



Сравнение сплоченности ледяного покрова по данным микроволновой радиометрии (алгоритмы NASA Team, ASI и VASIA2) с данными визуальных судовых наблюдений



Т.А. Алексеева^{1, 3, *}, В.В.Тихонов^{2, 4}, С.В. Фролов¹,
И.А. Репина^{3, 5}, М.Д. Раев², Ю.В. Соколова^{1, 3},
Е.А. Шарков², Е.В. Афанасьева¹, С.С.
Сероветников¹

¹Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

²Институт космических исследований РАН

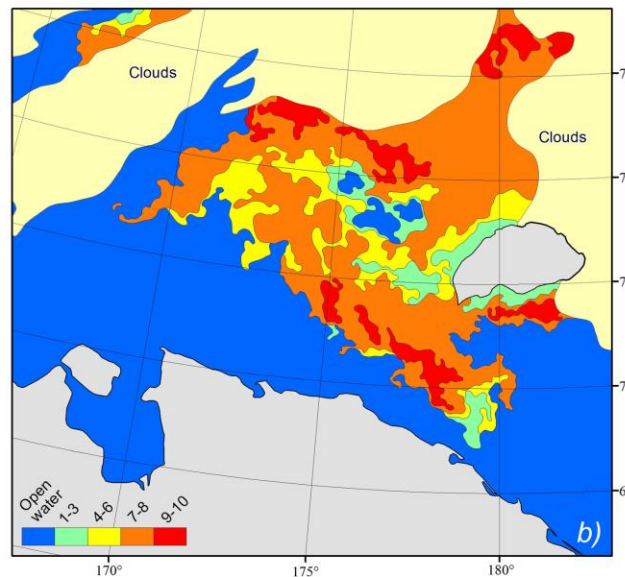
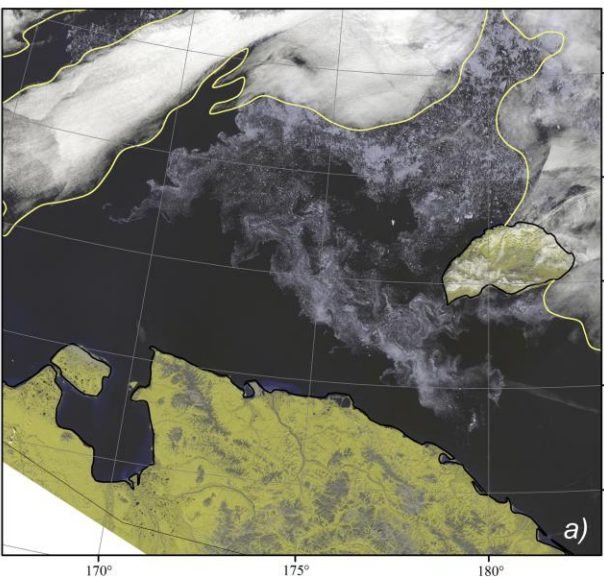
³Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

⁴Московский физико-технический институт

⁵Московский Государственный Университет

* taa@aari.ru

ПОГРЕШНОСТИ ДАННЫХ МИКРОВОЛНОВОЙ РАДИОМЕТРИИ



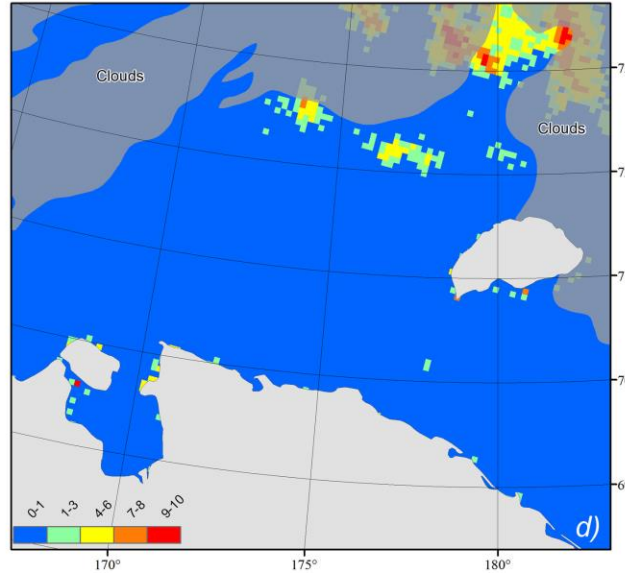
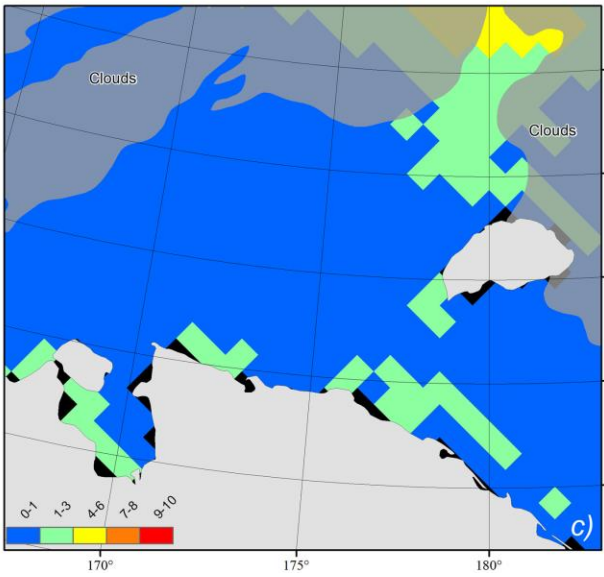
Восточно-Сибирское море, 26 июля 2017 г.

a) MODIS, RGB 2-2-1;

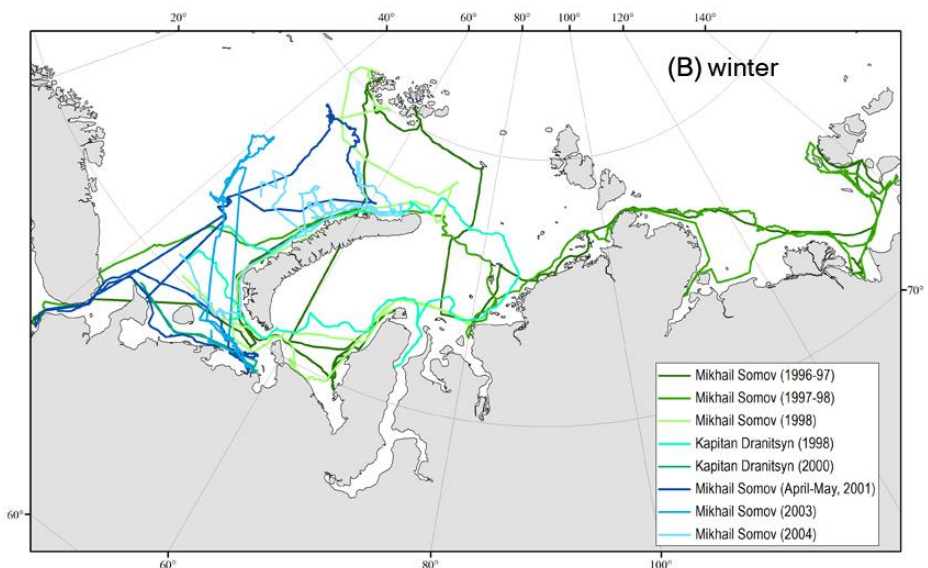
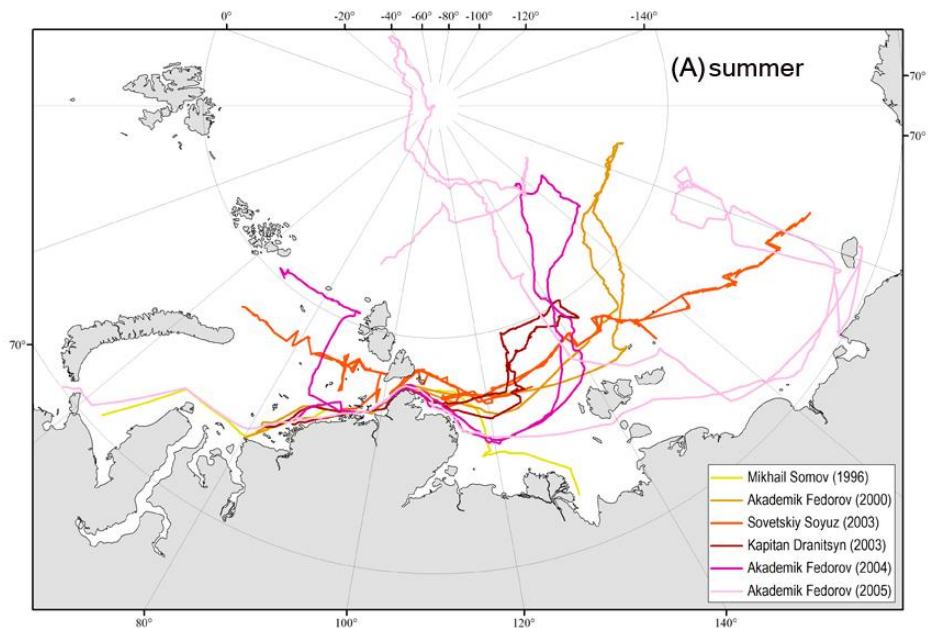
b) ледовая карта ААНИИ по снимку (a),

с) сплоченность по алгоритму NT, разрешение 25;

d) сплоченность по алгоритму ASI, разрешение 6.25 км.



СПЕЦИАЛЬНЫЕ СУДОВЫЕ ЛЕДОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ (ПО МЕТОДИКЕ ААНИИ С 60-Х ГГ.)



- Наблюдения ведутся с капитанского мостика непрерывно, круглосуточно
- Выделяются однородные ледовые зоны

Маршруты рейсов, используемых в работе (А) летний период: июль – середина сентября, (В) – зимний период: октябрь - май.

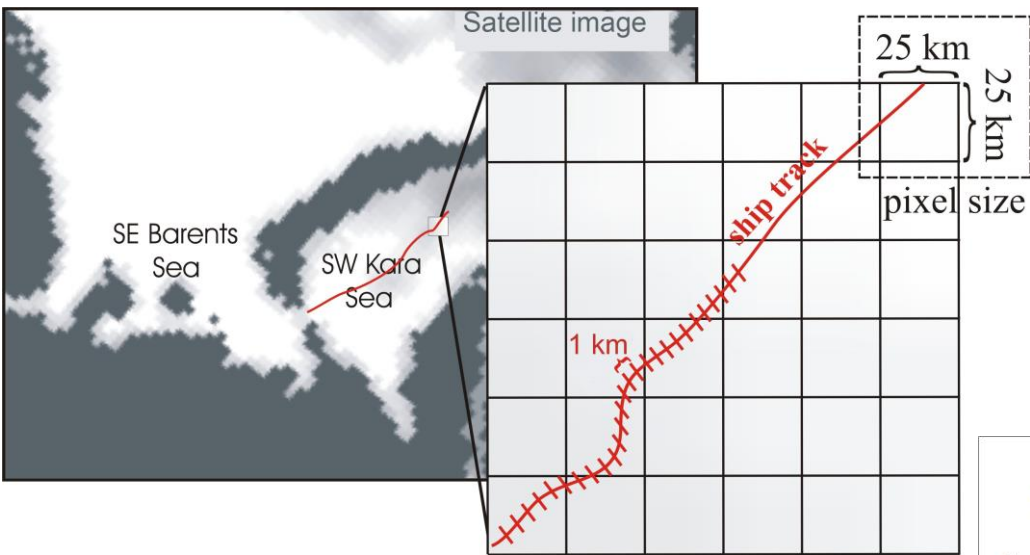
СПЕЦИАЛЬНЫЕ СУДОВЫЕ ЛЕДОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ (ПО МЕТОДИКЕ ААНИИ С 60-Х ГГ.)

		A	B	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
No ice zone	Date of beginning of navigation in ice zone (Moscow time)	Coordinates of beginning of ice zone		Index of zone	Ice in the navigation area											
		Latitude degree	Longitude degree		Total ice concentration (tenths)	Old ice	FY ice	New ice	Ice floes size (internat. code)			Hummocks concentr. (points)	Ice rafting (units)	Ice melt stage (points)		
					Old	FY	New+									
212	205	29.08.2004 15:44	79.15685	138.35855	A	6.0	0.0	5.5	0.5	-	5/4/3/2	3/2	1.0	-	3.0	
213	206	29.08.2004 15:57	79.19912	138.37160	C	9.5	0.5	8.5	0.5	3	4/3/2	3/2	1.0	-	3.0	
214	207	29.08.2004 17:08	79.38033	138.90300	C	9.5	1.0	8.0	0.5	2	4/3/2	2	1.0	-	3.0	
215	208	29.08.2004 18:19	79.58933	139.30550	B	9.5	0.5	8.5	0.5	3	5/4/3	2	1.0	-	3.0	
216	209	29.08.2004 18:32	79.61833	139.38333	B	8.0	0.5	7.0	0.5	3	5/4/3	2	1.0	-	3.0	
217	210	29.08.2004 18:52	79.66167	139.63533	-	5.0	0.0	4.5	0.5	-	4/3	3/2	1.0	-	3.0	
218	211	29.08.2004 18:57	79.66950	139.69917	-	5.0	0.0	4.9	0.1	-	4/3/2	3/2	1.0	-	3.0	
219	212	29.08.2004 19:15	79.70967	139.87667	E	8.0	0.1	7.4	0.5	3	4/3/2	3	1.0	-	3.0	
220	213	29.08.2004 19:30	79.75250	139.88000	E	8.0	0.0	7.9	0.1	-	4/3/2	2	1.0	-	3.0	
221	214	29.08.2004 19:45	79.79533	139.94850	E	7.0	0.0	6.9	0.1	-	4/3	3/2	1.0	-	3.0	
222	215	29.08.2004 19:58	79.83333	139.95333	C	9.5	0.0	9.0	0.5	-	4/3	3	1.0	-	3.0	

		A	B	U	V	X	AC	AD	AE	AJ	AK	AM	AN	AO	AP	BB	BC	BH	BI	BJ	BK	BL
No ice zone	Date of beginning of navigation in ice zone (Moscow time)	Ice along the sailing track																				
		Ice concentration				Ice floes size (internat. code)			Hummocks concentr. (points)	Average height hummocks (m)	Maximal height hummocks (m)	Ice melt stage (points)	Average width leads (m)	Snow depth (in 10 cm)			Ice pressure	Length of ice zone (nm)	Time of sailing in zone (hour)	Speed of sailing in zone (knots)		
		Total	Old	FY	New+ Nilas	Old	FY	New+ Nilas						Old ice	FY	нав (cm)						
212	205	29.08.2004 15:44	3.5	0.0	3.0	0.5	-	3/2/1	2	1.0	0.5	1.5	3.0	200	-	3	0	0.0	2.5	0.22	11.7	
213	206	29.08.2004 15:57	9.5	0.5	8.5	0.5	3	4/3/2	3/2	1.0	0.5	1.5	3.0	15	2	2	0	0.0	12.4	1.18	10.5	
214	207	29.08.2004 17:08	9.5	1.0	8.0	0.5	2	4/3/2	2	1.0	0.5	1.5	3.0	10	2	2	0	0.0	13.3	1.18	11.2	
215	208	29.08.2004 18:19	9.5	0.5	8.5	0.5	3	5/4/3	2	1.0	0.5	1.5	3.0	500	2	2	0	0.0	1.9	0.22	8.9	
216	209	29.08.2004 18:32	8.0	0.5	1.0	0.5	3	5/4/3	2	1.0	0.5	1.5	3.0	500	2	2	0	0.0	3.8	0.33	11.3	
217	210	29.08.2004 18:52	5.0	0.0	4.5	0.5	-	3/2	2	1.0	0.5	1.0	3.0	-	-	1	0	0.0	0.8	0.08	10.0	
218	211	29.08.2004 18:57	2.0	0.0	1.9	0.1	-	3/2	3/2	-	-	-	-	-	-	1	0	0.0	3.1	0.30	10.2	
219	212	29.08.2004 19:15	7.5	0.1	6.9	0.5	3	3/2	3	1.0	0.5	2.0	3.0	-	1	1	0	0.0	2.6	0.25	10.3	
220	213	29.08.2004 19:30	2.0	0.0	1.9	0.1	-	3/2	2	-	-	-	-	-	-	1	0	0.0	2.7	0.25	10.7	
221	214	29.08.2004 19:45	5.0	0.0	4.9	0.1	-	3/2	3/2	1.0	0.5	1.0	3.0	-	-	2	0	0.0	2.3	0.22	10.5	
222	215	29.08.2004 19:58	9.0	0.0	8.0	1.0	-	4/3/2	3/2	1.0	0.5	2.0	3.0	400	-	2	0	0.0	8.5	0.77	11.1	

		A	B	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	BW	BY	CH	CI	CJ	CK	CU	CV	CX	CY
No ice zone	Date of beginning of navigation in ice zone (Moscow time)	Calculated parameters																								
		Length of ice zone (nm)	Time of sailing in zone (hour)	Speed of sailing in zone (knots)	Repeatability of ice thickness												more columns to 320 cm	Old ice				more columns to 320 cm	Meteorological data			
					0-10 (cm)	10-20 (cm)	20-30 (cm)	30-40 (cm)	40-50 (cm)	50-60 (cm)	60-70 (cm)	70-80 (cm)	80-90 (cm)	90-100 (cm)	100-120 (cm)	140-160 (cm)		160-180 (cm)	180-200 (cm)	Direction (degree)	Speed (m/sec)		Air temperat. (°C)	Visibility (nm)		
212	205	29.08.2004 15:44	2.5	0.22	11.7	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	309	3	-1.6	0.1
213	206	29.08.2004 15:57	12.4	1.18	10.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.0	1.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	307	3	-1.3	1.5	
214	207	29.08.2004 17:08	13.3	1.18	11.2	0.5	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.5	1.5	0.8	0.8	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	311	4	-1.8	1.0		
215	208	29.08.2004 18:19	1.9	0.22	8.9	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	1.0	1.0	1.8	1.8	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	333	5	-2.7	1.0		
216	209	29.08.2004 18:32	3.8	0.33	11.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	1.0	1.0	1.5	1.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	333	5	-2.7	1.0		
217	210	29.08.2004 18:52	0.8	0.08	10.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	333	5	-2.7	1.0		
218	211	29.08.2004 18:57	3.1	0.30	10.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	332	5	-3.1	5.0		
219	212	29.08.2004 19:15	2.6	0.25	10.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	349	6	-4.1	2.0		
220	213	29.08.2004 19:30	2.7	0.25	10.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	349	6	-4.1	2.0		
221	214	29.08.2004 19:45	2.3	0.22	10.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.5	1.0	1.0	0.5	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	319	6	-4.9	6.0		
222	215	29.08.2004 19:58	8.5	0.77	11.1	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	319	6	-4.9	6.0		

МАКСИМАЛЬНО ВОЗМОЖНОЕ СОПОСТАВЛЕНИЕ РАЗНОМАСШТАБНЫХ ДАННЫХ

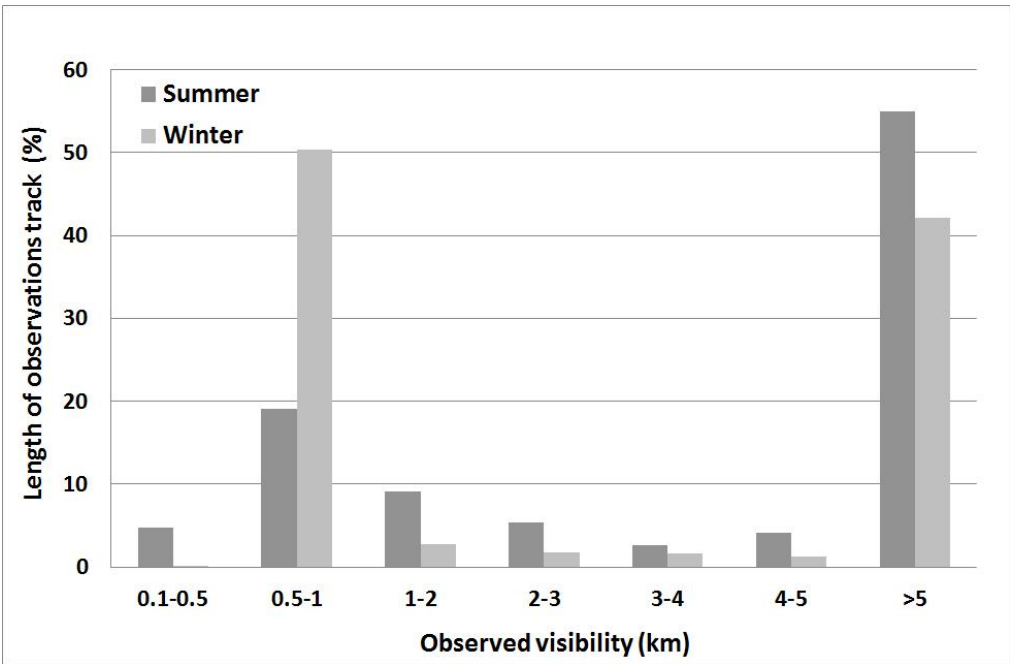


Трек судна делится на 1 км отрезки. Далее определяется в какой из пикселей разрешением 25x25 км для алгоритма NT и 12,5x12,5 км для алгоритмов ASI и VASIA2 «попадает» каждый отрезок. Параметры ледяного покрова, полученные путем визуальных наблюдений, осредняются в пределах каждого пикселя (учитывая протяженность ледовых зон).

$25 \times 25 \text{ км} = 625 \text{ км}^2$, $12,5 \times 12,5 \text{ км} = 156,25 \text{ км}^2$

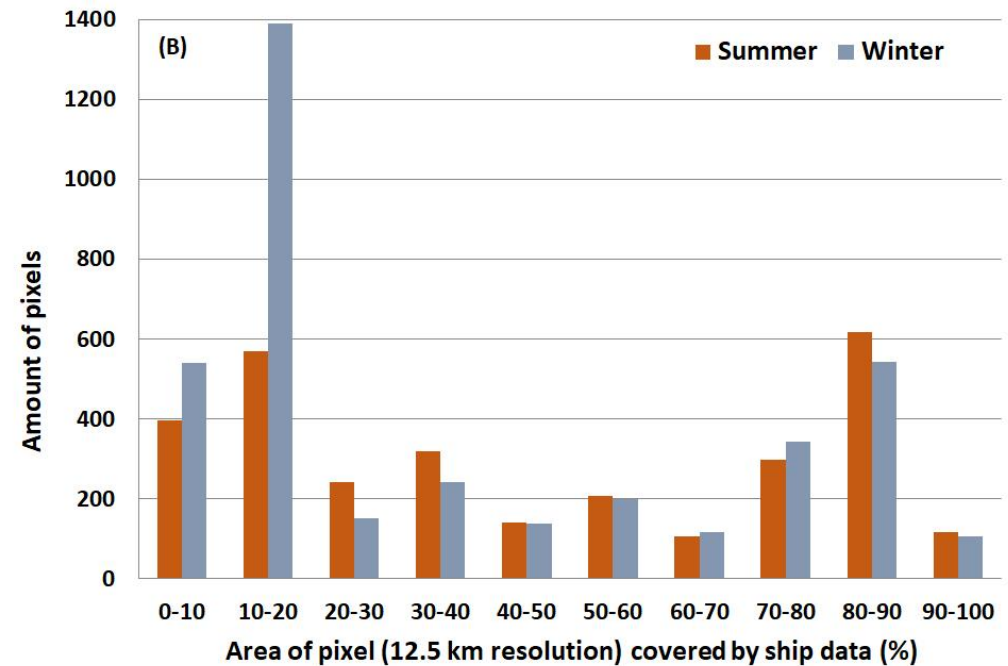
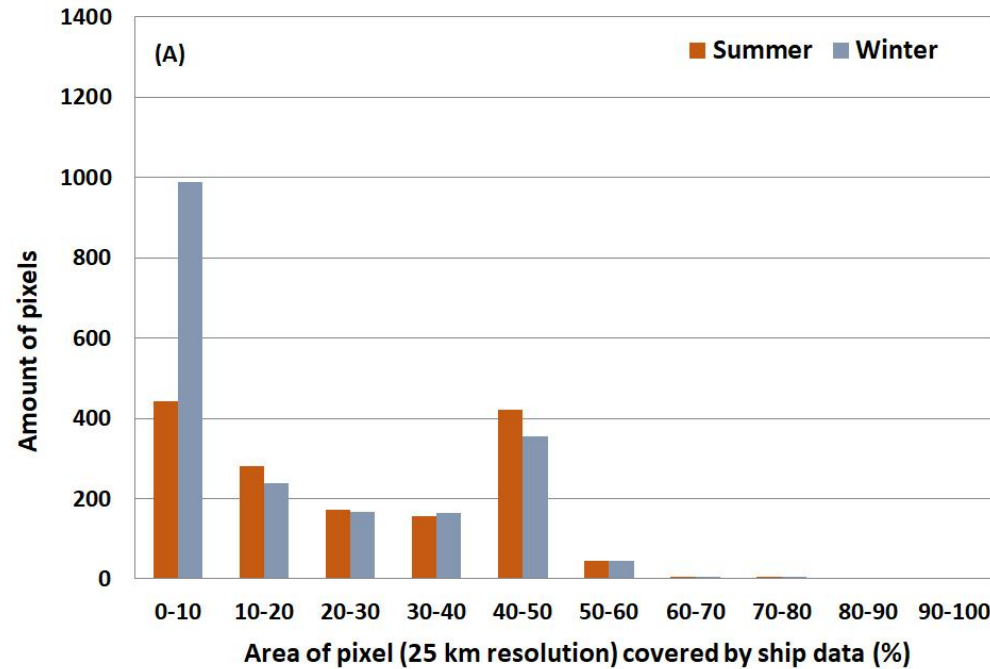
Средняя протяженность пути внутри 25 км пикселя – 20-25 км, внутри 12,5 км пикселя – 8-12 км.

При хорошей видимости охват визуальных наблюдений принят как 5 км в каждую сторону.



Распределение видимости (км) в % от протяженности маршрута плавания.

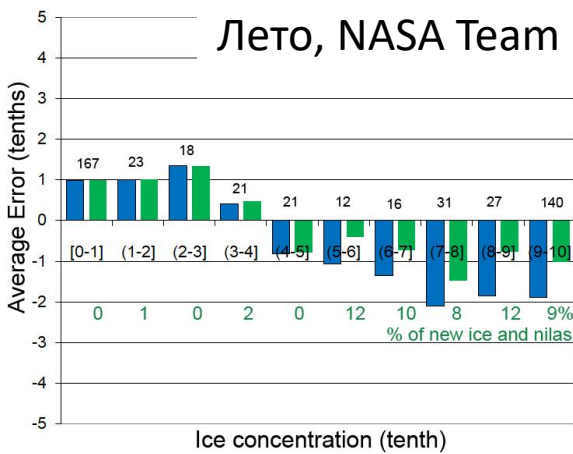
СПЕЦИАЛЬНЫЕ СУДОВЫЕ ЛЕДОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ (ПО МЕТОДИКЕ ААНИИ С 60-Х ГГ.)



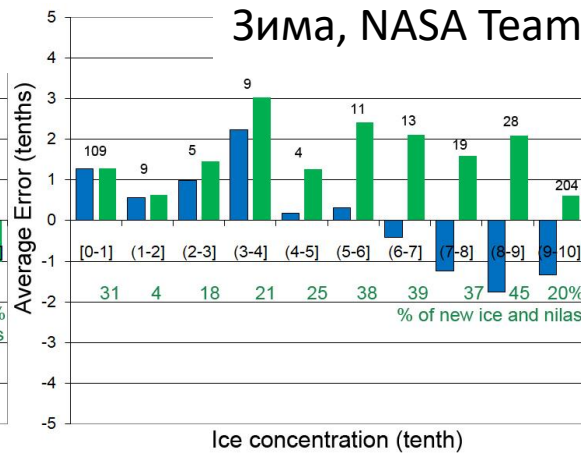
Летом (красные столбцы) существенная часть наблюдений выполнялась при хорошей видимости и при дневном свете, тогда как зимой более половины наблюдений выполнялись либо при осадках либо в сумерках (синие столбцы). Для оценки покрытия пикселей судовыми данными для каждого пикселя рассчитывалась площадь покрытия – длина трека судна в пикселе, умноженная на видимость (но не более 5 км).

В результате из исследования были удалены все пиксели, в которых судовые наблюдения покрывали менее 40% площади пикселя.

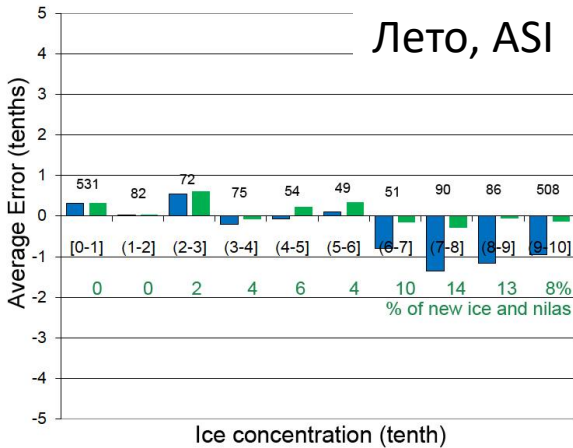
Лето, NASA Team



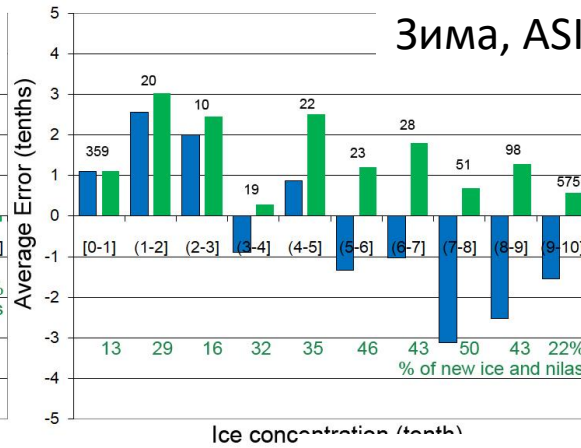
Зима, NASA Team



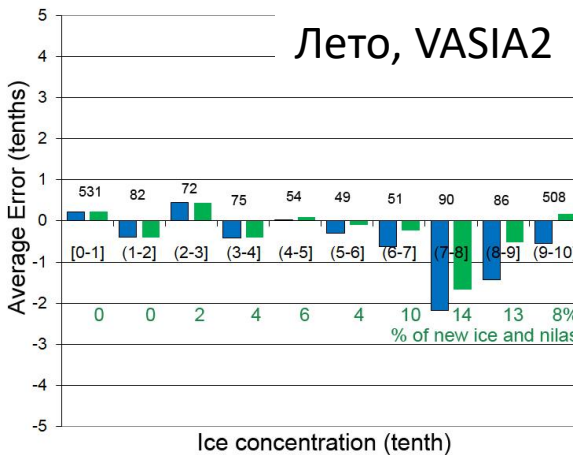
Лето, ASI



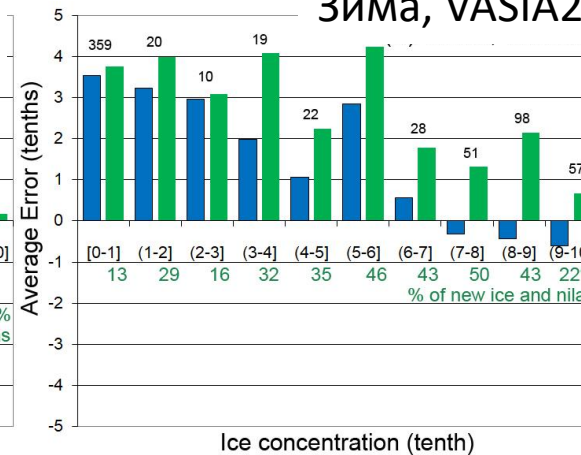
Зима, ASI



Лето, VASIA2



Зима, VASIA2

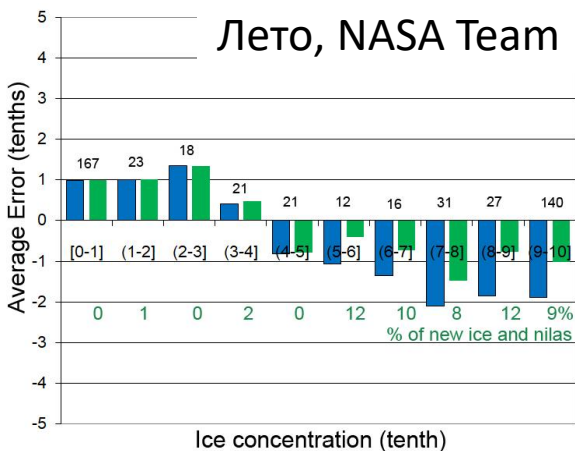


Синие столбцы: общая сплоченность по спутниковым данным - общая сплоченность по судовым данным

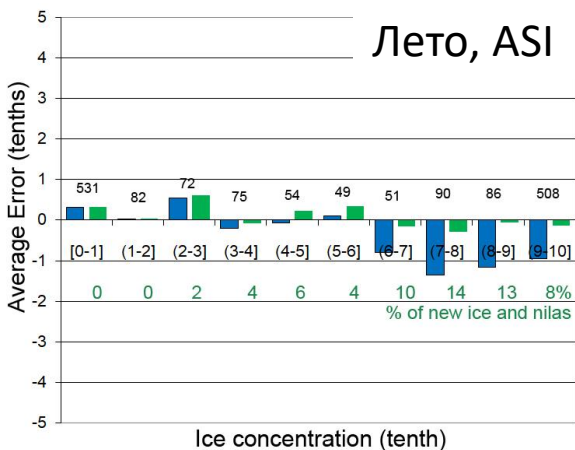
Зеленые столбцы: общая сплоченность по спутниковым данным – (общая сплоченность – сплоченность начальных льдов и ниласа, т.е. < 10 см, по судовым данным)

Цифры над столбцами – количество пикселей, использованных для сравнения в каждой градации сплоченности. Максимальное количество пикселей в градациях 0-1 и 9-10, то есть в редких и очень сплоченных льдах.

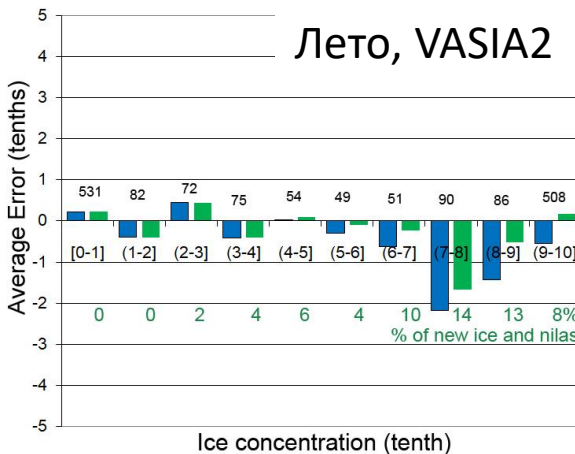
Лето, NASA Team



Лето, ASI



Лето, VASIA2



В летний период (экспедиции в июле – середине сентября):

Редкие льды (1-3 балла) – все алгоритмы в среднем переоценивают сплоченность:

NT переоценивает на 1 – 1,4 балла

ASI переоценивает на 0,1-0,6 балла

VASIA2 пере/недооценивает на 0,4 балла

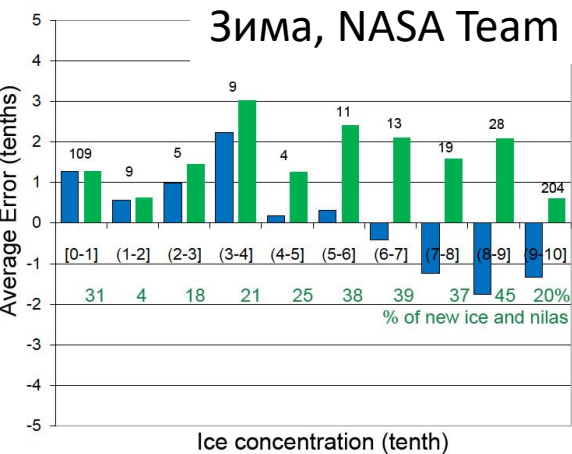
В сплоченных (7-8 баллов), очень сплоченных и сплошных льдах (9-10, 10 баллов) – все алгоритмы недооценивают сплоченность:

NT недооценивает на 1,8 – 2 балла

ASI недооценивает на 1 – 1,4 балла

VASIA2 недооценивает на 0,5 – 2,2 балла

	Лето		
	NT (25 km) C_{so} / C_{so-ni} (8% нач. льдов и ниласа в C_{so})	ASI (12.5 km) C_{so} / C_{so-ni} (9% нач. льдов и ниласа в C_{so})	VASIA2 (12.5 km) C_{so} / C_{so-ni} (9% нач. льдов и ниласа в C_{so})
R^2	0.74 / 0.71	0.81 / 0.79	0.65 / 0.62
Средняя ошибка, баллы	-0.4 / 0.0	-0.3 / +0.1	-0.3 / +0.1
Стандартное отклонение, баллы	2.1 / 2.1	1.8 / 1.9	2.6 / 2.8



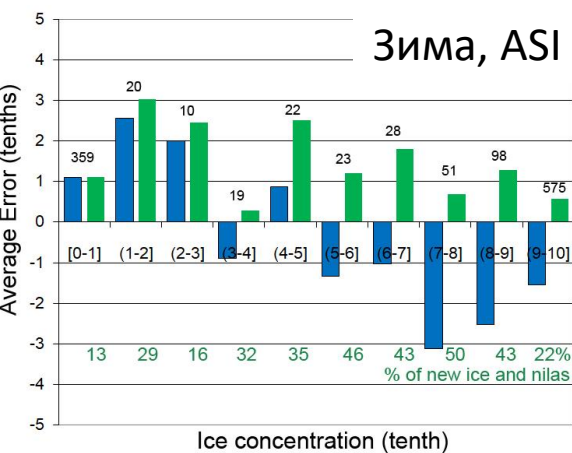
В зимний период (экспедиции с октября по май):

Редкие льды (1-3 балла) – все алгоритмы переоценивают сплоченность:

NT переоценивает на 0,6 – 1,3 балла

ASI переоценивает на 1,1-2,6 балла

VASIA2 переоценивает на 3,0 – 3,5 балла

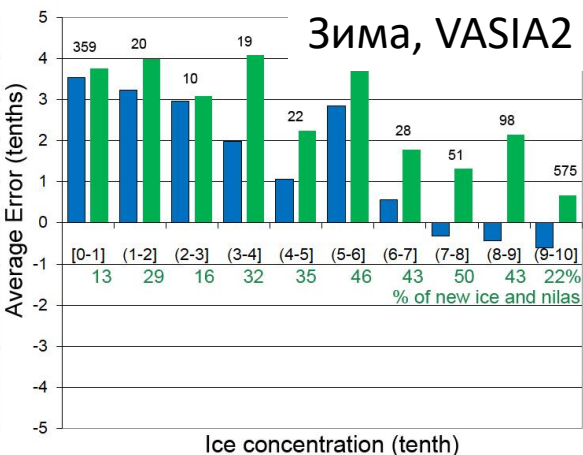


В сплоченных (7-8 баллов), очень сплоченных и сплошных льдах (9-10, 10 баллов) – все алгоритмы недооценивают сплоченность:

NT недооценивает на 1,2 – 1,8 балла

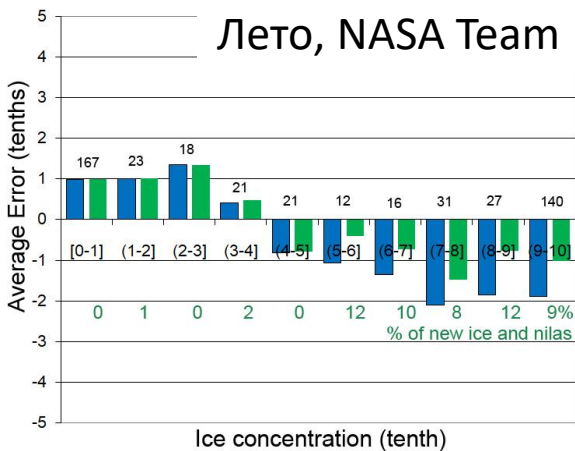
ASI недооценивает на 1,6 – 3,5 балла

VASIA2 недооценивает на 0,3 – 0,6 балла

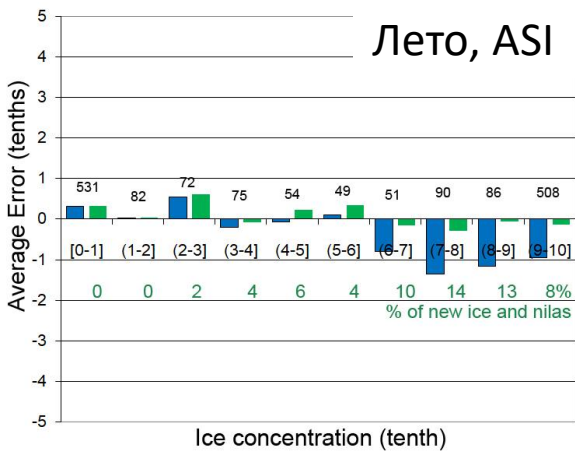


	Зима		
	NT (25 km) C_{so} / C_{so-ni} (24% нач. льдов и ниласа в C_{so})	ASI (12,5 km) C_{so} / C_{so-ni} (28% нач. льдов и ниласа в C_{so})	VASIA2 (12,5 km) C_{so} / C_{so-ni} (28% нач. льдов и ниласа в C_{so})
R^2	0.73/0.59	0.62/0.62	0.46/0.37
Средняя ошибка, баллы	-0.4/+1.1	-0.8/+1.0	+0.2/+1.4
Стандартное отклонение, баллы	2.2/2.6	2.7/2.6	2.6/3.0

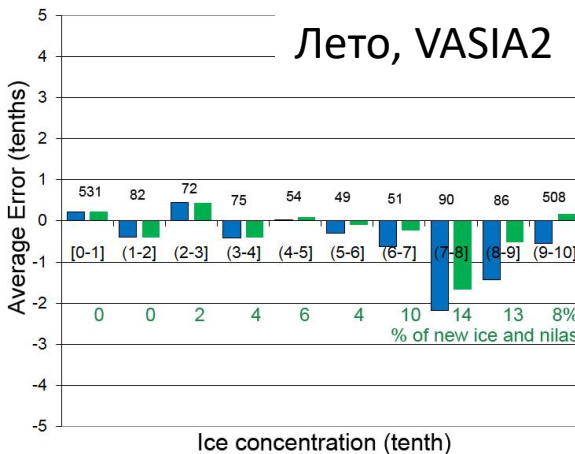
Лето, NASA Team



Лето, ASI



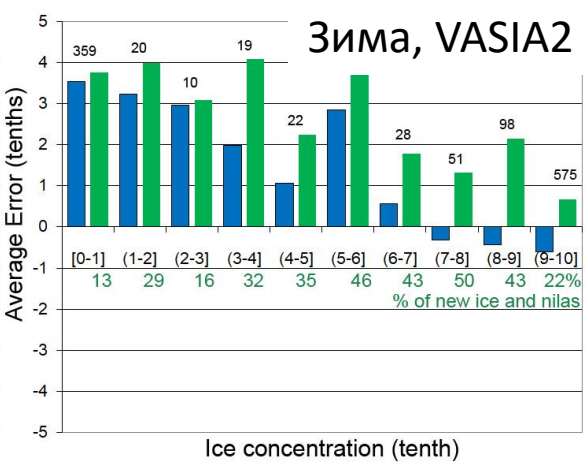
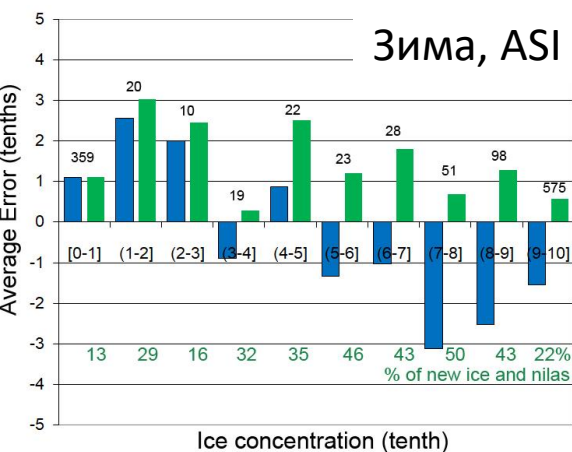
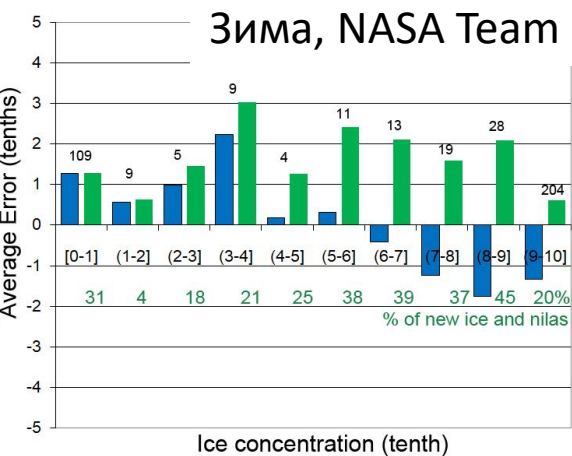
Лето, VASIA2



При удалении из общей сплоченности, полученной с борта судов в летний период, начальных льдов и ниласа (льды толщиной менее 10 см) средняя ошибка уменьшается:

NT от -0,4 до 0

ASI и VASIA2 от -0,3 до +0,1



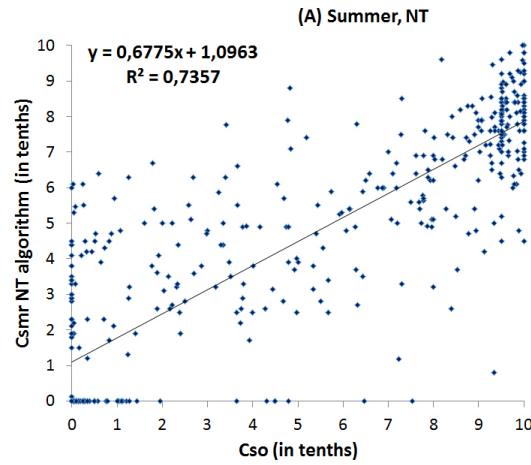
При удалении из общей сплоченности, полученной с борта судов в зимний период начальных льдов и nilаса (толщиной менее 10 см) средняя ошибка увеличивается:

NT от -0,4 до +1,1

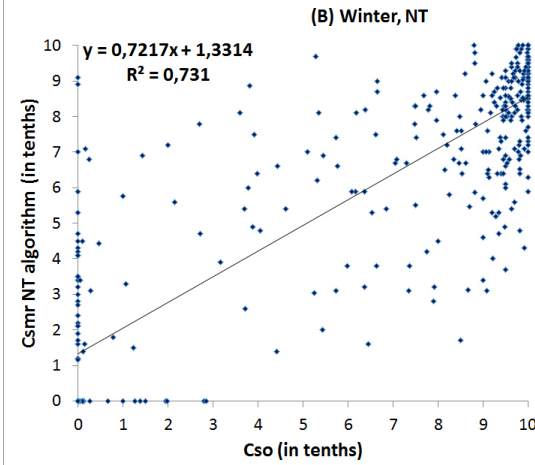
ASI от -0,8 до +1,0

VASIA2 от +0,2 до +1,4

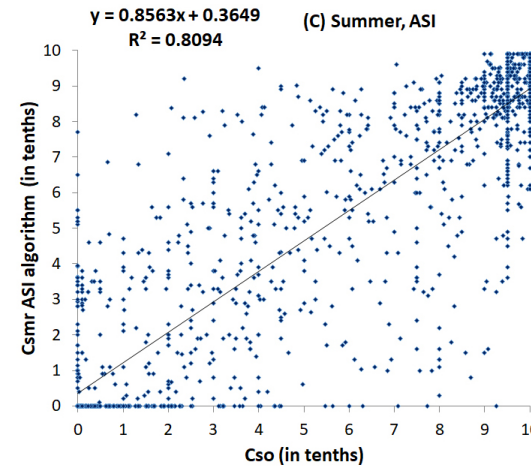
Лето, NASA Team



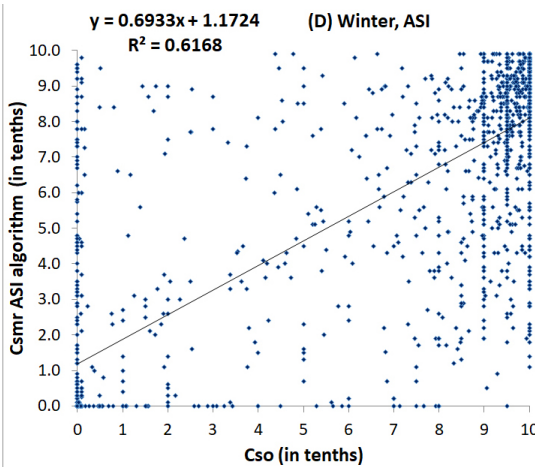
Зима, NASA Team



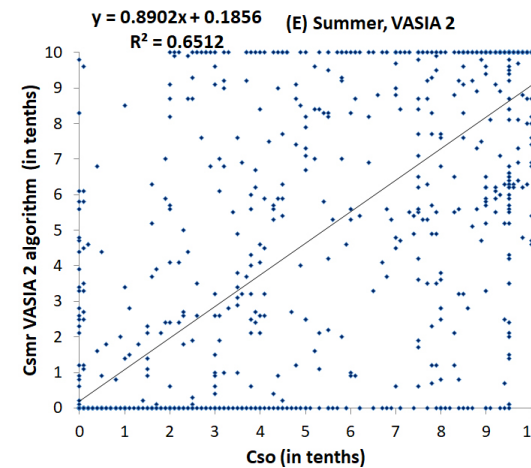
Лето, ASI



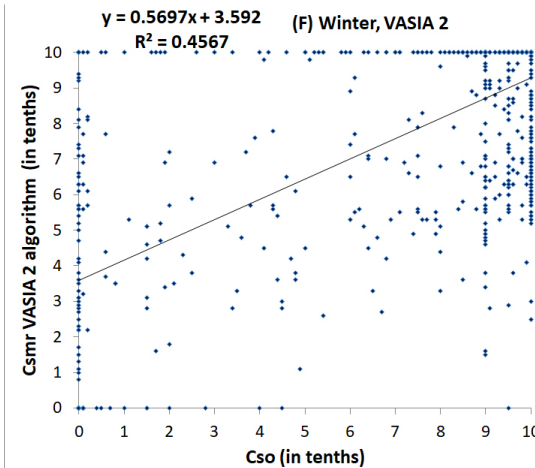
Зима, ASI



Лето, VASIA2



Зима, VASIA2



РАЗРУШЕННОСТЬ

Melt	NT	ASI	VASIA2
5 Преобладает битый лед в виде сильно обтаявших бесформенных глыб, глубоко сидящих в воде. Лед сильно пропитан водой, имеет темно-серый цвет.	-1.3 / -1.7	-1.1 / -0.1	-0.6 / 0.1
4 Сильно разрушенный лед. Повсюду видны проталины и промоины, закончен распад сморозей. Среди битого льда появились грибовидные льдины с подводными таранами.	-1.2 / -2.7	-2.1 / -1.7	-1.4 / -0.4
3 Озерки распространены по всей поверхности льда. Снег полностью растаял. Местами видны проталины. Лед в стадии обсыхания. Цвет льда белесый.	-1.0 / -1.7	-0.5 / -1.2	-0.5 / -0.7
2 Поверхность льда потемнела. Снег частично растаял. Повсюду видны большие лужи и отдельные озерки.	-1.1 / -1.8	-0.3 / -1.0	-0.2 / -1.1
1 На поверхности льда наблюдаются отдельные снежицы в виде темных пятен и луж. Начался распад сморозей.	-1.8 / -1.8	-0.1 / -0.4	0.4 / 0.1
0 Признаки таяния отсутствуют.	-1.5 / -1.5	-0.5 / -0.8	0.1 / -2.0

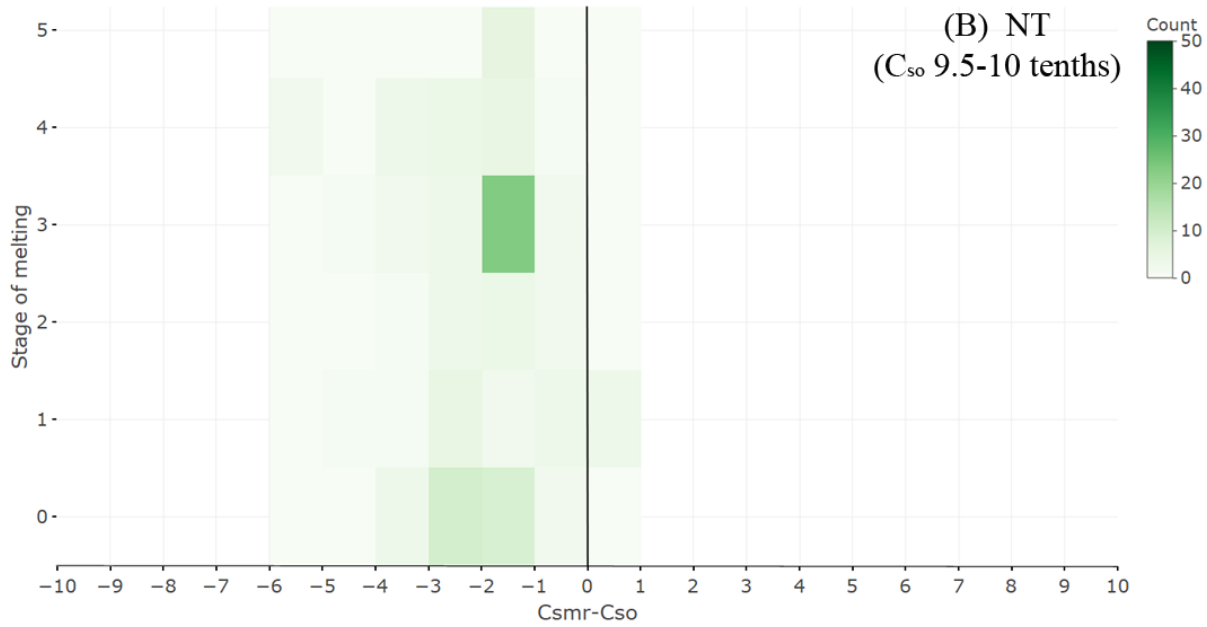
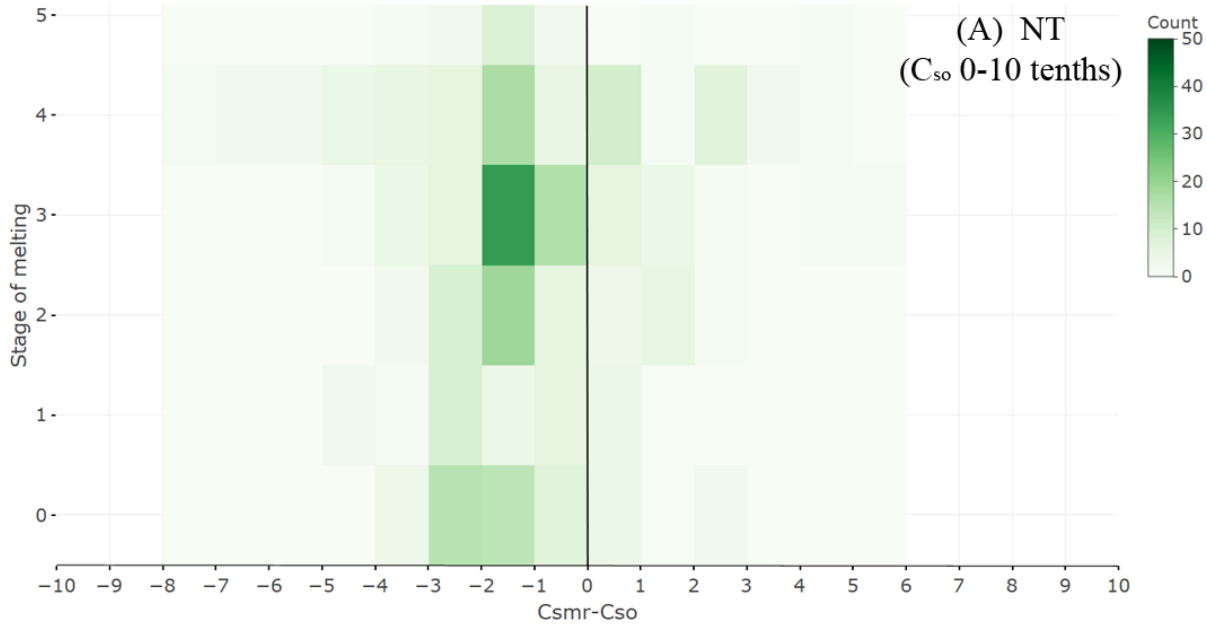


РАЗРУШЕННОСТЬ NASA TEAM

Средняя ошибка для всего массива данных -0,4 балла

Для тех данных, где наблюдалась разрушенность, от -1,0 до -1,8 баллов

Для сплошных льдов (9,5-10 баллов), где наблюдалась разрушенность, от -1,5 до -2,7 баллов

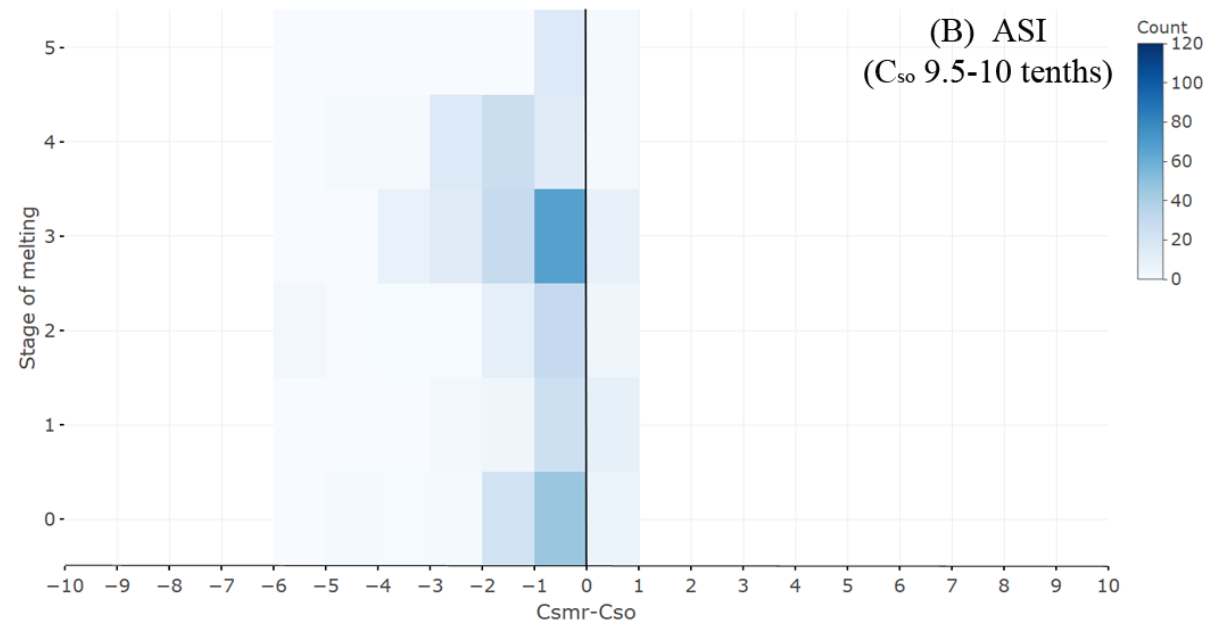
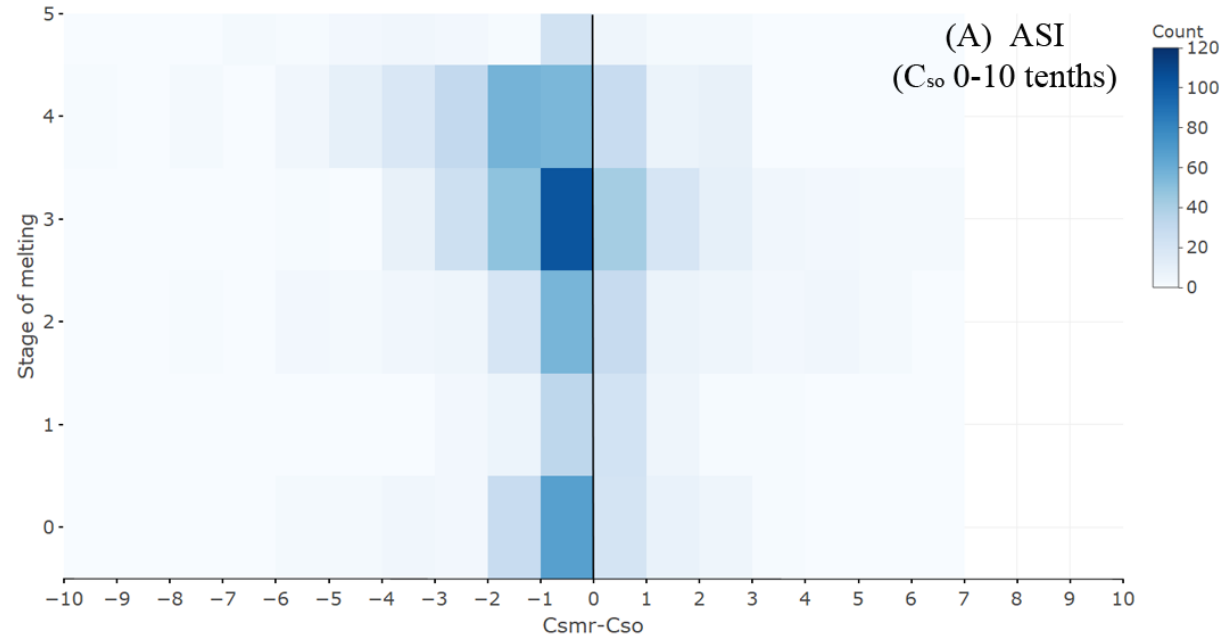


РАЗРУШЕННОСТЬ ASI

Средняя ошибка для всего массива данных -0,3 балла

Для тех данных, где наблюдалась разрушенность от -0,1 до -2,1

Для сплошных льдов (9,5-10 баллов), где наблюдалась разрушенность от -0,1 до -1,7

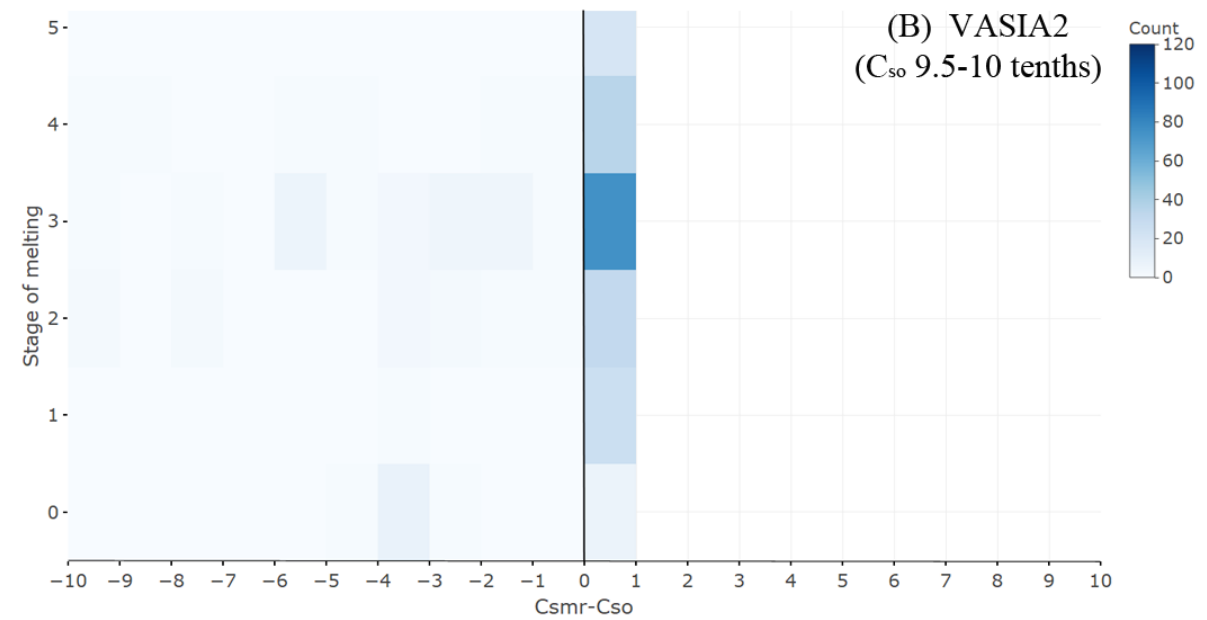
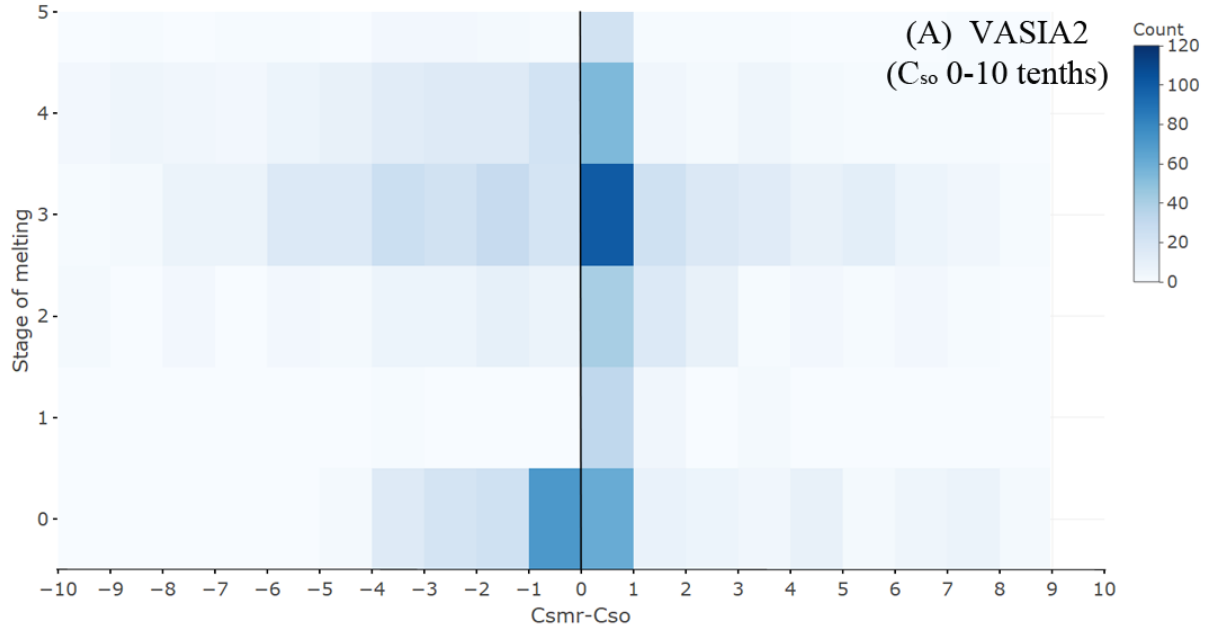


РАЗРУШЕННОСТЬ VASIA2

Средняя ошибка для всего массива данных -0,3 балла

Для тех данных, где наблюдалась разрушенность от +0,4 до -1,4

Для сплошных льдов (9,5-10 баллов), где наблюдалась разрушенность от +0,1 до -2,0



ВЫВОДЫ:

- Впервые данные микроволновой радиометрии сравнивались с уникальным массивом данных ААНИИ, не имеющем аналогов в мире. Это внесло некоторые подтверждения и корректировки к ранее выполненным исследованиям, которые проводились по другим натурным данным (протоколы ASPeCt, IceWatch/ASSIST).
- Показано влияние наличия льдов толщиной менее 10 см и различных стадий разрушенности на ошибки в определении сплоченности.
- Были показаны особенности алгоритма VASIA2 в сравнении с широко используемыми и распространенными в мире алгоритмами NASA Team и ASI. У алгоритма VASIA2 выявлены некоторые сильные стороны, такие как хорошие показатели в сплошных льдах, хорошая чувствительность к начальным льдам и меньшая чувствительность к проявлениям процессов таяния льда. Данные результаты будут использованы для дальнейшего усовершенствования алгоритма.
- Данные микроволновой радиометрии несомненно имеют важное значение для ряда научных задач в силу их долговременности, регулярности и площадного покрытия. Также в последнее время часто пытаются использовать эти данные для судоходства, в силу того, что их можно обрабатывать автоматически. Однако при решении научных задач следует учитывать показанные ошибки каждого из алгоритмов, а использовать данные микроволновой радиометрии для судоходства только в случае полного отсутствия другой спутниковой информации и крайне осторожно.

Спасибо за внимание!

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования, грант №[05.616.21.0109](#) (RFMEFI61619X0109)

Результаты опубликованы в:
Alekseeva, T.; Tikhonov, V.; Frolov, S.; Repina, I.; Raev, M.; Sokolova, J.; Sharkov, E.; Afanasieva, E.; Serovetnikov, S. Comparison of Arctic Sea Ice Concentrations from the NASA Team, ASI, and VASIA2 Algorithms with Summer and Winter Ship Data. Remote Sens. 2019, 11, 2481.

taa@aari.ru

