

# Данные микроволновых радиометрических измерений морского льда в судовом подспутниковом эксперименте в Карском море в мае 2024 года

Ермаков Д.М.<sup>1,2</sup>, Кузьмин А.В.<sup>1</sup>, Тихонов В.В.<sup>1,3,4</sup>, Алексеева Т.А.<sup>3,1</sup>,  
Сероветников С.С.<sup>3</sup>, Афанасьева Е.В.<sup>3,1</sup>, Котельников В.Д.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ИКИ РАН

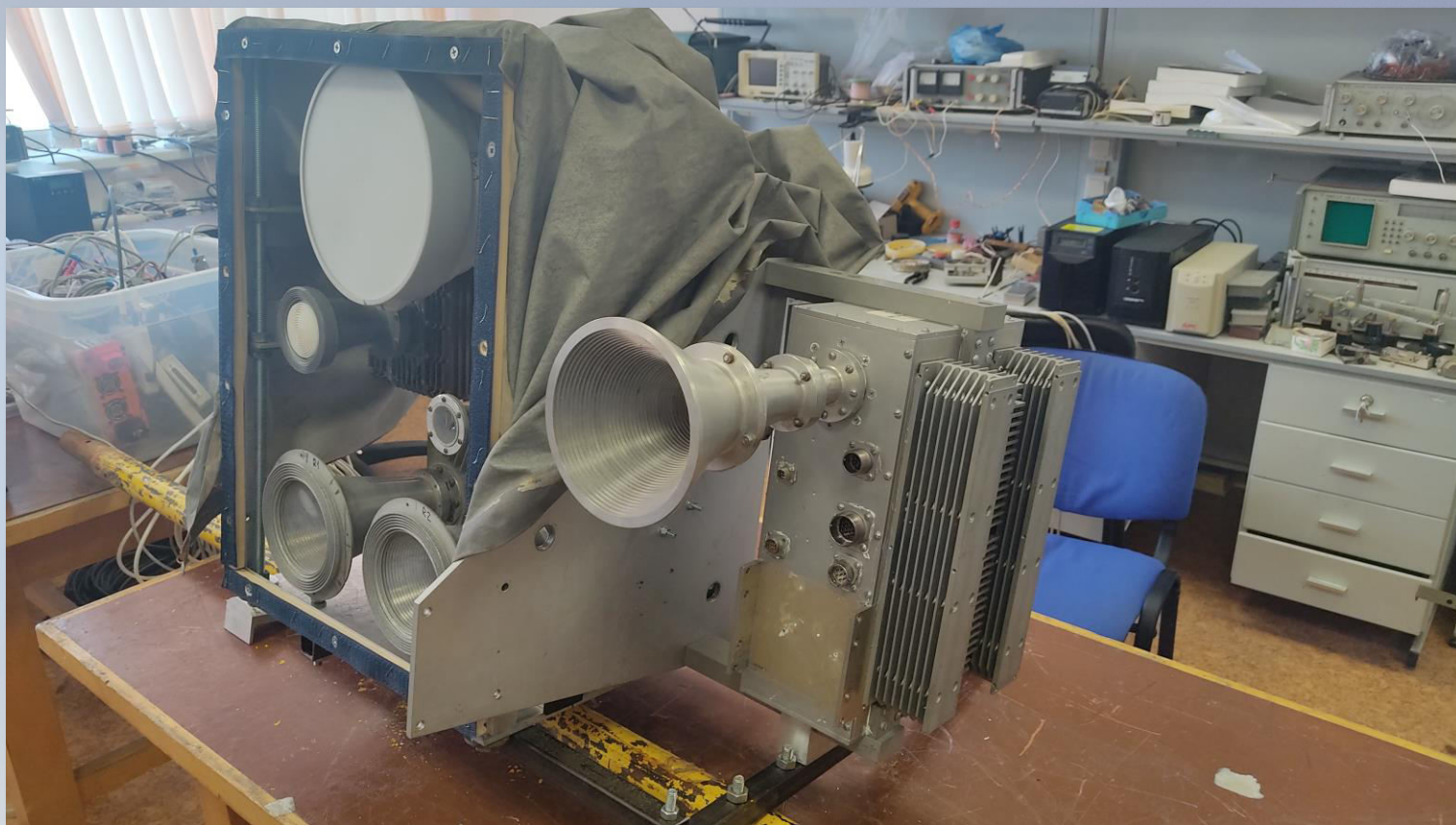
<sup>2</sup>ФИРЭ РАН

<sup>3</sup>ААНИИ

<sup>4</sup>ИВЭП СО РАН



## Состав измерительной аппаратуры



Радиометры 5,5 ГГц (В/Г); 19 ГГц (В); 22,2 ГГц (В); 37 ГГц (В+Г); 60 ГГц (В); 90 ГГц (В) – три измерения в секунду.

Термодатчики для измерения температуры воздуха, согласованной нагрузки – три измерения в секунду.

Инclinометр для контроля углов ориентации радиометрического комплекса – три измерения в секунду.

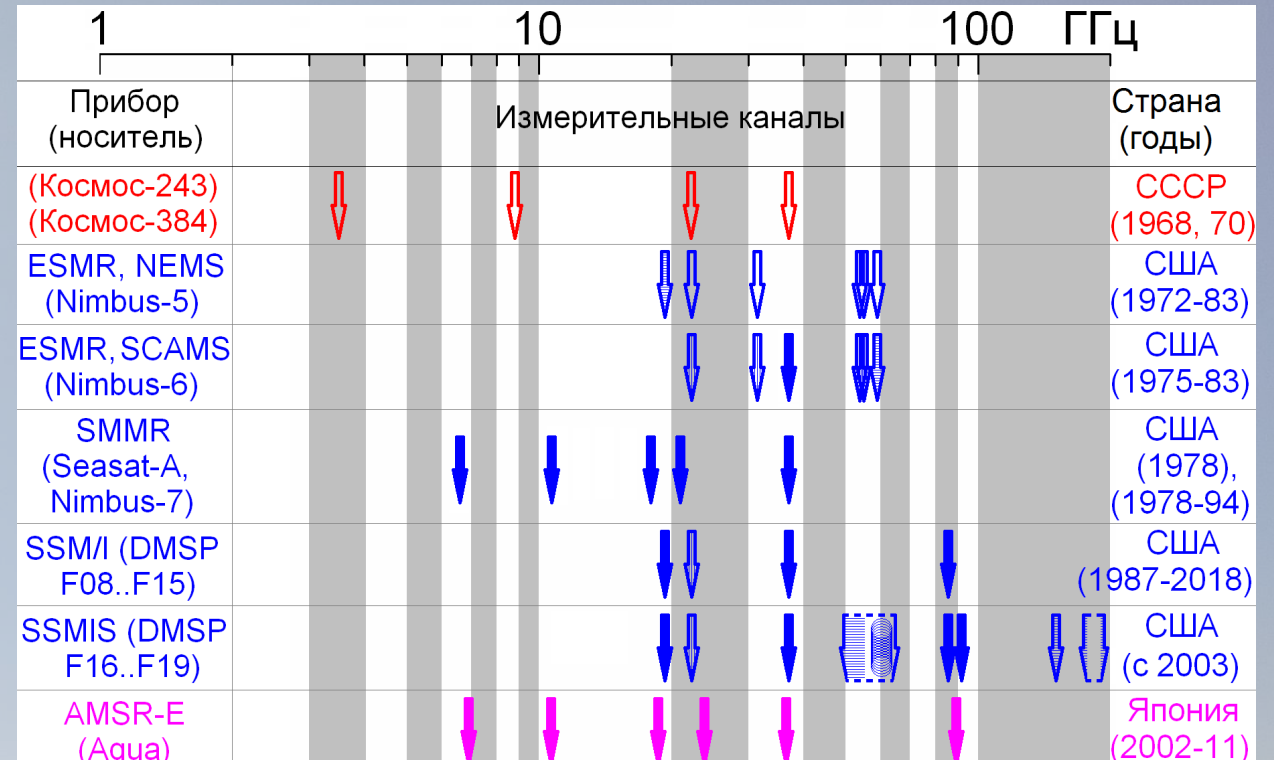
GPS-антенна для координатной привязки измерений – одно измерение в секунду.

Видеокамера – 0,5 кадра в секунду.

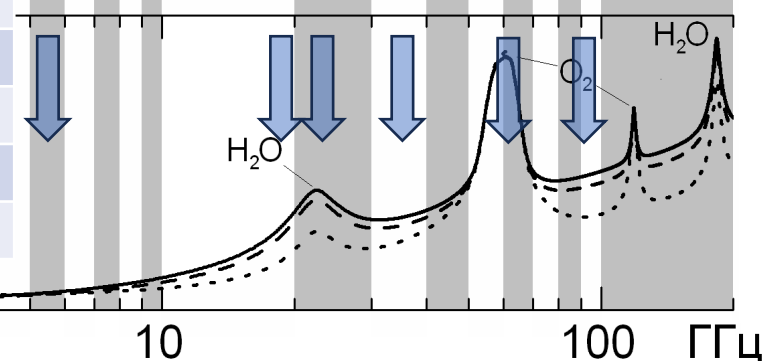
Судовой телевизионно-метеорологический комплекс, журнал ледовых наблюдений



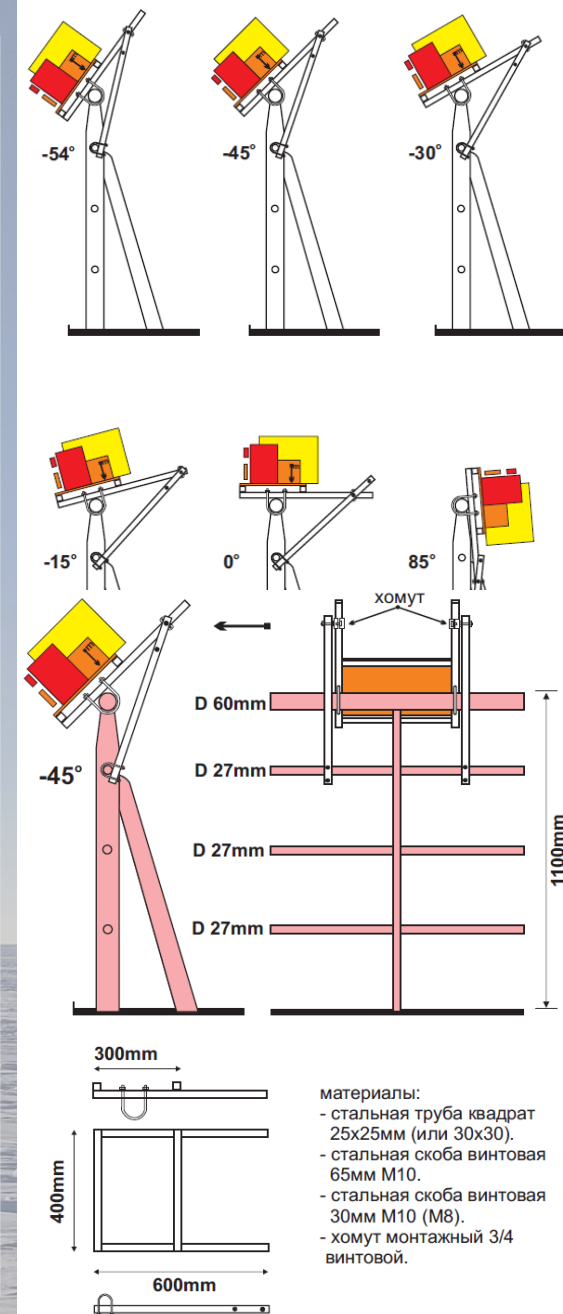
# Микроволновые радиометрические каналы



Прибор	Центральная частота, ГГц	Поляризация	Угловая ширина ДНА, по уровню -3 дБ, град
1. R54	5,4	ВП/ГП	21
2. R05	60	ВП	9
3. R03	92	ВП	9
4. R08-1	36	ВП+ГП	9
5. R08-2	36	ВП+ГП	9
6. P22M	19,0; 22,2	ВП	18

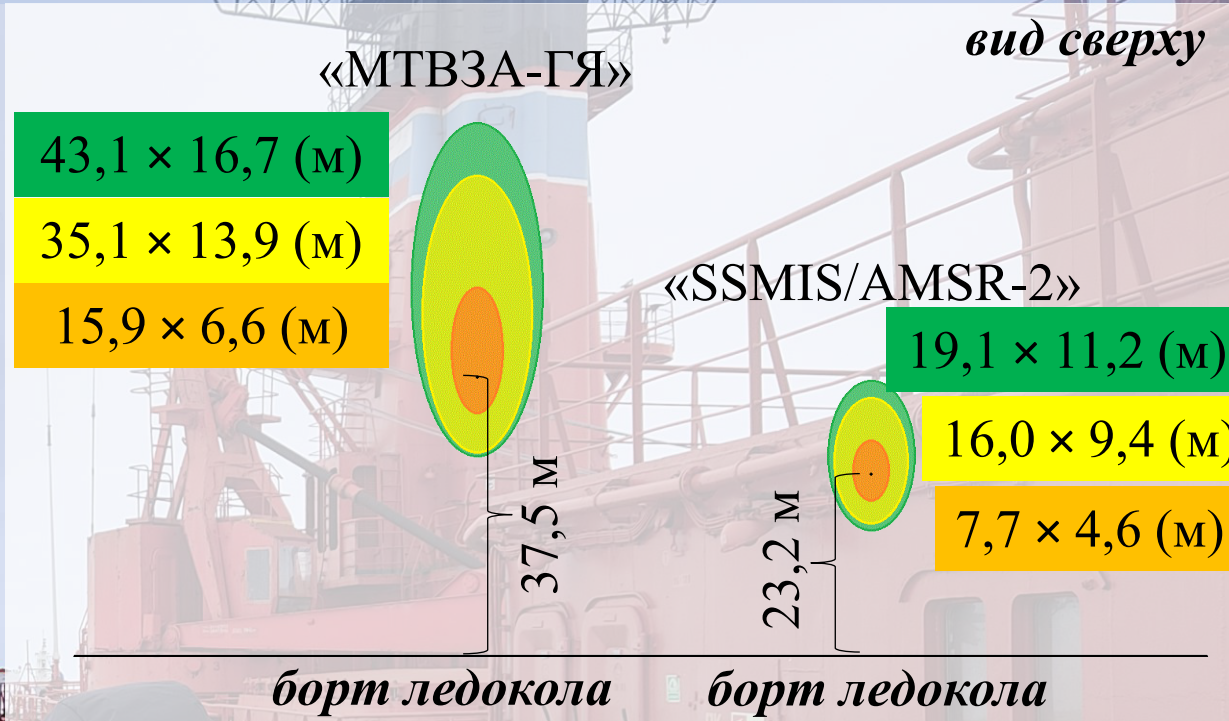
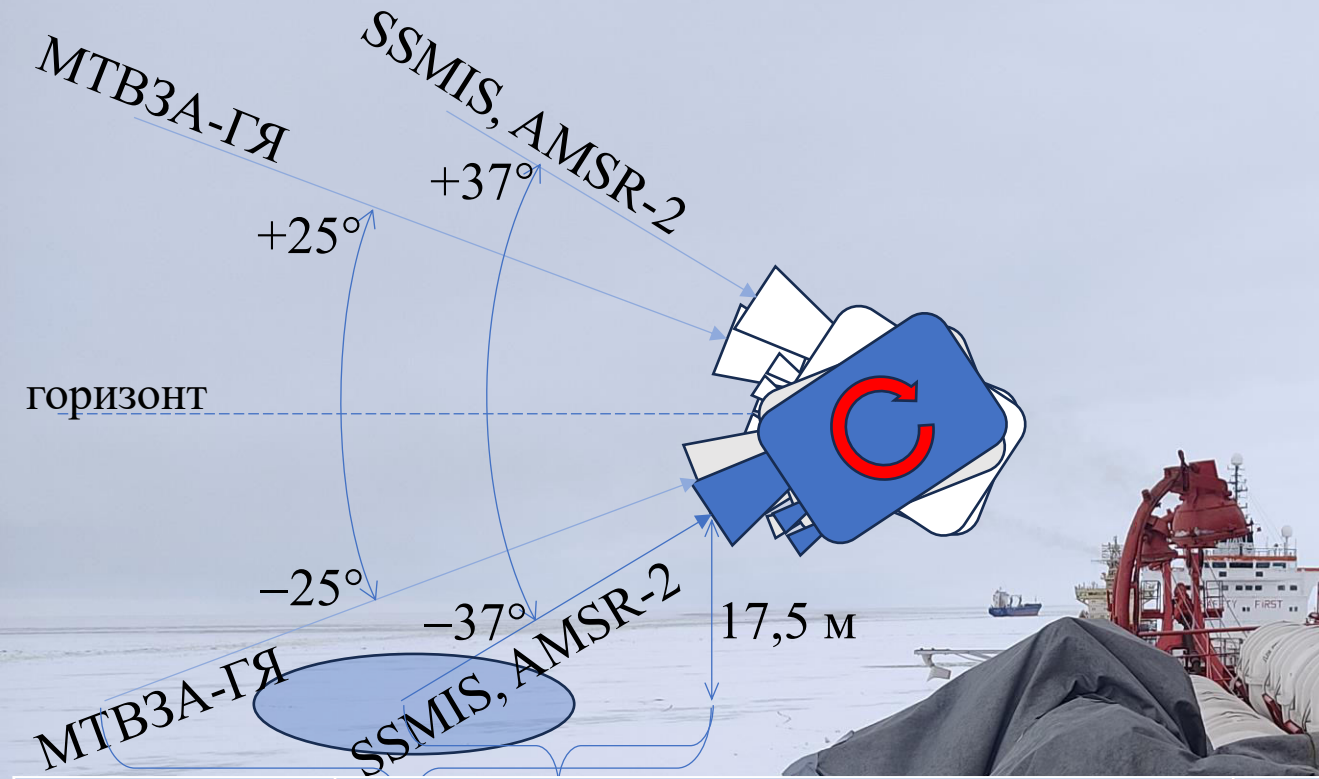


# Размещение радиометрического комплекса на борту атомного ледокола





# Основные режимы наблюдений (по SSMIS/AMSR-2 и МТВЗА-ГЯ)



Прибор	Режим SSMIS/AMSR-2		Режим МТВЗА-ГЯ		Центральная частота
	Размер пятна, м	Удалённость, м	Размер пятна, м	Удалённость, м	
1. R54	19,1×11,1	25,6	43,1×16,7	46,1	70 ГГц
2. R05	7,7×4,6	23,6	15,9×6,6	38,9	2,2 ГГц
3. R03	7,7×4,6	23,6	15,9×6,6	38,9	90 ГГц
4. R08-1, -2	7,7×4,6	23,6	15,9×6,6	38,9	
5. P22M	16,0×9,4	24,9	35,1×13,9	43,5	



# Радиометрическая калибровка



Калибровка по «горячей» и «холодной» согласованным нагрузкам

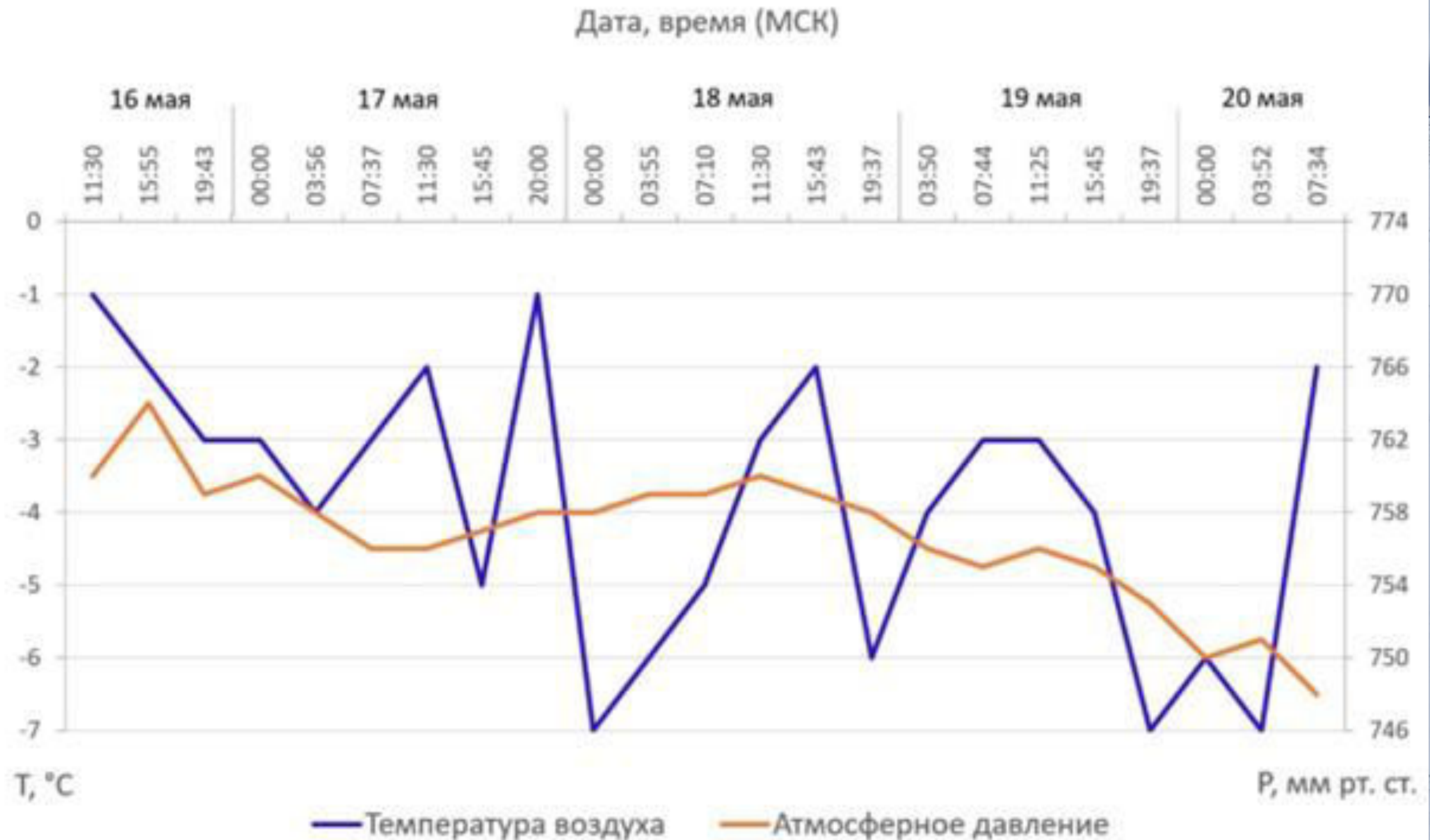


Калибровка по атмосфере



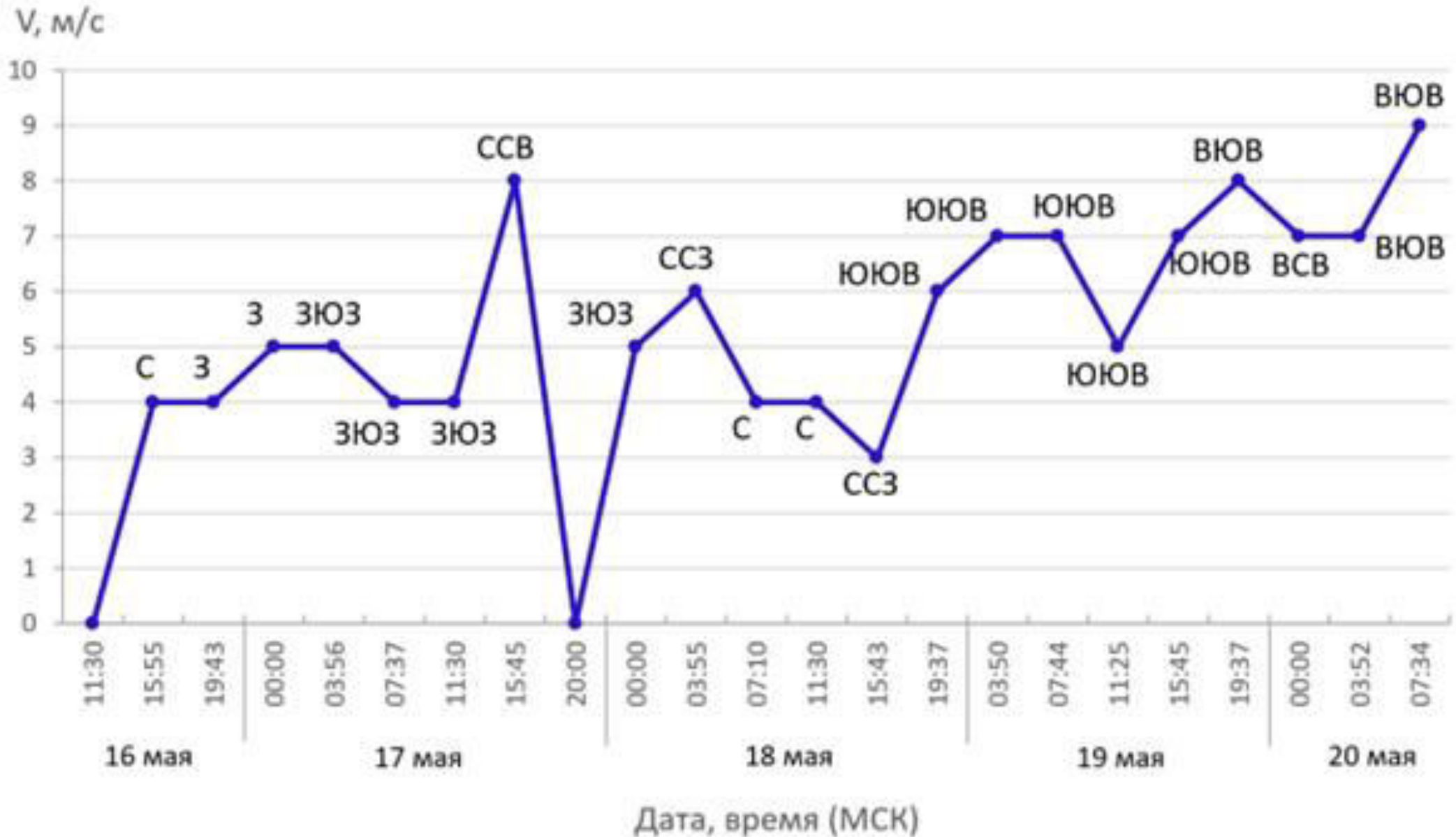


# Температура воздуха и атмосферное давление в районе следования а/л «Ямал»



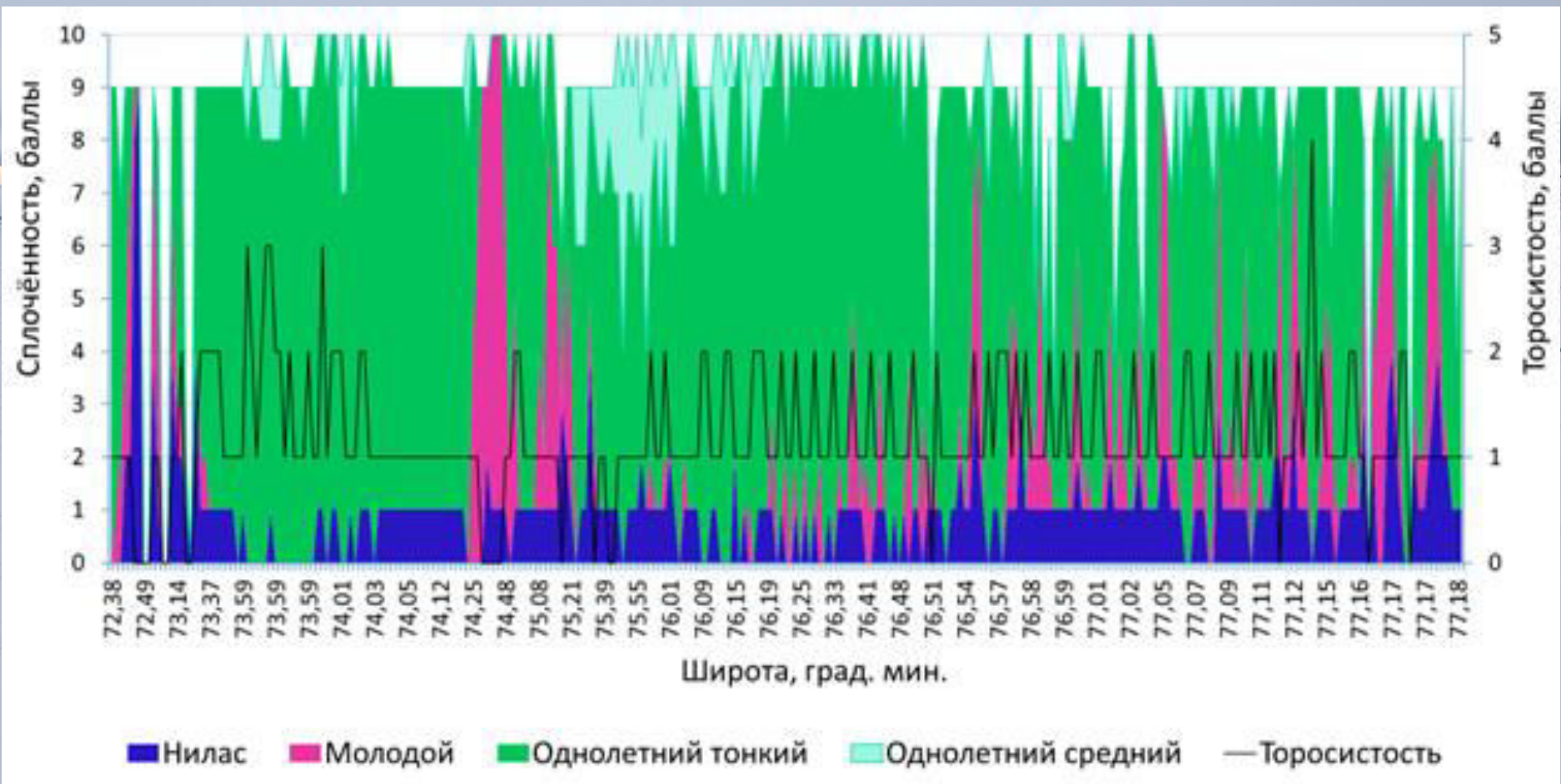


# Скорость и направление ветра в районе следования а/л «Ямал»





# Общая сплочённость, возрастной состав и торосистость ледяного покрова

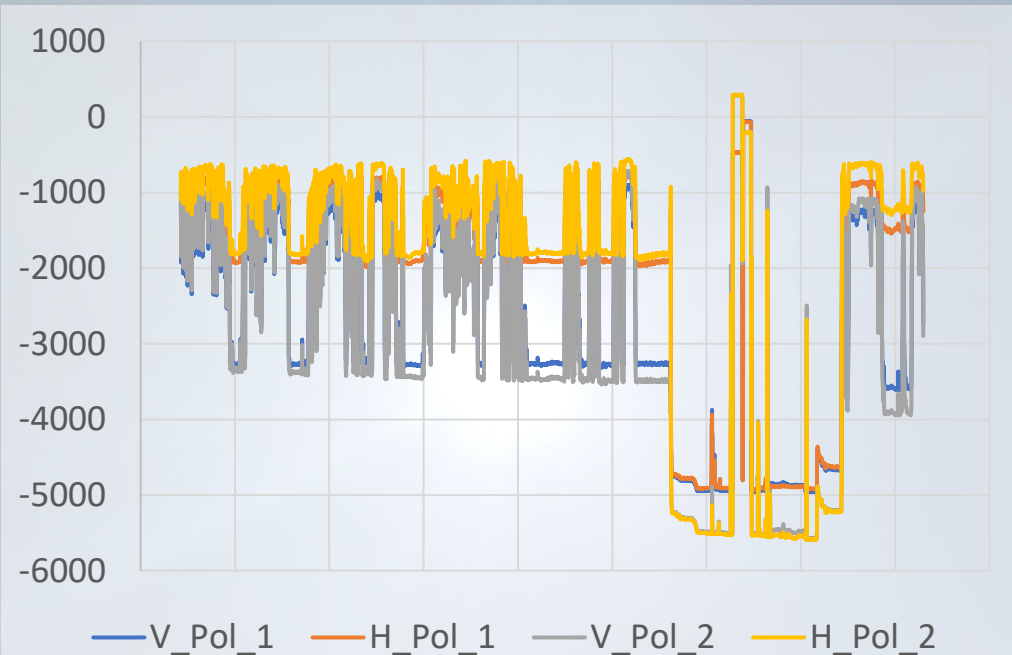


На маршруте преобладал очень сплочённый лёд (9–10 баллов по 10-балльной шкале), в основном из однолетнего тонкого (30–70 см) с включением однолетнего среднего (70–120 см). Максимальное количество однолетнего среднего – в районе 75°21'–76°01' с.ш. (5–6 баллов). Местами увеличение молодых (10–30 см) и ниласовых (<10 см) льдов. Торосистость – 1–2 балла по 5-балльной шкале; в районе 74°00' с.ш. – увеличение до 3 баллов; в районе 77°14' с.ш. – до 4 баллов.

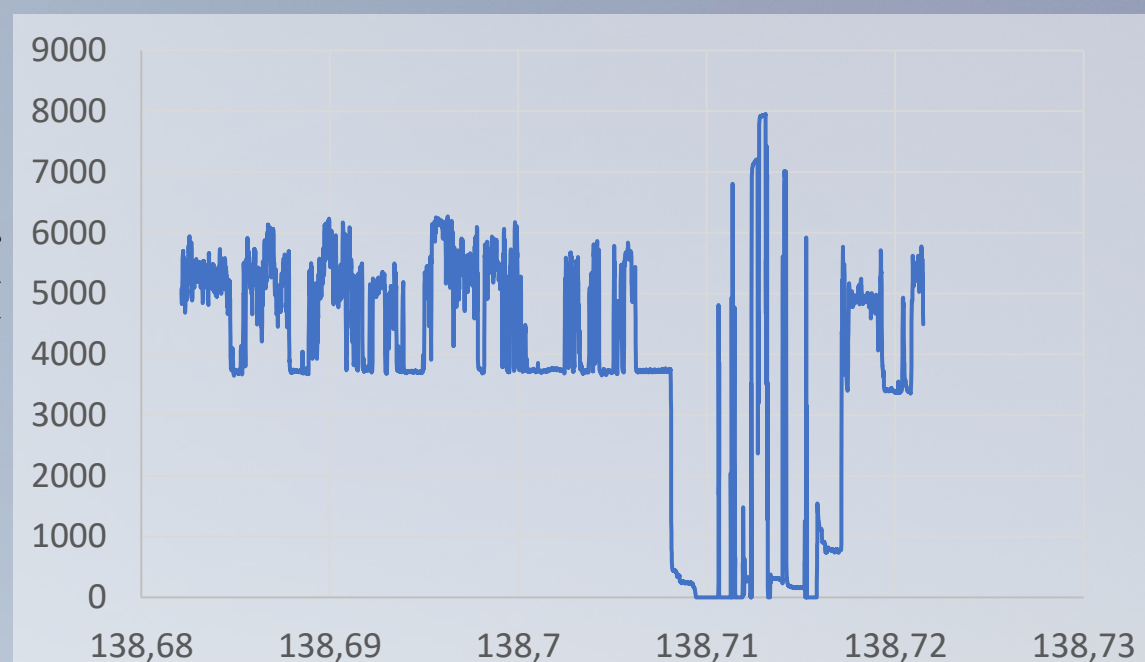


# Примеры радиометрических записей

Яркая температура  
на 37 ГГц, (В+Г) усл. ед.



Яркая температура  
на 90 ГГц (В), усл. ед.



Угол от горизонта  
(крен), ° × 100



Время в сутках от начала года

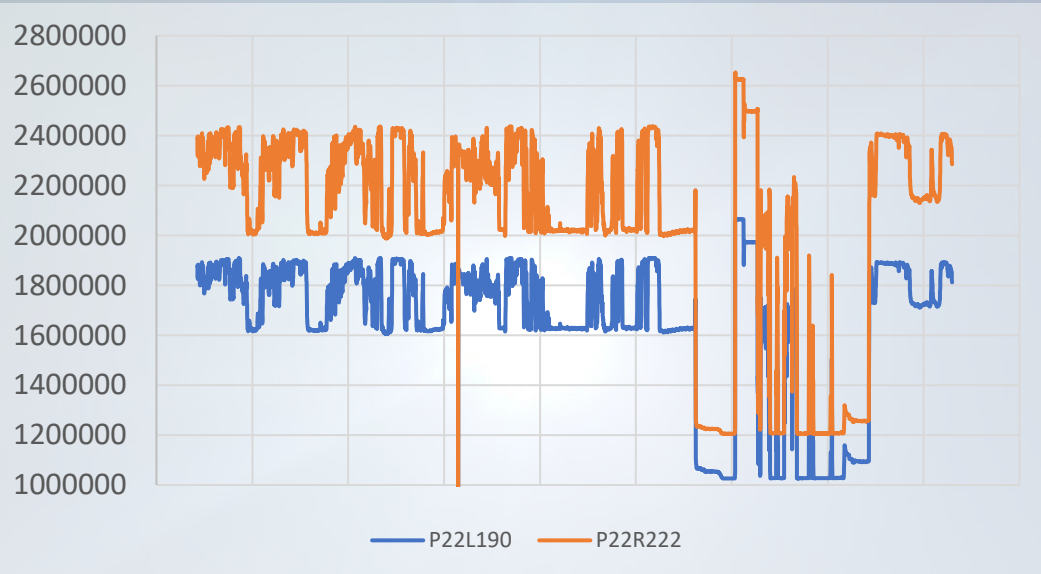


Время в сутках от начала года

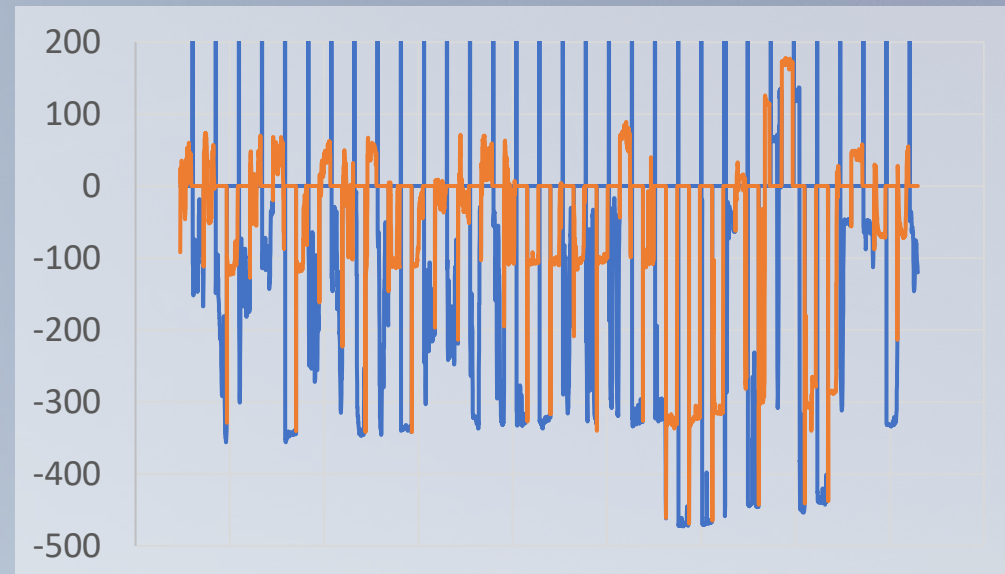


# Примеры радиометрических записей

Яркостная температура на  
19,0 и 22,2 ГГц (В) усл. ед.



Яркостная температура  
на 5,5 ГГц (В), усл. ед.



Угол от горизонта  
(крен), ° × 100



Время в сутках от начала года



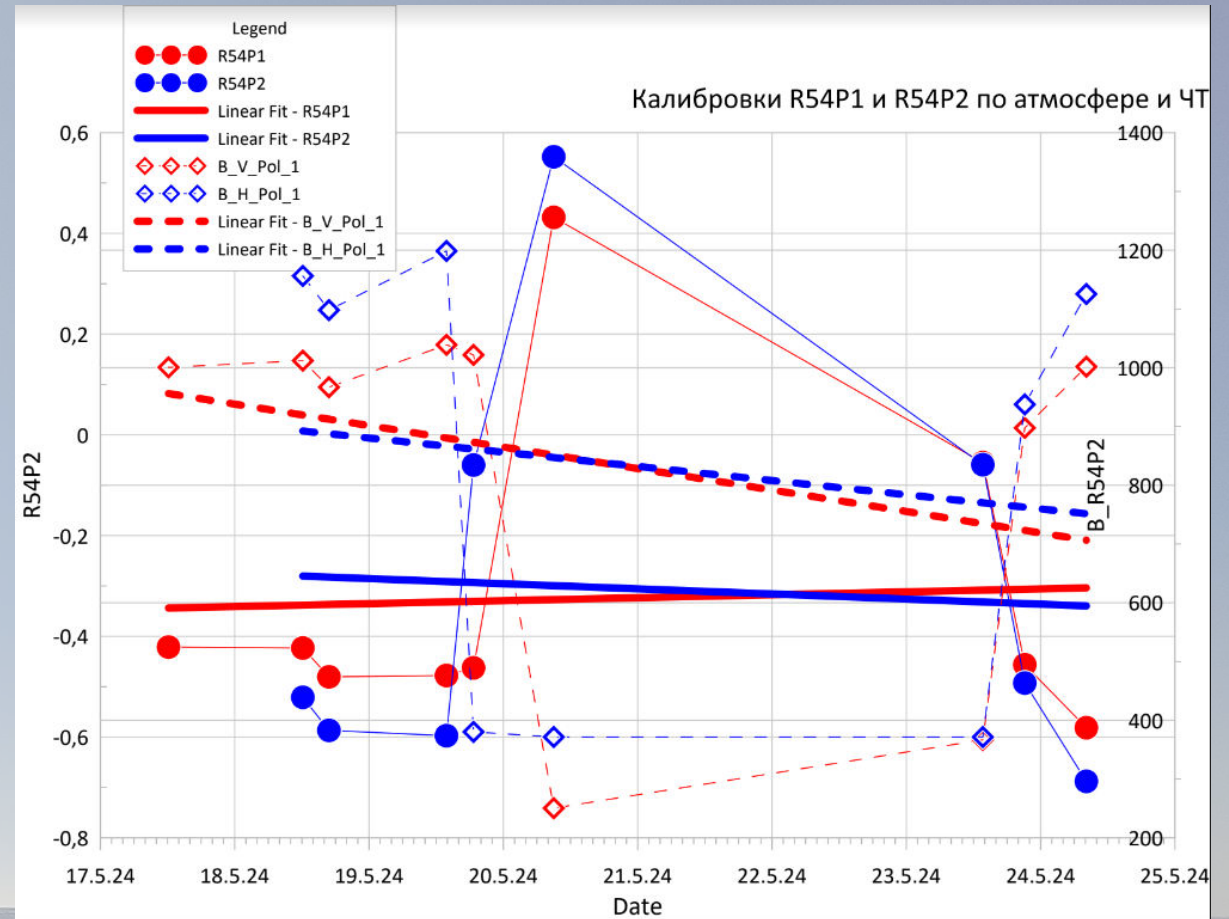
Время в сутках от начала года



# Радиометрическая калибровка

	AA	AB	BA	BB
V_Pol_1	-0.002408	109.47505	-1.0224426	46774.114
H_Pol_1	-0.0024955	113.45256	-1.0134311	46364.522
V_Pol_2	-0.0028577	129.89722	-1.1407359	52128.073
H_Pol_2	-0.0028539	129.72218	-1.1516021	52621.77
P22L190	8.48E-07	-0.0382602	-0.9037824	40784.59
P22R222	5.78E-07	-0.0260324	-0.4315352	19362.262
R03	-0.0009764	44.391792	6.8188684	-309748.83

Линейные тренды калибровочных коэффициентов



Калибровочные коэффициенты по датам

Date	V_Pol_1	H_Pol_1	V_Pol_2	H_Pol_2	P22L190	P22R222	R54P1	R54P2	R03	B_V_Pol_1	B_H_Pol_1	B_V_Pol_2	B_H_Pol_2	B_P22L190	B_P22R222	B_R54P1	B_R54P2	B_R03
17.05.24 12:10	0.0610	0.0615	0.0556	0.0554	0.00029	0.00021	-0.4214		0.0367	315.0561	314.5229	300.1493	300.1473	-280.4134	-245.5702	1000.6000		23.6258
18.05.24 12:10	0.0605	0.0609	0.0548	0.0545	0.00028	0.00021	-0.42330	-0.52120	0.0343	315.2017	314.8226	300.5964	300.5981	-274.5470	-243.6446	1012.0000	1156.2000	39.1458
18.05.24 16:50	0.0604	0.0610	0.0510	0.0508	0.00029	0.00021	-0.4805	-0.5868	0.0345	315.0100	315.2301	297.3438	297.3512	-277.3310	-248.4549	966.8900	1098.0000	39.8590
19.05.24 13:50	0.0599	0.0603	0.0514	0.0512	0.00028	0.00021	-0.4778	-0.5974	0.0336	316.1477	315.9180	298.5480	298.5715	-268.8316	-234.4098	1039.0000	1198.6000	46.1533
19.05.24 18:40	0.0587	0.0590	0.0510	0.0508	0.00028	0.00021	-0.4627	-0.0600	0.0334	313.5020	313.1593	298.8142	298.8529	-271.4803	-237.0736	1021.8000	380.3053	48.2307
20.05.24 9:00	0.0603	0.0607	0.0557	0.0555	0.00028	0.00021	0.4317	0.5520	0.0340	315.0297	314.7833	302.6774	302.6591	-273.6317	-244.0359	250.4402	371.5269	41.1100
23.05.24 13:40	0.0617	0.0621	0.0529	0.0527	0.00029	0.00022	-0.0552	-0.0594		315.7088	315.6907	298.1612	298.1273	-283.5322	-249.0849	366.6542	371.5269	
23.05.24 21:10	0.0620	0.0624	0.0509	0.0507	0.00029	0.00021	-0.4564	-0.4928		320.3033	320.0648	299.0009	299.0280	-284.1249	-247.8084	897.5537	937.5215	
24.05.24 8:10	0.0578	0.0583	0.0477	0.0475	0.00029	0.00021	-0.5816	-0.688		314.6359	314.5048	294.4906	294.4643	-276.2221	-241.8307	1001.7000	1125.4000	



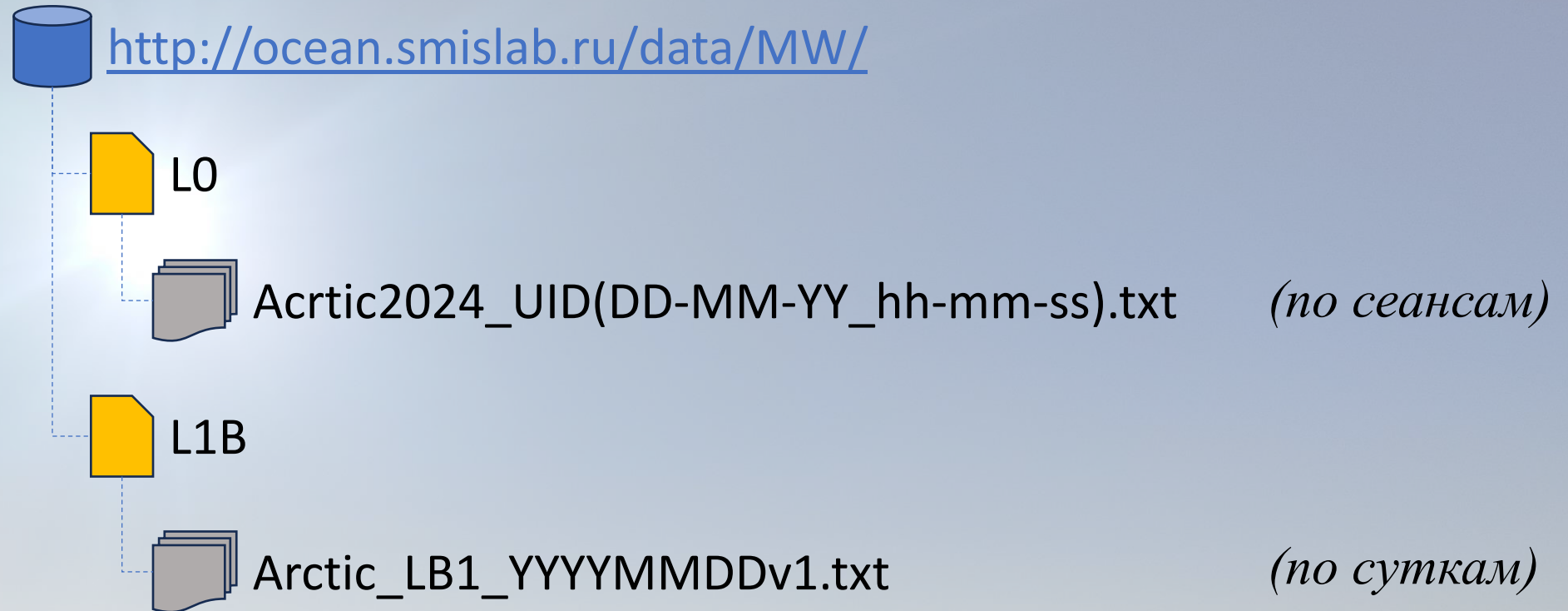
# Состав файлов данных уровня L0 и L1B

Колонка	Тип значения	Расшифровка
1. MRK	Целое без знака	Маркер смены режимов работы и других событий (служебная информация)
2. Abs.Day	Десятичная дробь	Точное число суток (включая долю текущих суток от полных) с начала текущего года до момента измерений
3. hh	Целое без знака	Час измерений (от 0 до 23) по судовому времени
4. mm	Целое без знака	Минута измерений (от 0 до 59) по судовому времени
5. ss	Целое без знака	Секунда измерений (от 0 до 59) по судовому времени
6. ms	Целое без знака	Миллисекунда измерений (от 0 до 999) по компьютерному таймеру
7. DD	Целое без знака	День месяца измерений (от 1 до 31)
8. MM	Целое без знака	Номер месяца измерений (от 1 до 12)
9. YYYY	Целое без знака	Год измерений (2024)
10. V_Pol_1	Целое со знаком	Показания в канале R08-1 36 ГГц ВП
11. H_Pol_1	Целое со знаком	Показания в канале R08-1 36 ГГц ГП
12. V_Pol_2	Целое со знаком	Показания в канале R08-2 36 ГГц ВП
13. H_Pol_2	Целое со знаком	Показания в канале R08-2 36 ГГц ГП
14. R03	Целое со знаком	Показания в канале R03 92 ГГц ВП
15. AngleX_9	Целое со знаком	Угол отклонения оси зрения радиометрического комплекса от горизонта в сотых долях градуса (отрицательные значения — вниз, к надиру)
16. AngleY_9	Целое со знаком	Угол поворота комплекса вокруг оси зрения в сотых долях градуса (отрицательные значения — против часовой стрелки)
17. R54_NG	Целое со знаком	Опорная нагрузка R54 (для внутренней калибровки)
18. R54_P1	Целое со знаком	Показания в канале R54 5,4 ГГц ГП
19. R54_P2	Целое со знаком	Показания в канале R54 5,4 ГГц ВП
20. R54_TL	Целое со знаком	Температура опорной нагрузки R54
21. P22L190	Целое со знаком	Показания в канале P22M 19,0 ГГц ВП
22. P22R222	Целое со знаком	Показания в канале P22M 22,2 ГГц ВП
23. GPS_hour	Целое без знака	Час измерений по UTC (от 0 до 23) по информации приёмника GPS/ГЛОНАСС
24. GPS_min	Целое без знака	Минута измерений по UTC (от 0 до 59) по информации приёмника GPS/ГЛОНАСС
25. GPS_sec	Целое без знака	Секунда измерений по UTC (от 0 до 59) по информации приёмника GPS/ГЛОНАСС
26. GPS_ms	Целое без знака	Миллисекунда измерений (от 0 до 999) по компьютерному таймеру
27. GPS_lat	Целое со знаком	Широта измерений в условных единицах по информации приёмника GPS/ГЛОНАСС
28. GPS_lon	Целое со знаком	Долгота измерений в условных единицах по информации приёмника GPS/ГЛОНАСС

Колонка	Тип значения	Расшифровка
1. MRK	Целое без знака	Маркер смены режимов работы и других событий (служебная информация)
2. Date_str	Строка	Дата и время измерений в формате «число-месяц-год час:минута:секунда»
3. Abs.Day	Десятичная дробь	Точное число суток (включая долю текущих суток от полных) с начала текущего года до момента измерений
4. Angle_FN	Десятичная дробь	Угол оси зрения комплекса к надиру (0.0 соответствует направлению вертикально вниз), градусы
5. R08-1_36V	Десятичная дробь	Яркостная температура в канале R08-1 36 ГГц ВП, К
6. R08-1_36H	Десятичная дробь	Яркостная температура в канале R08-1 36 ГГц ГП, К
7. R08-2_36V	Десятичная дробь	Яркостная температура в канале R08-2 36 ГГц ВП, К
8. R08-2_36H	Десятичная дробь	Яркостная температура в канале R08-2 36 ГГц ГП, К
9. P22M_19V	Десятичная дробь	Яркостная температура в канале P22M 19 ГГц ВП, К
10. P22M_22V	Десятичная дробь	Яркостная температура в канале P22M 22,2 ГГц ВП, К
11. R54_5H	Десятичная дробь	Яркостная температура в канале R54 5,4 ГГц ГП, К
12. R54_5V	Десятичная дробь	Яркостная температура в канале R54 5,4 ГГц ВП, К
13. R03_92V	Десятичная дробь	Яркостная температура в канале R03 92 ГГц ВП, К
14. GPS_lat	Десятичная дробь	Градусы северной широты в точке наблюдения
15. GPS_lon	Десятичная дробь	Градусы восточной долготы в точке наблюдения
16. T_CWB	Десятичная дробь	Температура холодной нагрузки, °С



# Информационные ресурсы



Ермаков и др. Данные микроволновых радиометрических измерений комплексных подспутниковых наблюдений морского льда с борта атомного ледокола «Ямал» в мае 2024 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2024



Спасибо за внимание!

Работа поддержана:

- ❖ Российским научным фондом, грант № 23-17-00161 (<https://rscf.ru/project/23-17-00161/>) – в части общей организации и проведения экспедиции «ЛЕД-СМП-1/2024»;
- ❖ Темой «Мониторинг» гос. задания ИКИ РАН (№ 122042500031-8) – в части организации, проведения и первичной обработки микроволновых радиометрических измерений;
- ❖ Темой «Космос-2» гос. задания ИРЭ РАН (№ 0030-2019-0008) – в части интеграции в измерительный комплекс ИКИ РАН микроволновых радиометров R22M и R54.