УДК 556.535.5.06(282.257.5)

doi: 10.33933/2074-2762-2019-57-60-76

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЗНАЧЕНИЙ УЭПР РАЗНЫХ ТИПОВ ЛЬДА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СКАТТЕРОМЕТРА ASCAT

А.И. Костылев, Е.В. Заболотских, К.С. Хворостовский

Российский государственный гидрометеорологический университет, kostylev@rshu.ru

Статья посвящена способам и инструментам изучения изменения ледяного покрова в Арктике, представления и применения полученной информации. С целью повышения точности информации о состоянии ледяного покрова по спутниковым данным приводится статистический анализ значений удельной эффективной площади рассеяния (УЭПР) разных типов льда на основе сопоставления данных скаттерометра ASCAT с ледовыми картами Арктического и Антарктического научно-исследовательского института. Проведена оценка формы плотности распределения значений УЭПР для каждого типа льда и всего ледяного покрова Арктики. Значения УЭПР определяются шероховатостью поверхности, поэтому полученные формы плотности распределения УЭПР в действительности отражают диапазон изменчивости поверхностной структуры разных типов льда. Отмечено, что гистограммы разных типов льда имеют значительные зоны перекрытия. Определены пороговые значения между перекрывающимися диапазонами УЭПР. Установлено, что в течение зимнего сезона количество пороговых значений, а также их числовые значения изменяются. Результаты анализа полученных гистограмм могут быть использованы в алгоритмах классификации типов льда.

Ключевые слова: Арктика, морской лед, типы льда, ледовые карты, удельная эффективная площадь рассеяния, статистика, скаттерометр, ASCAT.

RESEARCH OF THE SEASONAL VARIABILITY OF BACKSCATTER OF DIFFERENT TYPES OF ICE ON ASCAT SCATTEROMETER DATA

A.I. Kostylev, E.V. Zabolotskikh, K.S. Khvorostovsky

Russian State Hydrometeorological University

The article focuses on methods and tools for studying ice cover changes in the Arctic, presentation and application of obtained information. In order to improve the accuracy of information about the state of ice cover by satellite data, a statistical analysis of the backscatter of various types of ice in the Arctic is presented based on a comparison of the ASCAT scatterometer data and the ice maps of the Arctic and Antarctic Research Institute (AARI). The shape of the distribution of backscatter for each type of ice and the entire ice cover of the Arctic has been estimated. The backscatter values are determined by surface roughness; therefore, the obtained shapes of the density distribution of backscatter do reflect the range of variability of the surface structure of different types of ice. It is noted that histograms of different ice types have significant overlapping zones. The values between the overlapping ranges of the backscatter have been determined numerically. It is established that their amount as well as numerical values change during the winter season. The results of the analysis of the obtained histograms can be used in algorithms of ice types classification.

Keywords: Arctic, sea ice, types of ice, ice maps, backscatter, statistics, scatterometer, ASCAT.

Введение

В настоящее время ведется активное освоение Арктической зоны Российской Федерации. По трассам Северного морского пути активизируются круглогодичные

морские грузоперевозки. Осуществляется строительство новых морских портов. Эксплуатируются терминалы и платформы для транспортировки углеводородов в Печорском и Охотском море, а также в Обской губе. Обеспечение достоверной и своевременной информацией о гидрометеорологическом и ледовом режиме является обязательным условием безопасной деятельности на замерзающих океанах, морях и реках, а ледовые карты в этом случае являются инструментом планирования. Такую информацию подготавливают, в том числе, с использованием спутниковых данных.

Существующие спутниковые технологии позволяют предоставлять экспертам спутниковые снимки высокого разрешения, на основе которых в полуавтоматическом режиме формируются ледовые карты с указанием преобладающего типа льда в размеченной области. Периодичность обновления ледовых карт составляет один раз в неделю для всей территории Арктики (глобальный масштаб) и одиндва раза в месяц для отдельных северных морей (региональный масштаб), что является достаточно низким показателем.

С целью повышения частоты обновления информации о состоянии ледяного покрова предлагается использовать спутниковые скаттерометры ASCAT (The Advanced Scatterometer) на европейских спутниках Metop A, B и C. За сутки один спутник Metop в совокупности выполняет 14—15 витков вокруг Земли, за счет чего достигается высокая степень покрытия земной поверхности измерениями скаттерометра. Тем не менее возможности использования данных этих измерений ограничены в связи с их низким пространственным разрешением.

Над морской поверхностью, свободной от льда, данные измерений скаттерометров используются для восстановления скорости и направления приводного ветра. Значения удельной эффективной площади рассеяния (УЭПР), измеряемой в децибелах, характеризуют шероховатость поверхности. Чем более гладкая поверхность, тем уровень УЭПР меньше [15]. Подробнее с принципом действия скаттерометров можно ознакомиться в работе [10].

Использование данных измерений скаттерометрами позволяет решить также задачи определения границ распространения ледяного покрова и определения его площади. Разделение поверхности на лед и воду возможно благодаря разным угловым зависимостям УЭПР: рассеяние микроволнового сигнала от морской поверхности при наличии ветра обладает существенной анизотропией по сравнению с рассеянием от морского льда любого возраста [4]. Еще одним применением данных ASCAT является решение задачи о разделении многолетнего и однолетнего льда на основе использования пороговых значений УЭПР [16], а также разделение льда по возрасту от двухлетнего до 8—9-летнего с применением SSMIS (Special Sensor Microwave Imager/Sounder) [14].

Однако для решения практических задач, связанных с навигацией и эксплуатацией морской техники в ледовых условиях, описанных в литературе подходов недостаточно в силу отсутствия информации о структурном изменении льда в течение года — его росте и переходе из одного типа в другой под воздействием термических и динамических факторов.

Задача исследования заключается в анализе значений УЭПР ASCAT для каждого типа льда по отдельности и всего ледяного покрова в Арктике с использованием ледовых карт Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ) для зимнего сезона 2018/19 г.

Описание объекта исследования и используемых данных

Объектом исследования являются объединенные области льда со схожими параметрами. В соответствии с Номенклатурой ВМО [19] в работе исследуются следующие возрастные стадии льда: нилас, молодой лед, однолетний лед, многолетний лед и припай как форма льда.

Более подробно с типами льда, включая начальные стадии льда, можно ознакомиться в работах [2, 5].

В соответствии с международным стандартом Sigrid-3 [17] ледовые карты представляют собой электронные файлы, в которых указываются последовательности координат (долгота/широта), описывающие границы выделенной области льда, площадь и периметр каждой области, тип льда, концентрация, торосистость и пр.

Наиболее общедоступными и удобными для использования являются ледовые карты ААНИИ [6]. Ледовые карты также выпускают: Норвежский институт (Norwegian Ice Service) [8], Датский метеорологический институт [9], Канадская ледовая служба (Canadian Ice Service) [13], Федеральное морское и гидрографическое агентство Германии [7], Бременский университет [18], Финский институт [12].

В работе анализируются данные ASCAT полного разрешения (ASCAT Level 1 Sigma0 at Full Sensor Resolution — Metop — Global Data Service), распространяемые на свободной основе Европейской космическим центром данных Eumetsat [11].

Объем данных ASCAT полного разрешения за один день наблюдений составляет примерно 75 млн точек. Каждый элемент данных содержит географические координаты, угол падения (incidence angle), УЭПР, номер антенны спутника (азимутальный угол) и текущее время.

Методика исследования

Для обработки данных была разработана компьютерная программа на инженерном языке программирования Matlab. Исследование включает в себя несколько последовательных этапов.

- 1. В рабочую область программы загружаются файлы ледовых карт ААНИИ и данные скаттерометра ASCAT.
- 2. Вся область данных за каждый день размечается на сетку 2000 на 2000 ячеек, представленную в равновеликой азимутальной проекции Ламберта, ограниченной параллелью 30° по широте. Размер каждой ячейки составляет 6,7 × 6,7 км. В соответствии с геометрией зондирования и орбитой спутника каждая ячейка в зависимости от координаты ее центра содержит разное количество данных. Наибольшее число значений, полученных в результате измерений (более ста), содержится в ячейках, расположенных ближе к Полюсу. В исследовании анализируются только те области, для которых количество измерений скаттерометра составляет более пяти.

3. Производится нормализация данных — вычисление одного значения УЭПР для каждой ячейки размеченной области. Поскольку в каждую ячейку попадают значения УЭПР, измеренные при разных углах падения и азимутальных углах, перед проведением анализа полей рассеяния необходимо привести все измерения к одному и тому же углу падения (азимутальной зависимостью УЭПР морского льда можно пренебречь).

На рис. 1 представлена зависимость УЭПР от угла падения для одной ячейки при размере сетки 200×200 ячеек (*a*) и 20×20 ячеек (*б*).

Традиционно зависимость значения УЭПР (σ) от угла падения (θ) при нормализации аппроксимируют линейной функцией $\sigma = a - b\theta$, хотя, как показывает рис. 1, зависимость УЭПР от угла падения нелинейна, особенно при малых углах зондирования. После определения коэффициентов a и b нормированное значение УЭПР (σ_0) определяется как $\sigma_0 = a - b\theta_0$. Чем больше точек в ячейке, тем точнее нормирование. Увеличить число точек в ячейке можно несколькими способами:

- увеличить масштаб сетки (размеры ячейки);
- увеличить временной диапазон анализируемых данных: например, обрабатывать данные скаттерометра за целую неделю.

В исследовании данные были аппроксимированы линейной функцией и значение УЭПР приводилось к углу падения 42°.

- 4. Нормированные значения УЭПР сопоставляются с картами ААНИИ типов морского льда. Данная процедура позволяет сформировать массивы σ_0 для каждого типа льда.
- 5. Для каждого типа льда и для всего ледяного покрова Арктики определяются статистические параметры: минимальные и максимальные значения, размах (амплитуда вариации), среднее значение, дисперсия, среднеквадратическое отклонение (СКО), медиана, мода, коэффициент асимметрии. Описание статистических характеристик и формулы расчета приведены в работе [3].

Результаты исследований

В результате проведения исследований для каждого типа льда были получены гистограммы распределения значений УЭПР (рис. 2), позволяющие оценить преобладающее значение УЭПР каждого типа льда, а также проанализировать форму распределения. С целью выявления тенденций изменения значений УЭПР типов льда в течение зимнего сезона были рассчитаны статистические параметры: минимальные и максимальные значения, размах, дисперсия, СКО, медиана, мода, среднее абсолютное отклонение, а также определено направление линейного тренда.

На рис. 2 представлена плотность распределения значений УЭПР для различных типов льда по данным за 7 мая 2019 г. Из рисунка видно, что в начале мая мода УЭПР для однолетнего льда составляет -18,9 дБ, для ниласа -15,0 дБ, для молодого льда -15,03 дБ, для старого льда -14,35 дБ, для припая -20,3 дБ. Не для всех исследуемых типов льда преобладающее значение УЭПР определяется однозначно. Например, для ниласа (рис. 2 δ), старого льда (рис. 2 ϵ) и, в особенности, для припая (рис. 2 δ) выделяется несколько мод.

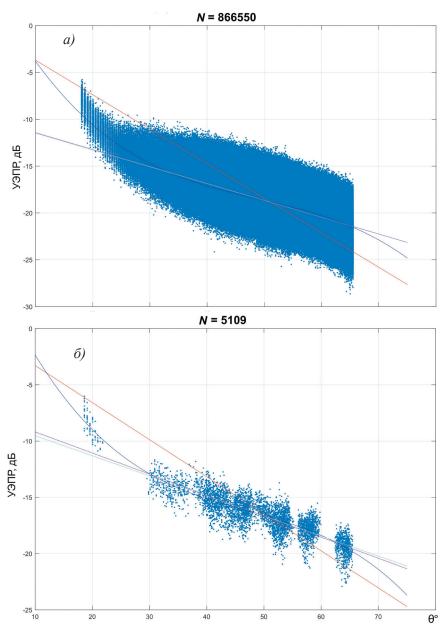


Рис. 1. Зависимость значения УЭПР (σ) от угла падения (θ) для одной ячейки при размере сетки 200×200 ячеек (a) и 20×20 ячеек (δ). N — число точек в ячейке.

Fig. 1. Dependency of the backscatter value on the angle of incidence for one cell with a grid size of 200×200 cells (a) and 20×20 cells (6).

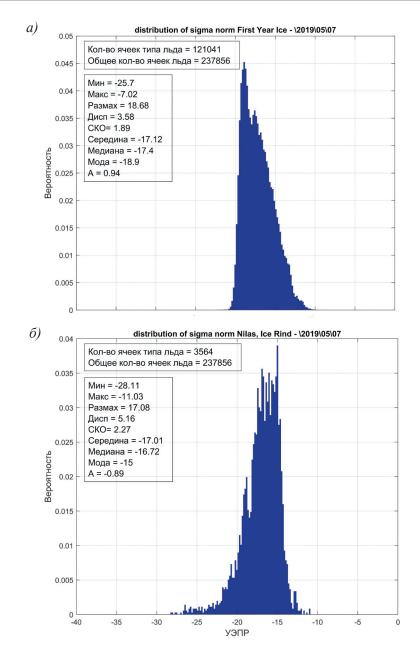
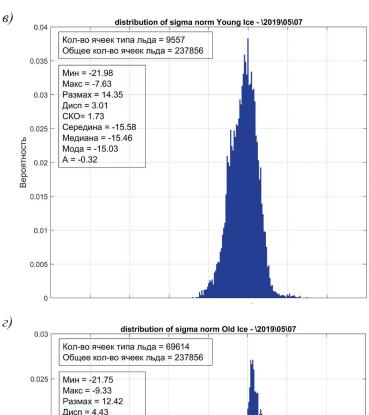


Рис. 2 *(начало)*. Плотность распределения различных типов льда по данным за 7 мая 2019 г.

a — однолетний, δ — нилас.

Fig. 2. Distribution density of various types of ice – first-year ice (a), nilas (δ).



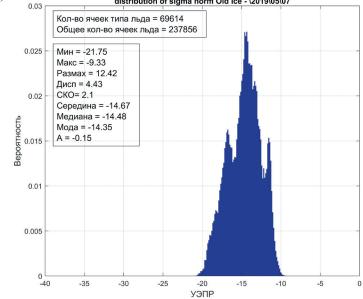


Рис. 2 *(продолжение)*. Плотность распределения различных типов льда по данным за 7 мая 2019 г.

в — молодой, *г* — старый.

Fig. 2. Distribution density of various types of ice – young ice (ϵ), old ice (ϵ).

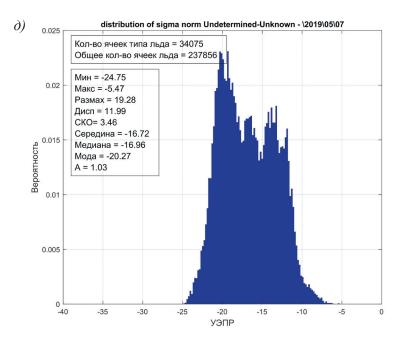


Рис. 2 *(окончание)*. Плотность распределения различных типов льда по данным за 7 мая 2019 г.

 ∂ — припай.

Fig. 2. Distribution density of various types of ice – fast ice (∂) .

Форма плотности распределения значений УЭПР для каждого типа льда разная. Коэффициент асимметрии, число пиков и размах позволяют количественно оценить этот параметр. Плотность распределения для однолетнего льда (см. рис. 2 a) имеет положительно скошенную форму, для ниласа — отрицательно скошенную форму, для молодого (см. рис. 2 a) и старого льда (см. рис. 2 a) — колоколообразную форму, для припая (см. рис. 2 a) — форму плато.

Значения УЭПР определяются шероховатостью поверхности, поэтому представленные формы плотности распределения УЭПР в действительности отражают диапазон изменчивости поверхностной структуры разных типов льда. Например, припай, который образуется вдоль береговой линии, одновременно может быть как гладким из-за заснеженности льда, так и шероховатым за счет разного рода наслоений, деформаций и торосов вблизи береговой линии и у кромки моря [1]. Поэтому плотность распределения значений УЭПР данного типа льда имеет максимальный размах по сравнению с другими.

Плотность распределения значений УЭПР разных типов льда составляет от -28,0 до -5,0 дБ, и диапазоны значений для разных типов льда имеют между собой значительные зоны перекрытий. Следует отметить, что глобальные карты ААНИИ, являясь ценным источником информации о ледяном покрове Арктики, обладают конечной точностью. Это связано как с масштабами временного

усреднения (восемь дней), так и с грубым пространственным разрешением. Участки поверхности, объединенные в одну зону и отнесенные к одному типу льда, в действительности состоят из разных типов, что вносит свой вклад в размах функций распределения УЭПР. На гистограмме плотности распределения значений УЭПР для всей поверхности ледяного покрова за 7 мая 2019 г. (рис. 3), можно выделить пять диапазонов значений:

- 1) менее –18,2 дБ;
- 2) от -18,2 до -15,8 дБ;
- 3) от -15,8 до -15,0 дБ;
- 4) от -15,0 до -12,2 дБ;
- 5) более –12,2 дБ.

Границами (пороговыми значениями) между диапазонами являются локальные минимумы функции распределения, найденные по условию изменения знака производной этой функции с минуса на плюс.

Представленные численные значения диапазонов изменяются в течение зимнего сезона, и диапазоны плотности распределения имеют значительные зоны перекрытия, поэтому однозначного разделения на типы льда по пороговым значениям УЭПР провести невозможно.

На рис. 4 представлено изменение минимальных, максимальных и преобладающих (главный пик) значений УЭПР для каждого типа льда за зимний сезон

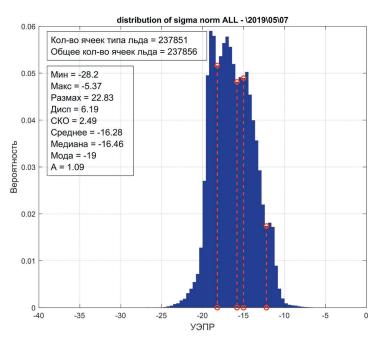


Рис. 3. Плотность распределения значения УЭПР для ледяного покрова за 7 мая 2019 г. Минимумы: -18,2 (1-й); -15,8 (2-й); -15,0 (3-й); 12,2 (4-й).

Fig. 3. Distribution density of backscatter value for the ice cover on 05/07/2019.

2018/19 г., построенные на основе анализа плотности распределения. На рис. 5 представлено изменение этих параметров, включая несколько преобладающих значений УЭПР (2-й, 3-й, 4-й и 5-й пики) для всей поверхности ледяного покрова за этот же период.

В табл. 1—3 представлены статистические параметры плотности распределения значений УЭПР разных типов льда в течение зимнего сезона 2018/19 г.

Таблица 1

Статистические параметры распределения УЭПР для припая, ниласа и молодого льда

Statistical parameters of backscatter distribution for fast ice, nilas and young ice

	УЭПР, дБ								
Параметр	Припай			Нилас			Молодой		
	Мин	Пик	Макс	Мин	Пик	Макс	Мин	Пик	Макс
Наименьшее	-25,5	-20,5	-6,0	-28,0	-18,0	-11,0	-28,0	-16,0	-12,0
Среднее	-24,09	-18,58	-5,37	-22,38	-14,80	-8,47	-22,62	-14,76	-6,50
Дисперсия	1,30	3,57	0,09	4,32	2,15	2,47	4,09	0,62	2,16
СКО	1,14	1,89	0,30	2,08	1,46	1,57	2,02	0,79	1,47
Медиана	-24,5	-19,0	-5,5	-22,5	-15,0	-8,0	-22,0	-14,9	-6,0
Мода	-25,0	-20,0	-5,5	-22,5	-14,0	-7,5	-22,0	-15,0	-6,0
Среднее абсолют-	0,99	1,31	0,24	1,65	1,15	1,31	1,64	0,54	1,10
ное отклонение									
Наибольшее	-22,4	-13,2	-5,0	-20,0	-12,0	-5,5	-20,0	-12,8	-5,0
Размах	3,1	7,3	1,0	8,0	6,0	5,5	8,0	3,2	7,0
Знак тренда	_	_	+/_	_	_	_	_	+	_

Таблица 2

Статистические параметры распределения УЭПР для однолетнего и старого льда

Statistical parameters of backscatter distribution for first-year ice and old ice

	УЭПР, дБ							
Параметр	(Однолетни	й	Старый				
	Мин	Пик	Макс	Мин	Пик	Макс		
Наименьшее	-28,0	-19,0	-11,0	-21,5	-15,0	-10,0		
Среднее	-21,70	-18,30	-8,40	-19,99	-13,59	-8,84		
Дисперсия	2,10	0,49	1,94	0,28	0,46	0,51		
СКО	1,45	0,69	1,39	0,53	0,68	0,72		
Медиана	-21,5	-18,5	-8,0	-20,0	-13,5	-9,0		
Мода	-22,0	-18,5	-8,0	-20,0	-13,0	-9,0		
Среднее абсолютное отклонение	0,88	0,45	1,14	0,34	0,61	0,59		
Наибольшее	-19,5	-16,0	-5,5	-19,0	-12,5	-7,5		
Размах	8,5	3,0	5,5	2,5	2,5	2,5		
Знак тренда	_	_	_	_	_	+		

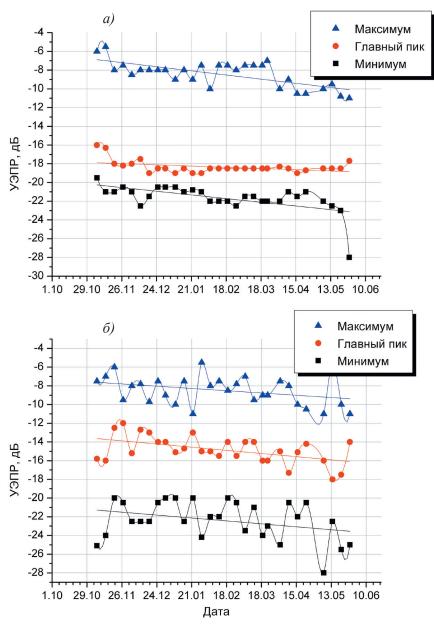


Рис. 4 *(начало)*. Изменение в течение зимнего сезона значений УЭПР различных типов льда.

a — однолетний, δ — нилас.

Fig. 4. Changes of backscatter value during the winter season of various types of ice – first-year ice (a), nilas (δ) .

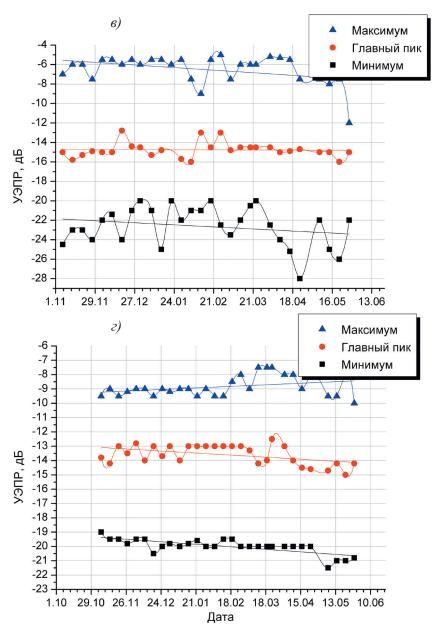


Рис. 4 *(продолжение)*. Изменение в течение зимнего сезона значений УЭПР различных типов льда.

в — молодой, ε — старый.

Fig. 4. Changes of backscatter value during the winter season of various types of ice – young ice (ε), old ice (ε).

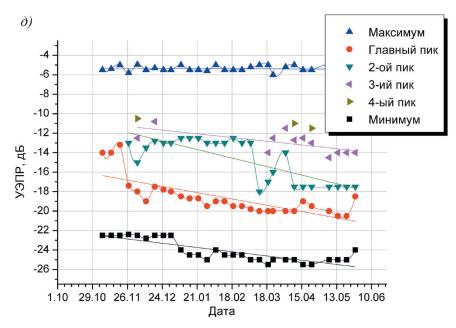


Рис. 4 *(окончание)*. Изменение в течение зимнего сезона значений УЭПР различных типов льда.

 ∂ — припай.

Fig. 4. Changes of backscatter value during the winter season of various types of ice – fast ice (∂).

Таблица 3

Статистические параметры распределения УЭПР для всего ледяного покрова Арктики

Statistical parameters of backscatter distribution for Arctic ice cover

Поположе	УЭПР, дБ							
Параметр	Мин	Глав. пик	2–й пик	3–й пик	4–й пик	Макс		
Наименьшее	-25,2	-19,5	-19,0	-15,5	-13,5	-7,5		
Среднее	-24,00	-17,96	-15,63	-13,21	-12,16	-6,17		
Дисперсия	1,19	1,59	3,73	1,49	0,37	0,37		
СКО	1,09	1,26	1,93	1,22	0,61	0,61		
Медиана	-24,5	-18,5	-15,0	-13,0	-12,0	-6,0		
Мода	-25,0	-18,5	-17,5	-14,0	-12,0	-6,0		
Среднее абсолютное отклонение	0,97	0,98	1,78	1,05	0,46	0,46		
Наибольшее	-22,5	-15,0	-13,0	-11,5	-11,5	-5,3		
Размах	2,7	4,5	6,0	4,0	2,0	2,2		
Знак тренда	_	_	_	_	+	+		
Число недель	29	29	27	23	11	29		

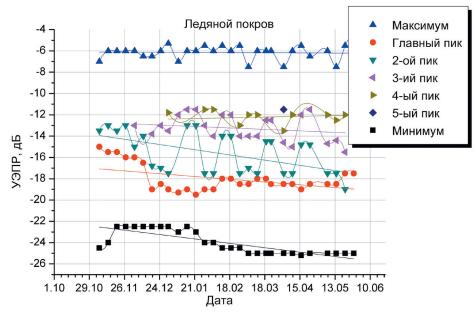


Рис. 5. Изменение значений УЭПР в течение зимнего сезона для всего ледяного покрова Арктики.

Fig. 5. Changes of backscatter value during the winter season of the Arctic ice cover.

Статистические параметры показывают, что в течение зимнего сезона представленные в табл. 1 типы льда значительно изменяются. Поля льда, не имеющие достаточной прочности, активно подвержены термодинамическим воздействиям.

Во всех таблицах положительный знак тренда указывает на увеличение минимаксных и пиковых значений УЭПР в течение исследуемого периода года, а отрицательный знак тренда — на уменьшение. Знак «+/—» означает, что минимаксные и пиковые значения УЭПР не имеют тенденции к изменению значений в течение исследуемого периода.

Старый лед имеет наименьший диапазон изменения минимальных и максимальных значений УЭПР, который составляет –14 дБ; УЭПР однолетнего льда –22,5 дБ, молодого –23 дБ, ниласа –22,5 дБ, припая –20,5 дБ. Таким образом, многолетний лед является наиболее однородной областью льда. Значения УЭПР старого льда показывают, что его поверхность более гладкая и менее деформирована, чем поверхность однолетнего льда; она имеет незначительное количество неровностей.

Наибольшее количество (мода) значений УЭПР однолетнего и многолетнего льда в течение сезона изменяется в небольших пределах, их дисперсия от среднего значения составляет не более 0,5 дБ. Общая тенденция заключается в сглаживании поверхностей в течение зимнего сезона.

Максимальное значение УЭПР всего ледяного покрова, так же как и старого льда, в течение зимнего сезона имеет положительный знак тренда, и это означает, что к началу лета количество неровных участков льда и участков льда с торосами увеличивается. Вместе с тем главный пик распределений имеет нисходящий тренд, т. е. происходит сглаживание большей части ледяного покрова под воздействием осадков в виде снега. Весь ледяной покров в течение зимнего сезона имеет несколько явно выраженных пиков распределения, и к концу сезона они становятся более выраженными.

Заключение

В работе были проанализированы значения УЭПР разных типов льда на основе сопоставления скаттерометрических данных ASCAT с ледовыми картами ААНИИ. Полученные статистические параметры и формы распределения значений УЭПР позволили оценить изменения УЭПР разных типов льда в течение зимнего сезона 2018/19 г.

Общая тенденция заключается в том, что в течение зимнего сезона значения УЭПР уменьшаются, т. е. под воздействием осадков в виде снега поверхность льда становится более гладкой.

Гистограммы распределения УЭПР разных типов льда имею значительные зоны перекрытия, что следует учитывать при разработке методов классификации типов льда.

Работа выполнялась в рамках проекта РНФ № 17-77-30019.

Список литературы

- 1. Алексеев Ю.Н., Афанасьев В.П., Литонов О.Е., Мансуров М.Н., Панов В.В., Трусков П.А. Ледотехнические аспекты освоения морских месторождений нефти и газа. СПб: Гидрометеоиздат, 2001. 356 с.
- 2. Ионов Б.П., Грамузов Е.М. Ледовая ходкость судов. СПб: Судостроение, 2001. 512 с.
- 3. *Малинин В.Н.* Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. Учебник. СПб: РГГМУ, 2008. 408 с.
- 4. *Муртазин А.Ф., Евграфова К.Г., Кудрявцев В.Н.* Применение данных скаттерометра ASCAT для исследования ледового покрова в Арктике. // Ученые записки РГГМУ. 2015. № 40. С. 160173.
- Спутниковые методы определения характеристик ледяного покрова морей. СПб: изд-во ААНИИ, 2011. 240 с.
- 6. AARII [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.aari.ru/. ФГБУ ААНИИ, 2019. Дата обращения: 22.09.19.
- 7. BSH [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.bsh.de. BSH Homepage, 2019. Дата обращения: 22.09.19.
- 8. Cryo [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cryo.met.no/en/latest-ice-charts. Ice Service charts | cryo.met.no, 2019. Дата обращения: 22.09.19.
- 9. DMI [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://ocean.dmi.dk/english/index.php. Ocean og Is | Danmarks Meteorologiske Institut, 2019. Дата обращения: 22.09.19.
- 10. Estimation of ASCAT-Normalised Radar Cross Section: ATBD. Germany: EUMETSAT, 2014. P. 40.
- 11. EUMETSAT [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://eoportal.eumetsat.int EUMETSAT EO Portal User Registration, 2019. Дата обращения: 23.09.19.

- FMI [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://en.ilmatieteenlaitos.fi/. Home Finnish Meteorological Institute, 2019. Дата обращения: 22.09.19.
 Government of Canada [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.canada.ca/en/
- Government of Canada [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/ice-forecasts-observations/latest-conditions.html. Latest ice conditions. Canada.ca, 2019. Дата обращения: 22.09.19.
- Lindell D.B., Long D.G. Multiyear Arctic Ice Classification Using ASCAT and SSMIS. Remote Sens. 2016. No. 8, 294. P. 19.
- 15. Rivas M.B., Otosaka I., Stoffelen A., Verhoef A. A scatterometer record of sea ice extents and backscatter: 1992–2016 // The Cryosphere. 2018. No. 12. P . 2941—2953.
- Rivas M.B., Verspeek J., Verhoef A., Stoffelen A. Bayesian Sea Ice Detection With the Advanced Scatterometer ASCAT. IEEE Transactions on geoscience and remote sensing. 2012. V. 50, No. 7. p. 2649—2657
- 17. SIGRID-3: A vector archive format for sea ice charts, JCOMM Technical Report. No. 23. 2004. P. 24.
- University Bremen [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://seaice.uni-bremen.de/sea-ice-concentration/regional/ — Sea Ice Concentration, 2019. Дата обращения: 22.09.19.
- 19. WMO Sea Ice Nomenclature (WMO. No. 259, V. I Terminology and Codes, V. II Illustrated Glossary, V. III International System of Sea-Ice Symbols) / 5-th Session of JCOMM Expert Team on Sea Ice. March 2014. P. 121.

References

- 1. Alekseev Yu.N., Afanasev V.P., Litonov O.Ye., Mansurov M.N., Panov V.V., Truskov P.A. Ledotekhnicheskie aspekty osvoeniya morskikh mestorozhdeniy nefti i gaza. Ice-technick aspects of development offshore fields of oil and gas. SPb: Gidrometeoizdat, 2001: 356 p. [In Russian].
- Ionov B.P., Gramuzov Ye.M. Ledovaya khodkost sudov. Ice capabillity of ships. SPb: Sudostroenie, 2001: 512 p. [In Russian].
- 3. *Malinin V.N. Statisticheskie metody analiza gidrometeorologicheskoy informatsii*. Statistical methods for the analysis of hydrometeorological information. SPb: RGGMU, 2008: 408 p. [In Russian].
- 4. Murtazin A.F., Yevgrafova K.G., Kudryavtsev V.N. Primenenie dannykh skatterometra ASCAT dlya issledovaniya ledovogo pokrova v Arktike. Application of ASCAT scatterometer data for the study of ice cover in the Arctic. Uchenye zapiski. Scientific notes. SPb: RGGMU, 2015, 40: 160–173. [In Russian].
- Sputnikovye metody opredeleniya kharakteristik ledyanogo pokrova morey. Satellite methods for determining the characteristics of the ice cover of the seas. SPb: AARII, 2011: 240 p. [In Russian].
- 6. AARII. Available at: http://www.aari.ru/. (accessed 22.09.19)
- 7. BSH. Available at: https://www.bsh.de/. (accessed 22.09.19)
- 8. Cryo. Available at: https://cryo.met.no/en/latest-ice-charts/. (accessed 22.09.19)
- 9. DMI. Available at: http://ocean.dmi.dk/english/index.php/. (accessed 22.09.19)
- 10. Estimation of ASCAT-Normalised Radar Cross Section: ATBD. Germany: EUMETSAT, 2014: 40.
- 11. EUMETSAT. Available at: https://eoportal.eumetsat.int/. (accessed 23.09.19)
- 12. FMI. Available at: https://en.ilmatieteenlaitos.fi/. (accessed 22.09.19)
- 13. Government of Canada. Available at: https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/ice-forecasts-observations/latest-conditions.html/. (accessed 22.09.19)
- Lindell D.B., Long D.G. Multiyear Arctic Ice Classification Using ASCAT and SSMIS. Remote Sens. 2016. 8 (294): 19.
- 15. Rivas M.B., Otosaka I., Stoffelen A., Verhoef A. A scatterometer record of sea ice extents and backscatter: 1992–2016. The Cryosphere. 2018, 12: 2941—2953.
- 16. Rivas M.B., Verspeek J., Verhoef A., Stoffelen A. Bayesian Sea Ice Detection With the Advanced Scatterometer ASCAT. IEEE Transactions on geoscience and remote sensing. 2012, 7(50): 2649—2657.
- 17. SIGRID-3: A vector archive format for sea ice charts. JCOMM. Technical Report. 2004, 23: 24.
- University Bremen. Available at: https://seaice.uni-bremen.de/sea-ice-concentration/regional/. (accessed 22.09.19)

WMO Sea Ice Nomenclature (WMO. No. 259, V. I – Terminology and Codes, V. II – Illustrated Glossary, V. III – International System of Sea-Ice Symbols).
 5-th Session of JCOMM Expert Team on Sea Ice. March 2014: 121.

Статья поступила 09.10.2019 Принята 26.11.2019

Сведения об авторах

Костылев Антон Игоревич — канд. техн. наук, научный сотрудник лаборатории спутниковой океанографии, Российский государственный гидрометеорологический университет, kostylev@rshu.ru Заболотских Елизавета Валериановна — д-р физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории спутниковой океанографии, Российский государственный гидрометеорологический университет, liza@rhsu.ru

Хворостовский Кирилл Сергеевич — канд. геогр. наук, научный сотрудник лаборатории спутниковой океанографии, Российский государственный гидрометеорологический университет, kirill@rshu.ru

Information about the authors

Kostylev Anton I. — researcher, Russian State Hydrometeorological University Zabolotskikh Yelizaveta V. — lead researcher, Russian State Hydrometeorological University Khvorostovskiy Kirill S. — researcher, Russian State Hydrometeorological University