

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЙСБЕРГОВ ПО ДАННЫМ СУДОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В КАРСКОМ МОРЕ В 2004-2019 ГГ.

Павлова Е.А.^{1,2}, Алексеева Т.А.^{1,2}, Миронов Е.У.¹, Смоляницкий В.М.^{1,2}

¹ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия,

² Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН.

✉ pavlova@aari.ru; taa@aari.ru; mir@aari.ru; vms@aari.aq

В статье представлен анализ данных судовых наблюдений о расположении и характеристиках айсбергов, полученных в экспедициях на акватории Карского моря с 2004 по 2019 гг. Показаны распределения повторяемости форм и размеров айсбергов и представлено их сравнение со средними многолетними данными. Рассчитана пространственная плотность распространения айсбергов для районов архипелагов Земля Франца-Иосифа и Северная Земля для ледового режима Арктики последних десятилетий. Выделены отдельные айсберги, наблюдаемые вблизи среднемноголетней южной границы распространения айсбергов, в области, где вероятность встречи с айсбергами менее 1 %.

Ключевые слова: айсберг, Арктика, судовые наблюдения, Карское море, климатические изменения.

SPECIFIC FEATURES OF ICEBERG DISTRIBUTION ACCORDING TO SHIPBORNE OBSERVATIONS IN THE KARA SEA IN 2004-2019

Pavlova E.A.^{1,2}, Alekseeva T.A.^{1,2}, Mironov E.Y.¹, Smolyanitsky V.M.^{1,2}

¹ ARCTIC AND ANTARCTIC RESEARCH INSTITUTE, SAINT-PETERSBURG,

² OBUKHOV INSTITUTE OF ATMOSPHERIC PHYSICS OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES, MOSCOW

The analysis of ship observations on the location and characteristics of icebergs according to shipborne observations in the Kara Sea from 2004 to 2019 is presented. Distribution of the frequency of occurrence of particular shapes and sizes of icebergs are shown and comparison with the climatic long-term data is presented. Frequencies of iceberg occurrence were estimated for the areas of the Franz Josef Land and Severnaya Zemlya archipelagoes for the ice regime of the Arctic of the last decades. Isolated icebergs observed near the long-term mean southern boundary of icebergs' propagation distribution, have been identified for the area where the probability of iceberg occurrence is less than 1%.

Keywords: iceberg, Arctic, ship observations, Kara Sea, climate changes.

Статья получена: 07.09.2020

Принята к публикации: 11.09.2020

Опубликована онлайн: 15.09.2020

Введение

Формирование и распространение айсбергов в морях Северного Ледовитого океана (СЛО) является одним из наиболее опасных факторов, влияющих на судоходство и стационарные инженерные сооружения. В районе судоходных трасс Карского моря встречаются айсберги,

откалывающиеся, главным образом, от ледников архипелагов Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, Новая Земля (о. Северный), Северная Земля и некоторых отдельно располагающихся островов [1, 2]. В Карском море айсберги обычно наблюдаются к северу от 74° с.ш., но в некоторые годы – могут встречаться и

существенно южнее. Происходящие в последние десятилетия климатические изменения приводят к деградации ледяного покрова Арктики и, соответственно, все более легким ледовым условиям плавания. В среднем, по данным ледовых карт ААНИИ [3] в арктических морях России увеличилось количество ниласовых, молодых и тонких однолетних льдов, уменьшилась площадь средних и толстых однолетних льдов, площадь двухлетних и многолетних льдов сократилась примерно в 10 раз. За последние два десятилетия наблюдается устойчивое сокращение площади старых льдов и смещение их южной границы на север [4]. Сместились сроки ледообразования и летнего таяния льдов, таким образом, увеличив продолжительность безледного периода на трассах Северного морского пути (СМП).

Ледники арктических архипелагов очень чувствительны к изменениям климата [5, 6], повышение температуры воздуха приводит к ускорению их деградации [7]. По данным различных исследований сокращается площадь и объем арктических ледников, изменяется их температурный режим. Одновременно увеличились скорости движения льда на их языках при общем отступании краев ледников, что приводит к более интенсивному продуцированию айсбергов [8]. Например, крупнейшая ледниковая подвижка из когда-либо наблюдавшихся в Российской Арктике, развивалась в последние десятилетия в западной части ледникового купола Вавилова на Северной Земле и достигла кульминации в 2016 г., когда скорость движения ледника увеличились до 9,2 км/год [9].

Таким образом, несколько факторов одновременно влияют на изменчивость распространения айсбергов в арктических морях: изменение атмосферной циркуляции, сокращение ледяного покрова, деградация ледников и ускорение айсбергообразования. Совокупность этих факторов приводит к тому, что в летний период на судоходных трассах все чаще встречаются отдельно плавающие куски и обломки айсбергов. А это представляет серьезную опасность для судов, так как небольшие куски и обломки айсбергов,

в отличие от айсбергов больших размеров, сложно либо вовсе невозможно идентифицировать ни на спутниковых снимках, ни на судовых радарх.

Изучение распределения и размеров айсбергов проводится по спутниковым данным, с помощью аэрофотосъемки, радиолокационной съемки, визуальных наблюдений, наблюдений с помощью ледового радара и геодезических приборов, гидролокационной и технической подводной съемки, путем установления на айсберги автономных буев и с помощью прямых контактных измерений [10, 11]. В Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте (ААНИИ) с 1928 года накапливаются данные наблюдений за айсбергами. Опубликован ряд работ, в которых приводятся результаты обработки собранных данных экспедиций за различные периоды: наиболее масштабная работа была выполнена В.А. Абрамовым по созданию «Атласа арктических айсбергов» [12], результаты обобщения данных авиационных ледовых разведок за период 1933-1990 гг., собранных В.А. Абрамовым приведены в работах [13, 14]. База данных по айсбергам затем пополнялась в работе Бузина И.В. [2], в которой проведен анализ архивных данных и современных данных экспедиций 1992, 2003-2007 гг. в Баренцевом море. В настоящей работе представлены современные данные о распределении айсбергов, обнаруженных во время экспедиций ААНИИ на основе судовых визуальных наблюдений в районе арх. Земля Франца-Иосифа и Карском морях (районы арх. Новая Земля и Северная Земля) до 2019 гг.

Материалы и методы

В работе использовались данные судовых наблюдений о расположении и характеристиках айсбергов, накопленных в различных экспедиционных работах ААНИИ с 2004 по 2019 годы. Данные были собраны с бортов атомных и дизельных ледоколов, а также научно-исследовательских судов ледового класса. Массив данных содержит информацию о дате и месте обнаружения айсберга (высота над уровнем моря более 5 м), обломка (высота над уровнем моря

1 – 5 м и площадь 100-300 м²) или куска айсберга (высота над уровнем моря менее 1 м), его характеристиках, размерах, а также метеорологической и ледовой обстановке в районе обнаружения. Здесь и далее характеристика размеров, форм и сплоченности айсбергов приводится в соответствии с «Номенклатурой по морскому льду» Всемирной метеорологической организации (ВМО). [15]

Массив данных айсбергов содержит информацию с середины апреля по конец октября, включая периоды максимального и минимального развития ледяного покрова. На рисунке 1 представлен район исследований, который включает

в себя акваторию Карского моря и район арх. Земля Франца-Иосифа Баренцева моря. Кроме того, показано положение айсбергов, содержащихся в массиве данных и участки акватории, на которых производились экспедиционные наблюдения.

Информация об айсбергах распределена в течение года неравномерно, так как большинство экспедиционных работ в Арктике выполняется в периоды наиболее лёгкой ледовой обстановки. На рисунке 2 показана повторяемость экспедиционных работ по месяцам и приведено количество айсбергов, зафиксированных в ходе этих экспедиционных работ.

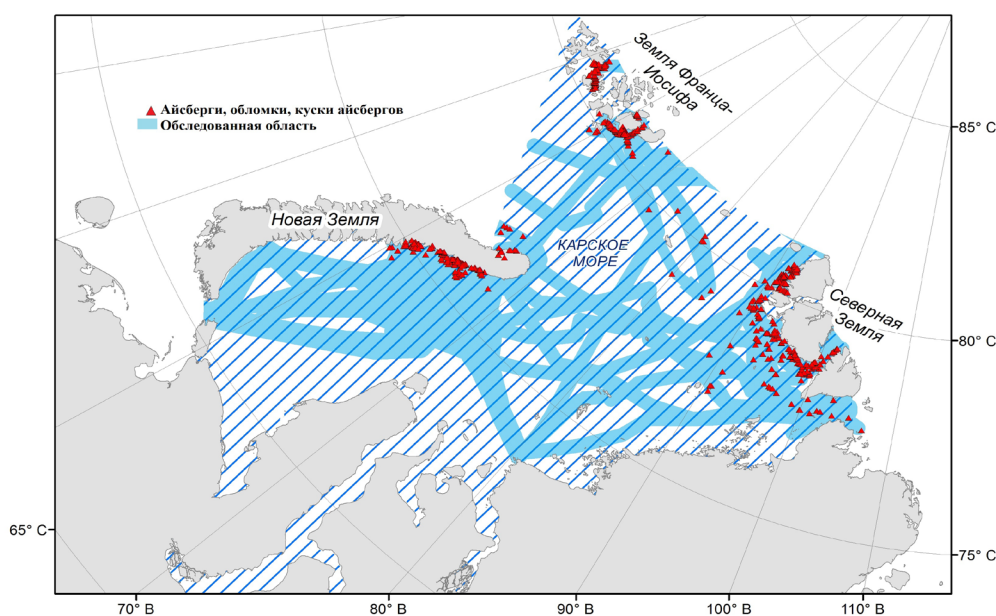


Рисунок 1 – Район исследований, в пределах которого проводились наблюдения за айсбергами.

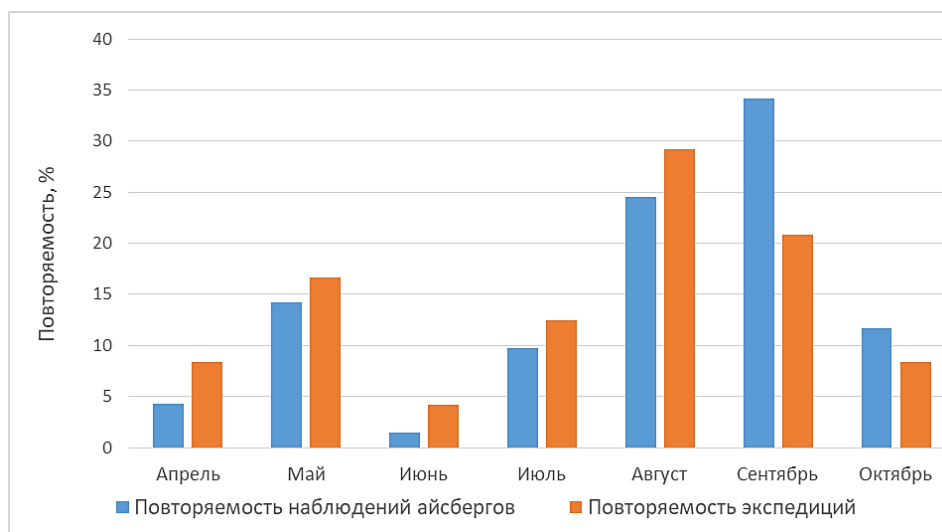


Рисунок 2 – Повторяемость экспедиций и наблюдений за айсбергами.

На рисунке 2 видно, что количество зафиксированных айсбергов до августа месяца изменяется пропорционально объёму наблюдений, однако в сентябре повторяемость наблюдений айсбергов достигает максимальных значений в силу естественных природных факторов — летнего периода разрушения ледников архипелагов Земля Франца-Иосифа, Новая Земля и Северная Земля. Несмотря на то, что количество зафиксированных айсбергов зависит не только от периода экспедиционных работ, но и от места прохождения судна, данный график всё же отражает общую тенденцию.

Результаты

В монографии [16] приведено распределение повторяемости форм айсбергов в Баренцевом и Карском морях за период с 1928 по 1991 годы. В данной работе рассмотрено преимущественно Карское море, однако искажения общей картины, связанные с вкладом айсбергов архипелагов Шпицберген и ЗФИ представляются нам значительно меньшими, чем намеченные тенденции в изменении размеров и типов айсбергов и объектов в последние годы.

Результаты по данным последних лет существенно отличаются от среднестатистических. Если количество кусков айсбергов и пирамидальных айсбергов форм различаются в пределах 1 %, то количество наклонных и разрушающихся – окатанных и докообразных айсбергов

(за последние годы 11 и 6,5 % соответственно) в исторических данных было незначительным и входило в градацию «Прочие». Несмотря на большое количество айсбергов, форма которых была не определена, можно сделать вывод о меньшем количестве обломков айсбергов, что с одной стороны может характеризовать различие режима Баренцева и Карского морей, а с другой — климатические изменения, происходящие в последние 30 лет. На рисунке 3 показано распределение повторяемости форм айсбергов в Баренцевом и Карском морях (1928 — 1991 гг.) и в рассматриваемом районе (2004 — 2019 гг.).

Ранее, в работе [17] нами был предложен метод оценки пространственной плотности распространения айсбергов по судовым наблюдениям. Суть метода заключается в том, что количество наблюдаемых айсбергов (кусков/обломков) приводится к площади проведённых наблюдений. За площадь проведённых наблюдений взята наблюдаемая акватория при движении судна — область вокруг пути следования судна, величина, которой зависит от метеорологической дальности видимости (в случае отсутствия данных использовано значение максимальной дальности видимости — 10 морских миль). В работе [17] было рассчитано количество айсбергов на 10 000 км² для юго-западной и северо-восточной части Карского моря. В данной работе эта характеристика рассчитана для районов архипелагов Земля Франца-Иосифа и Северная Земля.

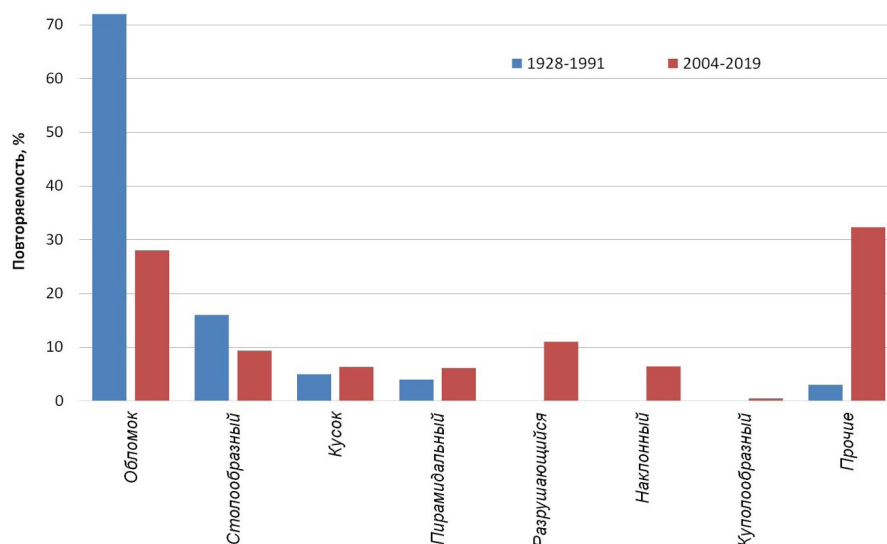


Рисунок 3 – Распределение повторяемости форм и размеров айсбергов в Баренцевом и Карском морях (1928 — 1991 гг.) и в рассматриваемом районе (2004 — 2019 гг.).

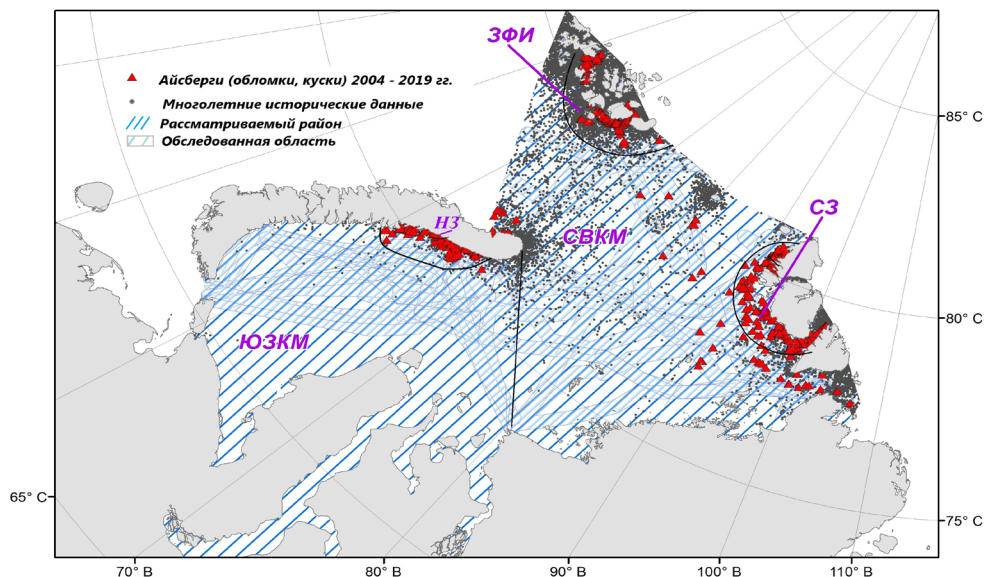


Рисунок 4 – Области, в пределах которых производились расчёты частоты встречи с айсбергами.

На рисунке 4 показаны области, в пределах которых производились расчёты, а в таблице 1 приведены результаты для сентября, так как это период наибольшего количества данных в районах рассматриваемых архипелагов.

В таблице 1 показано, что, несмотря на то, что наибольшее количество айсбергов было зафиксировано в районе архипелага Северная Земля, пространственная плотность распространения айсбергов в этом районе и в районе архипелага Новая Земля со стороны Карского моря значительно меньше, чем в районе архипелага Земля Франца-Иосифа. Данная характеристика зависит от конфигурации выделенного района, однако, позволяет качественно оценить пространственную плотность распространения айсбергов. Из таблицы 1 также следует, что все четыре указанных района характеризуются как акватории со сплоченными айсбергами с

соответствующими рекомендациями для судоходства [15].

На рисунке 4 показаны многолетние данные о местоположении айсбергов, собранные в ходе различных экспедиций и авиаразведок. На рисунке видно, что даже в климатический период, когда сдерживающим фактором для дрейфа айсбергов была более тяжёлая ледовая обстановка, отдельные айсберги наблюдались в центральной части Карского моря, и доходили до 75 ° с.ш. При современной климатической обстановке основными сдерживающими факторами для дрейфа айсбергов от района их образования являются ветровые и термические факторы, способствующие их более быстрому разрушению.

В Карском море за последние 15 лет экстремальные случаи распространения отдельных айсбергов в южную часть наблюдались в 2006, 2008 и 2014 годах.

Таблица 1

Количество айсбергов/10 000 км² в сентябре по данным экспедиций 2004 – 2019 гг.

Район	Количество айсбергов/10 000 км ²
Карское море, юго-западная часть, включая район архипелага Новая Земля (ЮЗКМ)	20
Карское море, северо-восточная часть, включая районы архипелагов Земля Франца-Иосифа и Северная Земля (СЗКМ)	29
Район архипелага Земля Франца-Иосифа (ЗФИ)	100
Район архипелага Северная Земля (СЗ)	42
Район архипелага Новая Земля со стороны Карского моря (НЗ)	13,5

*Ввиду условности выбранных районов представленные расчёты носят качественный характер

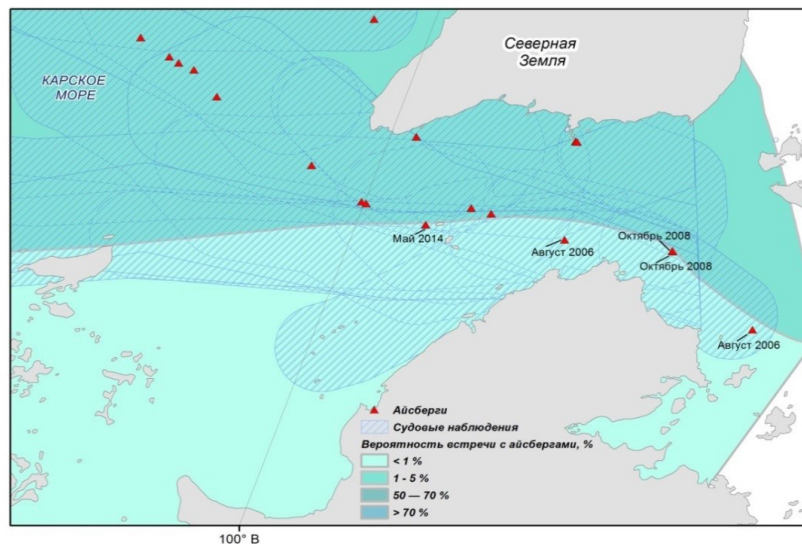


Рисунок 5 – Отдельные айсберги, наблюдаемые вблизи среднемноголетней южной границы распространения айсбергов.

На рисунке 5 показаны айсберги, наблюдаемые вблизи южной границы распространения айсбергов, в области, где по средним многолетним данным вероятность встречи с айсбергами менее 1% [18]

Заключение

Климатические изменения, происходящие в последние десятилетия, отражаются на процессе формирования и особенностях структуры и динамики айсбергов Арктики. Анализ данных о морфометрии и местоположении айсбергов, получен-

ные в ходе экспедиционных работ с 2004 по 2019 годы, показывают, что в последние годы увеличилось число разрушающихся айсбергов, и возросло количество отдельных айсбергов, наблюдаемых в районе среднемноголетней южной границы их распространения.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования грант №05.616.21.0109 (RFMEFI61619X0109).

Список литературы:

1. Ледники Арктики. / Корякин В. С. – М.: Наука, 1988. – 160 с.
2. Бузин И. В., Глазовский А. Ф., Гудошников Ю. П., Данилов А. И., Дмитриев Н. Е., Зубакин Г. К., Кубышкин Н. В., Наумов А. К., Нестеров А. В., Скутин А. А., Скутина Е. А., Шибакин С. И. Айсберги и ледники Баренцева моря: исследования последних лет. Часть 1. Основные продуцирующие ледники, распространение и морфометрические особенности айсбергов. // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2008. № 1 (78). – С. 66-80.
3. 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.
4. 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. – Т. 2 (9). – С. 41-55.
5. Hagen J. O., Melvold K., Pinglot F., Dowdeswell J. A. On the Net Mass Balance of the Glaciers and Ice Caps in Svalbard, Norwegian Arctic // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. – 2003. – Т. 35, № 2. – С. 264-270.
6. Grant K. L., Stokes C. R., Evans I. S. Identification and characteristics of surge-type glaciers on Novaya Zemlya, Russian Arctic // Journal of Glaciology. – 2009. – Т. 55, № 194. – С. 960-972.
7. Мавлюдов Б. Р., Саватюгин Л. М., Соловьянова И. Ю. Реакция ледников Земли Норденшельда (арх. Шпицберген) на изменение климата // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2012. № 1 (91). – С. 67-77.
8. Strozzi T., Paul F., Wiesmann A., Schellenberger T., Käab A. Circum-Arctic Changes in the Flow of Glaciers and Ice Caps from Satellite SAR Data between the 1990s and 2017 // Remote Sensing. – 2017. – Т. 9, № 9.
9. Бушуева И. С., Глазовский А. Ф., Носенко Г. А. Развитие подвижки в западной части ледникового купола Вавилова на Северной Земле в 1963-2017 гг. // Лед и снег. – 2018. – Т. 58, № 3. – С. 293-306.
10. Наумов А. К., Скутина Е. А. Методики оценки параметров ледяных образований // Пробле-

- мы Арктики и Антарктики. – 2019. – Т. 65, № 1. – С. 77-91.
11. Бычкова И. А., Смирнов В. Г. Использование спутниковой информации для обнаружения айсбергов и оценки айсберговой угрозы // Лед и снег. – 2018. – Т. 58, № 3. – С. 537-551.
 12. Atlas of Arctic icebergs. / Abramov V.; Под ред. Company B. P., 1996. – 70 с.
 13. Abramov V. A. Russian iceberg observations in the Barents Sea, 1933–1990 // Polar Research. – 1992. – Т. 11, № 2. – С. 93-97.
 14. Абрамов В. А. Айсберги в Баренцевом море // Труды ААНИИ. – 1994. – Т. 432. – С. 194-201.
 15. Атлас ледяных образований (Часть II. Терминология. WMO/ОММ/ВМО. №259). – СПб.: ААНИИ, 2019, 2019.
 16. Айсберги Баренцева и Карского морей // Ледяные образования морей западной Арктики. Под ред. Зубакина Г. К. – СПб.: ААНИИ, 2006.
 17. Павлова Е. А., Миронов Е. У. Особенности распределения айсбергов по данным судовых и вертолетных наблюдений // Гидрометеорология и экология: научные достижения и перспективы развития. Труды II Всероссийской конференции. – Санкт-Петербург, 19-20 декабря 2018. – С. 507-510.
 18. Атлас гидрометеорологических и ледовых условий море российской Арктики: обобщение фондовых материалов и результаты экспедиционных исследований ООО "АНЦП" в 2012-2014 гг.; Под ред. Павлова В. А. и др.: Изд. Нефтяное хозяйство, М., 2015.

References:

1. Abramov V. A. Russian iceberg observations in the Barents Sea, 1933–1990 // Polar Research. – 1992. – V. 11, № 2. – P. 93-97.
2. Abramov V. A. Ajsbergi v Barencevom more [Icebergs in the Barents Sea] // Trudy AANII. – 1994. – V. 432. – P. 194-201.
3. Ajsbergi Barenceva i Karskogo morej [Icebergs of Barents and Kara Seas] // Ledyanye obrazovaniya morej zapadnoj Arktiki. Pod red. Zubakina G. K. – SPb.: AANII, 2006.
4. Atlas gidrometeorologicheskikh i ledovykh usloviy more rossijskoj Arktiki: obobshchenie fondovykh materialov i rezul'taty ekspeditsionnykh issledovaniy OOO "ANCP" v 2012-2014 gg.; Pavlov V. A. i dr.: Izd. Neftyanoe hozyajstvo, M., 2015.
5. Atlas of Arctic icebergs. / Abramov V.; Company B. P., 1996. – 70 p.
6. Atlas ledyanykh obrazovaniy [Atlas of ice formations] (CHast' II. Terminologiya. WMO/ОММ/ВМО. №259). – SPb.: AANII, 2019.
7. Bushueva I. S., Glazovskij A. F., Nosenko G. A. Razvitie podvzhki v zapadnoj chasti lednikovogo kupola Vavilova na Severnoj Zemle v 1963-2017 gg. [Surge development in the western sector of the Vavilov Ice Cap, Severnaya Zemlya, 1963–2017] // Led i sneg. – 2018. – V. 58, № 3. – P. 293-306.
8. Buzin I. V., Glazovskij A. F., Gudoshnikov YU. P., Danilov A. I., Dmitriev N. E., Zubakin G. K., Kubyshkin N. V., Naumov A. K., Nesterov A. V., Skutin A. A., Skutina E. A., SHibakin S. I. Ajsbergi i ledniki Barenceva morya: issledovaniya poslednih let. CHast' I. Osnovnye produciruyushchie ledniki, rasprostranenie i morfometricheskie osobennosti ajsbergov [Icebergs and glaciers of the Barents Sea: research of the last years]. // Problemy Arktiki i Antarktiki. – 2008. № 1 (78). – P. 66-80.
9. Bychkova I. A., Smirnov V. G. Ispol'zovanie sputnikovoj informacii dlya obnaruzheniya ajsbergov i ocenki ajsbergovoj ugrozy [Use of satellite data for detecting icebergs and evaluating the iceberg threats] // Led i sneg. – 2018. – V. 58, № 3. – P. 537-551.
10. Egorov A. G. Izmenenie vozrastnogo sostava i tolshchiny zimnego ledyanogo pokrova Arkticheskikh morej Rossii v nachale XXI v. [Change of age and thickness of winter ice cover in the Russian Arctic Seas in the beginning of XXI century] // Problemy Arktiki i Antarktiki.. – 2020. – V. 66, № 2. – P. 124-143.
11. Grant K. L., Stokes C. R., Evans I. S. Identification and characteristics of surge-type glaciers on Novaya Zemlya, Russian Arctic // Journal of Glaciology. – 2009. – V. 55, № 194. – P. 960-972.
12. Hagen J. O., Melvold K., Pinglot F., Dowdeswell J. A. On the Net Mass Balance of the Glaciers and Ice Caps in Svalbard, Norwegian Arctic // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. – 2003. – V. 35, № 2. – P. 264-270.
13. Ledniki Arktiki [Glaciers of the Arctic]. / Koryakin V. S. – M.: Nauka, 1988. – 160 p.
14. Mavlyudov B. R., Savatyugin L. M., Solov'yanova I. YU. Reakciya lednikov Zemli Nordenshel'da (arh. SHpicbergen) na izmenenie klimata [Response of glacierce of the Nordensheld Island (Svalbard) on the climate changes] // Problemy Arktiki i Antarktiki. – 2012. № 1 (91). – P. 67-77.
15. Naumov A. K., Skutina E. A. Metodiki ocenki parametrov ledyanykh obrazovaniy [Methods of parameters estimate of ice formations] // Problemy Arktiki i Antarktiki. – 2019. – V. 65, № 1. – P. 77-91.
16. Pavlova E. A., Mironov E. U. Osobennosti raspredeleniya ajsbergov po dannym sudovykh i vertoletnykh nablyudeniy [Peculiarities of distribution of icebergs by ship and helicopter data] // Gidrometeorologiya i ekologiya: nauchnye dostizheniya i perspektivy razvitiya. Trudy II Vserossijskoj konferencii. – Sankt-Peterburg, 19-20 December 2018. P. 507-510.
17. Strozzii T., Paul F., Wiesmann A., Schellenberger T., Kääh A. Circum-Arctic Changes in the Flow of Glaciers and Ice Caps from Satellite SAR Data between the 1990s and 2017 // Remote Sensing. – 2017. – V. 9, № 9.
18. Vinogradnyaya E. S., Egorova E. S., Sheveleva T. V., YUlin A. V. Izmenchivost' polozheniya granic starykh l'dov v vesennij period i ostatochnykh l'dov v osennij period v Severnom Ledovitom okeane v tekushchem klimaticheskom periode [Variability of location of old ice boundary in winter period and residual ice in autumn period in the Arctic in current climate period] // Rossijskaya Arktika. – 2020. – V. 2 (9). – P. 41-55.