая начинаются процессы таяния и разрушения льдов.

Припай в период максимального нарастания, по данным полярных станций, состоит из толстых льдов, в отличие от дрейфующих льдов, которые имеют в своем составе лед различного возраста и представляют наибольший интерес для изучения.

На рис. 4 приведено среднее, минимальное и максимальное количество льдов различного возраста в период его максимального нарастания с 1998 по 2022 г.

В середине мая ледяной покров в юго-западной части Чукотского моря состоит преимущественно из однолетних средних и толстых льдов. Их общее количество составляет 71 % от всего состава льдов. Из них толстые составляют 40 %, средние — 31 %, молодые и тонкие льды — около 10 % и 7 % соответственно. На северной границе района может наблюдаться до 2–3 % старых льдов. Площадь припая, заприпайных полыней и зон, свободных ото льда, составляет 10 %.

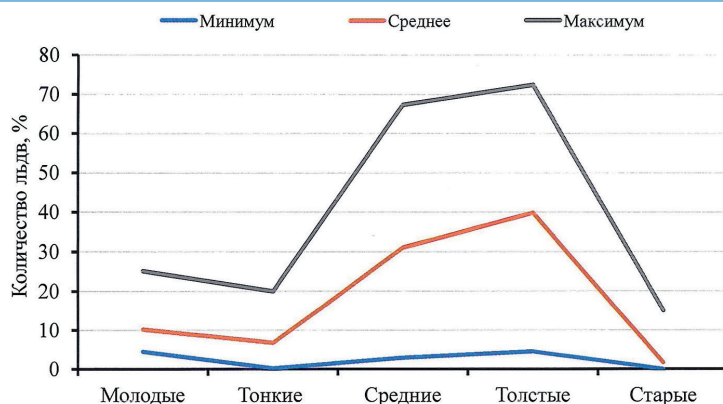


Рис. 4. Количественный состав льдов разного возраста в конце периода нарастания (первая половина мая), %

Fig. 4. Quantitative composition of ice of different ages at the end of the growth period (first half of May), %

В разные годы, в зависимости от условий формирования и интенсивности перераспределения в результате дрейфа, количество льдов различного возраста может существенно отличаться от среднемноголетних значений. Наименьшая межгодовая амплитуда колебаний порядка 15–20 % наблюдается в количестве молодых, тонких и старых льдов. Наибольшая амплитуда колебаний (64–67 %) — в средних и толстых льдах.

В холодные годы, когда происходит интенсивное нарастание толщины, в юго-западной части Чукотского моря преобладают толстые льды, а в теплые годы при минимальном нарастании толщины — преобладают средние. Максимальное количество наиболее мощных толстых льдов при их интенсивном накоплении может достигать 72 %. Если условия формирования ледяного покрова более мягкие, то в конце периода нарастания наблюдаются средние льды, количество которых может достигать 67 %.

МЕЖГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВОЗРАСТНОГО СОСТАВА ДРЕЙФУЮЩИХ ЛЬДОВ

Климатические изменения, происходящие в Арктике, оказывают существенное влияние на формирование возрастного состава льдов в юго-западной части Чукотского моря. Для изучения межгодовых изменений количества льдов разного возраста в осенне-зимний период с 1998 по 2022 г. (25 лет) был проведен анализ изменчивости линейных трендов. Оценка статистической значимости выделенных линейных трендов с использованием t-критерия Стьюдента при уровне значимости 99 % показала, что все выделенные тренды значимы, но на пределе статистического критерия. Более надежные оценки межгодовой изменчивости могут быть получены при увеличении рядов наблюдений.

Вместе с тем анализ наблюдаемых трендов показывает, что за рассматриваемый период в юго-западной части Чукотского моря произошли существенные изменения в возрастном составе льдов (рис. 5).

Из наиболее значимых изменений можно отметить:

- увеличение молодых льдов на 7–8 %;



Рис. 5. Межгодовой ход возрастного состава дрейфующих льдов в период наибольшего нарастания ледяного покрова (пунктиром даны линейные тренды), %

Fig. 5. Interannual course of the age composition of drifting ice during the period of the greatest increase in ice cover (dotted line shows linear trends), %

- уменьшение тонких льдов на 4–5 %;
- значительное увеличение средних льдов на 17–18 %;
- уменьшение толстых льдов на 17–18 %;
- практически полное исчезновение старых льдов начиная с 2004 г.

Таким образом, можно отметить, что за ряд наблюдений произошло значительное уменьшение количества старых и однолетних толстых льдов и увеличение более тонких средних и молодых. То есть за последние 25 лет происходило постепенное замещение старых и однолетних толстых льдов средними и молодыми.

Отмеченная ранее рядом авторов динамика [14–16] хорошо согласуется с общей тенденцией уменьшения старых льдов на акватории Северного Ледовитого океана и замещения их однолетними, которая начала прослеживаться с начала 2000-х гг. Граница старых льдов поднялась на север и вышла за пределы границ российских арктических морей. Это привело к тому, что на акватории ряда арктических морей, в том числе и юго-западной части Чукотского, они практически перестали наблюдаться.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сформированный электронный архив по возрастному составу льдов в юго-западной части Чукотского моря за период с 1998 по 2022 г. позволил провести полноценный анализ сезонной и межгодовой изменчивости возраста льдов. Анализ сезонной и межгодовой изменчивости возрастного состава льдов позволил установить несколько важных закономерностей:

1. Изменение возрастного состава льдов в течение осенне-зимнего периода носит волнообразный характер, при котором льды каждой возрастной градации в определенный период становятся преобладающими, достигают своего максимума и начинают переходить в более старшую возрастную градацию.

2. Для дрейфующих льдов характерно: преобладание молодых льдов в течение осеннего периода, тонких — с начала января, средних — в первой декаде февраля, толстых — с конца апреля.

3. В припайных льдах сроки перехода в старшие возрастные градации наступают на 3–4 декады раньше, чем в дрейфующих.

4. В конце периода нарастания, который приходится на вторую декаду мая, в дрейфующих льдах преобладают однолетние толстые и средние льды, а в припае — толстые.

5. При анализе изменения возрастного состава за 25-летний период обращает на себя внимание тенденция к сокращению количества старых и толстых льдов. Одновременно с этим прослеживается устойчивая тенденция увеличения количества средних и молодых льдов. Наблюдается постепенное замещение старых и однолетних толстых льдов более тонкими средними и молодыми.

Конфликт интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Финансирование. Работа выполнена в рамках НИТР Росгидромета, тема 5.1.2.

Competing interests. The authors has no competing interests.

Funding. This work was funded by the project 5.1.2 NITR Roshydromet

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Егоров А.Г., Павлова Е.А. Изменение сроков устойчивого ледообразования в восточных арктических морях России в начале XXI в. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2019. Т. 65 (4). С. 389–404. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2019-65-4-389-404>.
3. Думанская И.О. Ледовые условия морей азиатской части России. М.: Изд-во ИГ-СОЦИН, 2017. 640 с.
4. Егоров А.Г. Изменение возрастного состава и толщины зимнего ледяного покрова арктических морей России в начале XXI в. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2020. Т. 66 (2). С. 124–143. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-2-124-143>.
5. Карклин В.П., Хотченков С.В., Юлин А.В. Метод долгосрочного прогноза типа ледовых условий в зимний период для районов Карского моря // Информационный сборник ГМЦ. 2017. № 44. С. 113–125.
6. Егорова Е.С., Миронов Е.У. Возрастной состав ледяного покрова Баренцева моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2022. Т. 68(3). С. 216–233. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2022-68-3-216-233>.
7. Моря Российской Арктики в современных климатических условиях. СПб.: ААНИИ, 2021. 360 с.
8. Афанасьева Е.В., Алексеева Т.А., Соколова Ю.В., Демчев Д.М., Чуфарова М.С., Быченков Ю.Д., Девятаев О.С. Методика составления ледовых карт ААНИИ // Российская Арктика. 2019. Т. 7. С. 5–20.
9. SIGRID-3: A VECTOR ARCHIVE FORMAT FOR SEA ICE CHARTS FILES. WMO No.716. Paris, 1989: 24 p. URL: <https://library.wmo.int/viewer/37171/?offset=#page=1&viewer=picture&=&n=0&q=> (дата обращения: 01.09.2023).
10. Смирнов В.Г., Бушуев А.В., Бычкова И.А., Захваткина Н.Ю., Лоцилов В.С. Спутниковый мониторинг морских льдов // Проблемы Арктики и Антарктики. 2019. Т. 65. № 2. С. 62–76.
11. Спутниковые методы определения характеристик ледяного покрова морей: Практическое пособие / Под ред. В.Г. Смирнова. СПб.: Изд-во ААНИИ, 2011. 240 с.
12. Атлас ледяных образований / Под ред. В.М. Смоляницкого. СПб.: ААНИИ, 2018. 229 с.

13. WMO SEA-ICE NOMENCLATURE • WMO/OMM/BMO -VOL. 2. No.259. 2014: 146 p. URL: http://wdc.aari.ru/wmo/docs/nomenclature/Sea_Ice_Nomenclature_2014_vol1.pdf (дата обращения: 01.09.2023).

14. Kwok R., Cunningham G. F., Wensnahan M., Rigor I., Zwally H. J., Yi D. Thinning and volume loss of the Arctic Ocean sea ice cover: 2003–2008 // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2009. V. 114 (C7). <https://doi.org/10.1029/2009JC005312>

15. Алексеев Г.В., Александров Е.И., Глок Н.И., Иванов Н.Е., Харланенкова Н.Е., Юлин А.В. Эволюция площади морского ледяного покрова Арктики в условиях современных изменений климата // *Исследование Земли из космоса*. 2015. № 2. С. 5–19.

16. Виноградная Е.С., Егорова Е.С., Шевелева Т.В., Юлин А.В. Изменчивость положения границ старых льдов в весенний период и остаточных льдов в осенний период в Северном Ледовитом океане в текущем климатическом периоде // *Российская Арктика*. 2020. № 2 (9). С. 41–55. doi: 10.24411/2658-4255-2020-12094.

REFERENCES

1. Mironov E.U., Klyachkin S.V., Makarov E.I., Yulin A.V., Afanas'eva E.V. Features of ice processes in the autumn period of 2021 in the seas of the Russian Arctic and assessing the validity of ice forecasts. *Rossiyskaya Arktika*. Russian Arctic. 2021, 15: 40–53. doi: 10.24412/2658-4255-2021-4-40-53. [In Russian].
2. Egorov A.G., Pavlova E.A. Change in the time of stable ice formation in the Russian Eastern Arctic seas at the beginning of 21st century. *Problemy Arktiki i Anarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2019, 65 (4): 389–404. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2019-65-4-389-404>. [In Russian].
3. Dumanskaya I.O. *Ledovyy rezhim morey aziatskoy chasti Rossii*. Ice conditions of the seas of the Asian part of Russia. Moscow: Izd-vo IG-SOTSIN, 2017: 640 p. [In Russian].
4. Egorov A.G. The Russian Arctic seas ice age composition and thickness variation in winter periods at the beginning of the 21st century. *Problemy Arktiki i Anarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2020, 66 (2): 124–143. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-2-124-143>. [In Russian].
5. Karklin V.P., Khotchenkov S.V., Yulin A.V. Method for long-term forecasting of the type of ice conditions in the winter period for the regions of the Kara Sea. *Informatsionnyi sbornik GMTs*. Information collection GMTs. 2017, 44: 113–125. [In Russian].
6. Egorova E.S., Mironov Y.U. Ice age composition in the Barents sea. *Problemy Arktiki i Anarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2022, 68(3): 216–233. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2022-68-3-216-233>. [In Russian].
7. *Morya Rossiyskoy Arktiki v sovremennykh klimaticheskikh usloviyakh*. Seas of the Russian Arctic in modern climatic conditions. St. Petersburg: AARI, 2021: 360 p. [In Russian].
8. Afanas'eva E.V., Alekseeva T.A., Sokolova Yu.V., Demchev D.M., Chufarova M.S., Bychenkov Yu.D., Devyataev O.S. AARI methodology for sea ice charts composition. *Rossiyskaya Arktika*. Russian Arctic. 2019, 7: 5–20. [In Russian].
9. SIGRID-3_a vector archive format for sea ice charts_files. WMO No.716. Paris, 1989: 24 p. Available at: <https://library.wmo.int/viewer/37171/?offset=#page=1&viewer=picture&o=&n=0&q=> (accessed 01.09.2023).
10. Smirnov V.G., Bushuev A.V., Bychkova I.A., Zahvatkina N.Yu., Loshchilov V.S. Satellite monitoring of the sea ice. *Problemy Arktiki i Anarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2019, 85: 62–76. [In Russian].
11. *Sputnikovye metody opredeleniya harakteristik ledyanogo pokrova morej*. Satellite methods for determining the ice sea cover characteristics. St. Petersburg: AARI, 2011: 240 p. [In Russian].
12. Smolyanitsky V.M. Ed. *Atlas ledyanikh obrazovaniy*. Atlas of ice formations. St. Petersburg: AARI Publishing House, 2018: 229 p. [In Russian].

13. WMO SEA-ICE NOMENCLATURE • WMO/OMM/BMO -VOL. 2. No.259. 2014: 146 p. Available at: http://wdc.aari.ru/wmo/docs/nomenclature/Sea_Ice_Nomenclature_2014_vol1.pdf (accessed 01.09.2023).
14. Kwok R., Cunningham G.F., Wensnahan M., Rigor I., Zwally H.J., Yi D. Thinning and volume loss of the Arctic Ocean sea ice cover: 2003–2008. *Journal of Geophysical Research*. 2009, 114: C07005.
15. Alekseev G.V., Aleksandrov E.I., Glok N.I., Ivanov N.E., Harlanenkova N.E., Yulin A.V. Arctic Sea ice cover in connection with climate change. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*. Earth exploration from space. 2015, 2: 5–19. [In Russian].
16. Vinogradnaya Ye.S., Yegorova Ye.S., Sheveleva T.V., Yulin A.V. Variability of the spring old ice and fall residual ice boundary in the Arctic Ocean over the current period of climate changes. *Rossiyskaya Arctica*. Russian Arctic. 2020, 2 (9): 41–55. [In Russian].