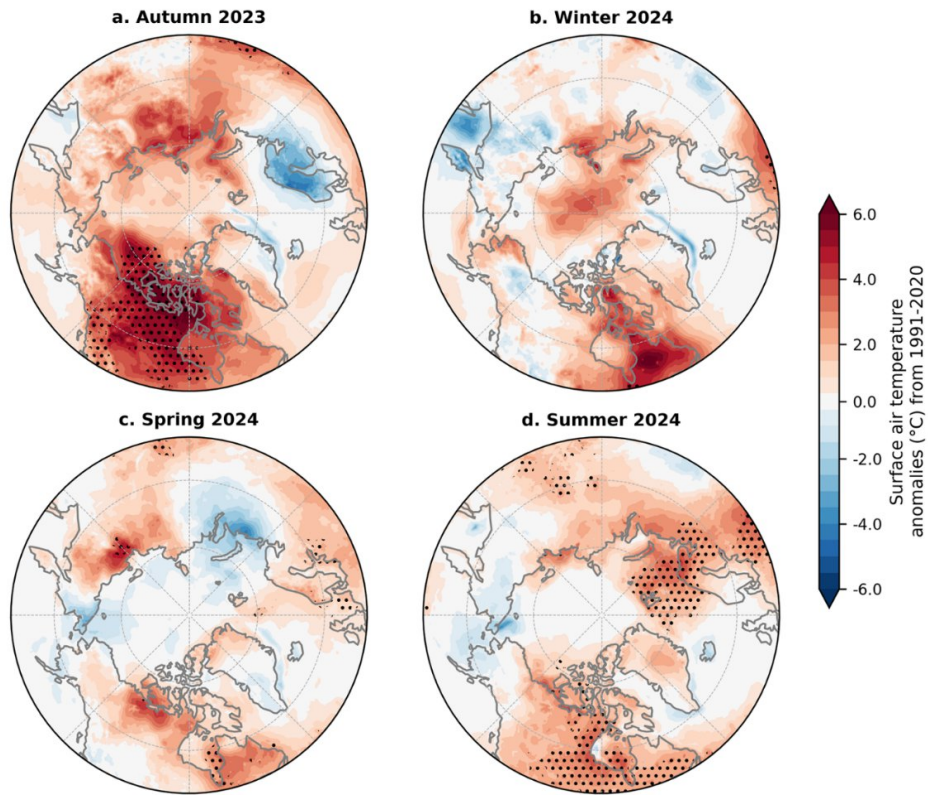


Пространственно – временная изменчивость влагосодержания атмосферы Западной Арктики по данным радиозондирований и радиометра водяного пара на НИС «Ледовая база Мыс Баранова»

Макштас А.П.<sup>1</sup>, Большакова И.И.<sup>1</sup>, Жукова О.Л.<sup>1</sup>, Махотина И.А.<sup>1</sup>, Ильин Г.Н.<sup>2</sup>, Быков В.Ю.<sup>2</sup>

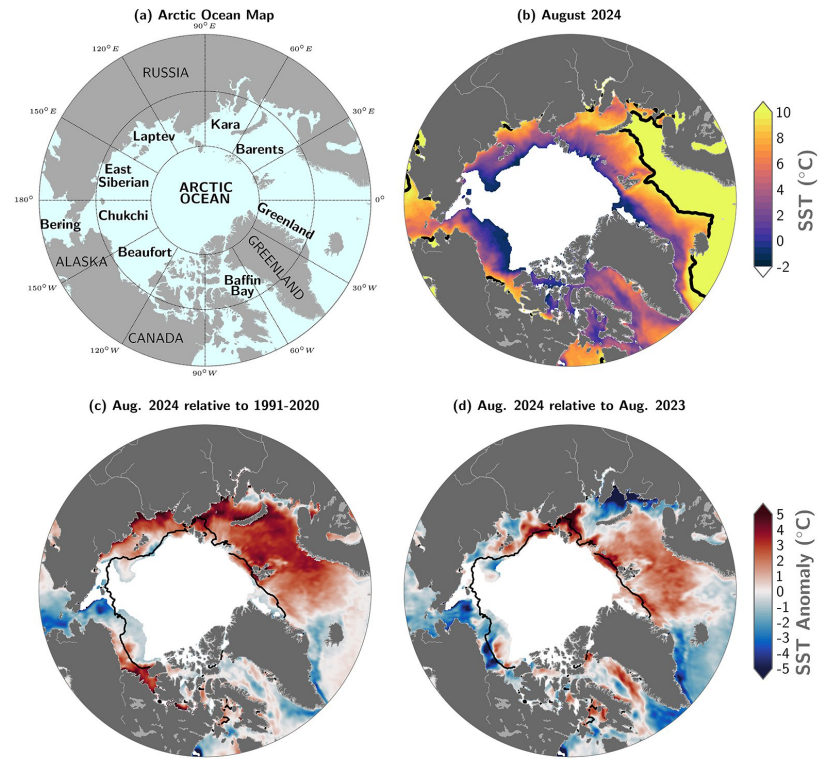
<sup>1</sup> Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Росгидромет

<sup>2</sup> Институт прикладной астрономии РАН



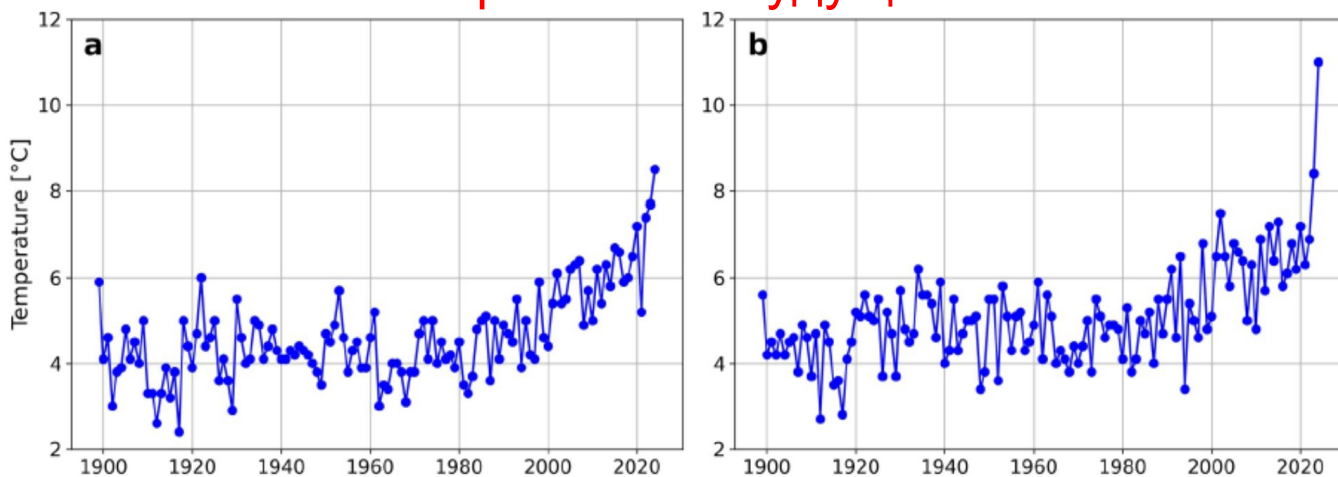
Аномалии температуры воздуха СПО относительно средних значений за 1991-2020 г.г. (реанализ ERA5)  
 (a) осень 2023, (b) зима 2024, (c) весна 2024 и (d) лето 2024.

## Температуры воздуха и поверхности моря в СПО (август 2024 г.)

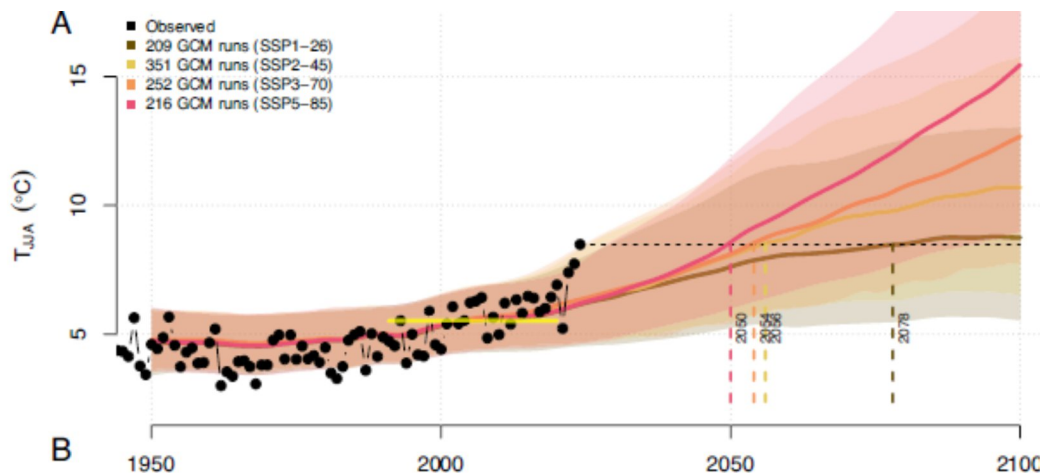


Температура поверхности моря (°C) в августе 2024 (b) и ее аномалии в августе 2024 г. относительно средней за август 1991-2020 (c) и за август 2023 (d).

# Температура воздуха в аэропорту Лонгербин (Шпицберген) в прошлом и будущем



Средние температуры воздуха в июне – августе (a) и в августе (b) в 1900 – 2024 г.г.



Средняя температура воздуха в августе 1950 – 2100 г.г. по данным измерений и четырех сценариев CMIP6

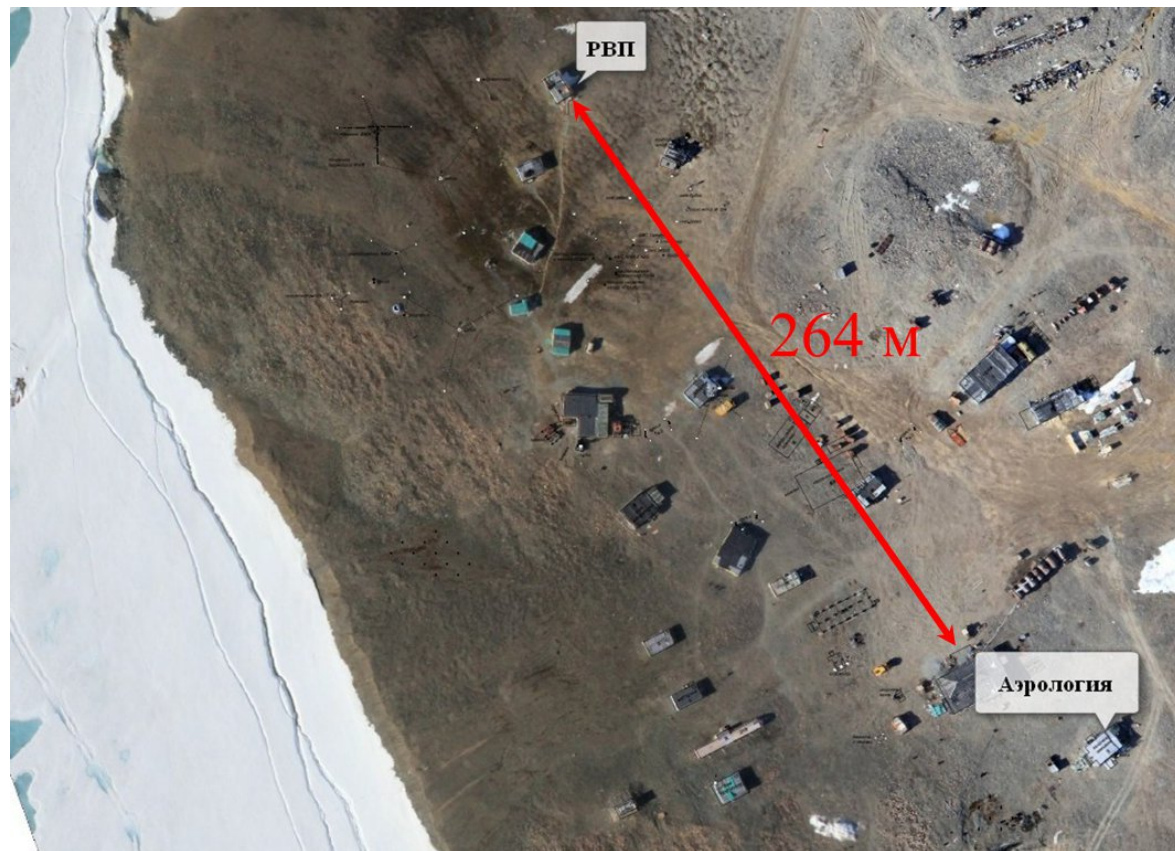
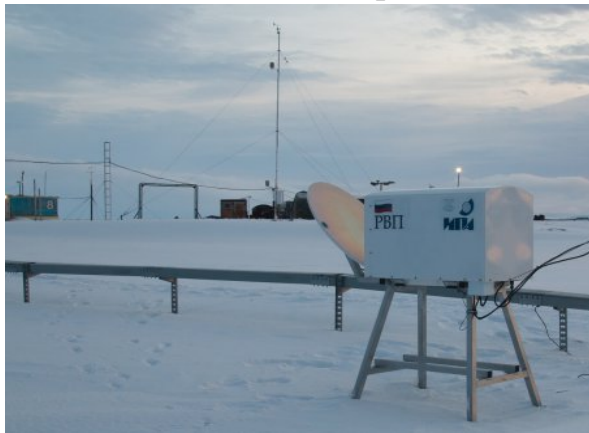
Van den Broek et al, 2025. Svalbard's record-breaking arctic summer 2024: Anomalies beyond climatological warming trends. *Geophysical Research Letters*, 52, e2025GL115015. <https://doi.org/10.1029/2025GL115015>

Schuler et al, 2025. Svalbard's 2024 record summer: An early view of Arctic glacier meltdown? *PNAS* 2025 Vol. 122 No. 34 e2503806122 <https://doi.org/10.1073/pnas.2503806122>

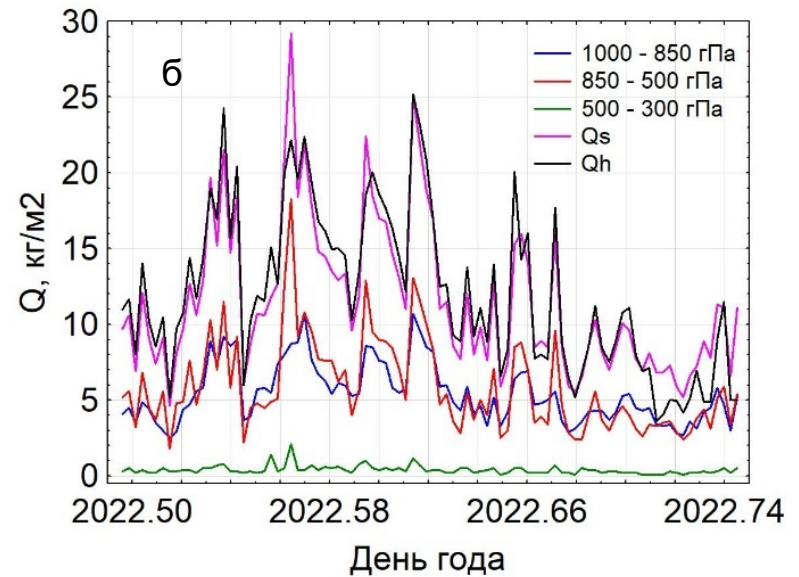
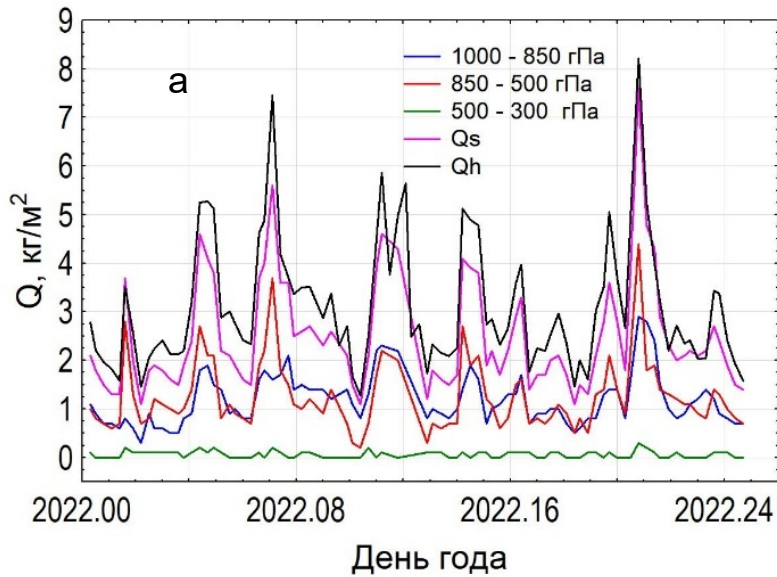
# Измерительный комплекс для исследований влагосодержания свободной атмосферы на НИС «Ледовая база Мыс Баранова»

**Радиометр водяного пара РВП** - измерения в зенит мощности нисходящего излучения атмосферы в диапазоне частот 20.7 и 31.4 ГГц с дискретностью 10 с для расчета интегрального содержания водяного пара и водосодержания облаков в вертикальном столбе единичной площади.

**Система радиозондирований «Полнос»** (малогабаритные зонды МРЗ-Н1) – измерения один раз в сутки вертикальных профилей атмосферного давления, направления и скорости ветра, температуры воздуха (в диапазоне от -90 до +50 °С с погрешностью не более  $\pm 0,6$  °С) и относительной влажности воздуха (в диапазоне 0 до 100 % с погрешностью не более  $\pm 8$  %). Постоянные времени датчика температуры не более 3 с, датчика влажности – не более 5 с. Высота зондирований – до 32 км.



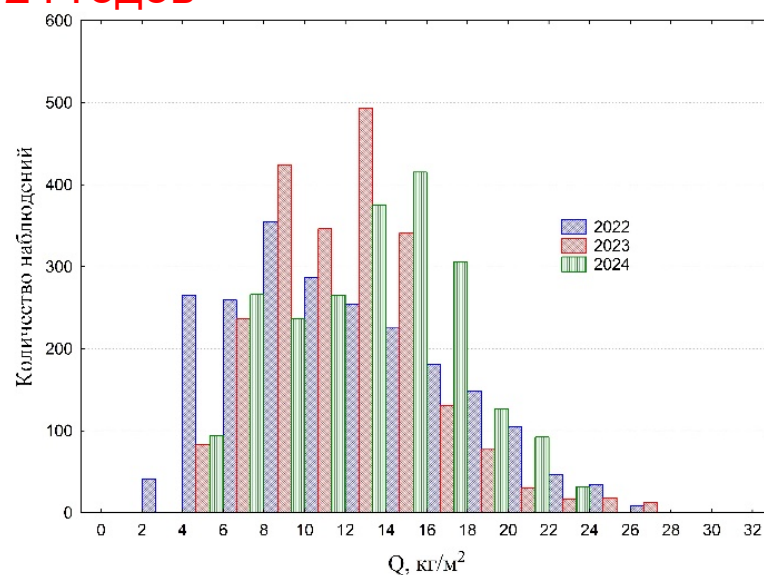
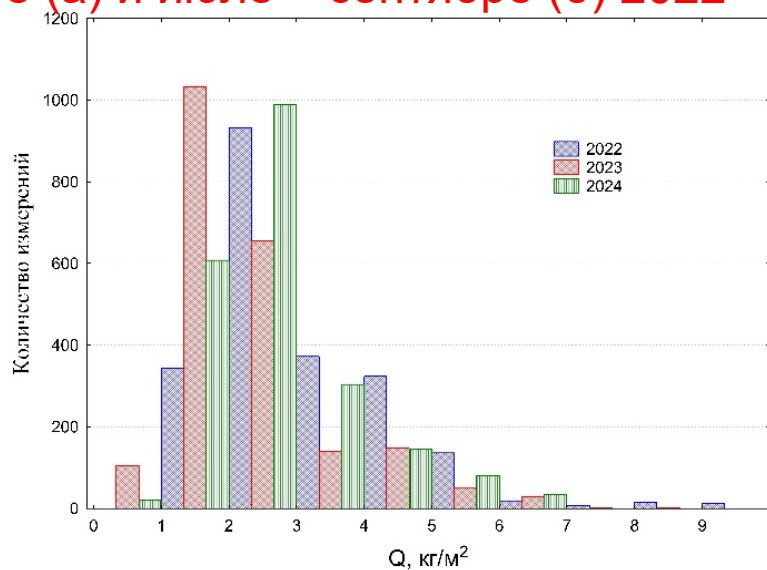
## Интегральное и послойное влагосодержание атмосферы по данным радиозондирований (Qs) и РВП (Qh) в зимний (а) и летний (б) сезоны



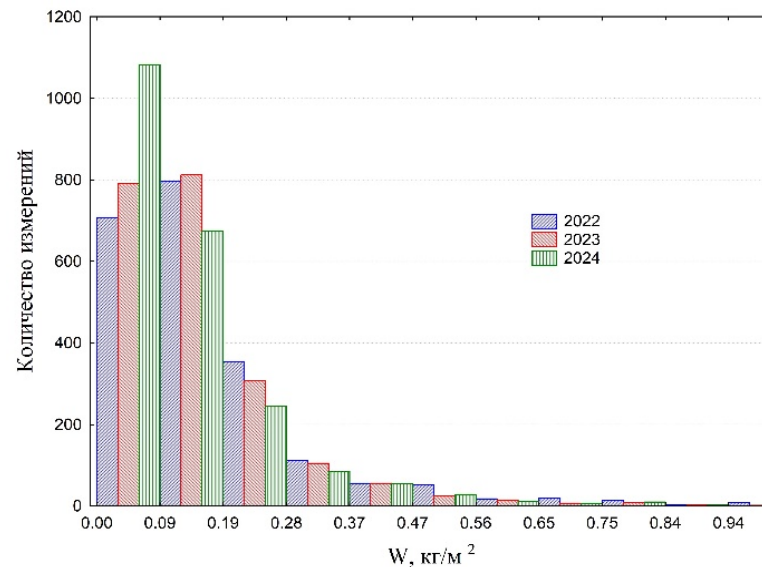
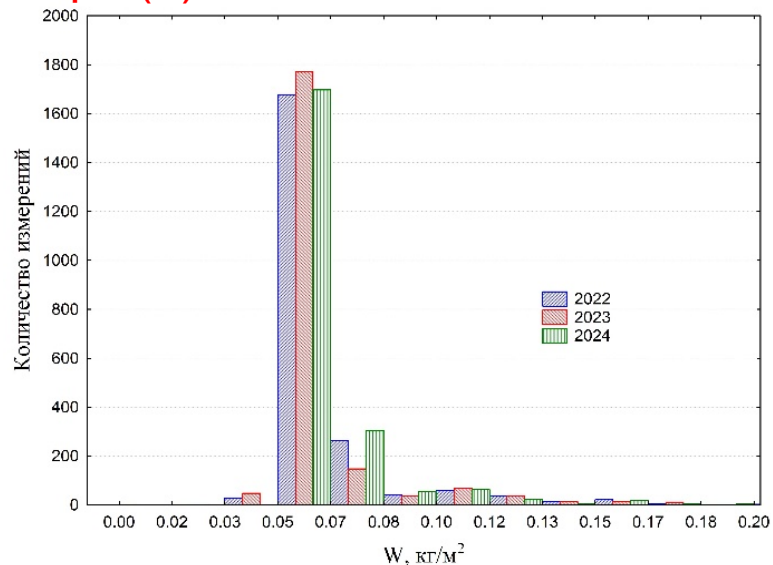
Январь – март							
$Q$ , $\text{кг}/\text{м}^2$	Сред.	СКО	1000-850 гПа	850-500гПа	500-300гПа	$Q_s$	$Q_h$
1000-850 гПа	1.176	0.529	1.00	0.67	0.29	0.87	0.82
850-500 гПа	1.254	0.722		1.00	0.54	0.94	0.93
500-300 гПа	0.060	0.068			1.00	0.50	0.49
$Q_s$	2.500	1.174				1.00	0.97
$Q_h$	3.106	1.345					1.00

Июль – сентябрь							
$Q$ , $\text{кг}/\text{м}^2$	Сред.	СКО	1000-850 гПа	850-500гПа	500-300гПа	$Q_s$	$Q_h$
1000-850 гПа	5.433	1.953	1.00	0.84	0.51	0.93	0.90
850-500 гПа	5.834	3.021		1.00	0.72	0.98	0.91
500-300 гПа	0.392	0.290			1.00	0.70	0.61
$Q_s$	11.656	4.978				1.00	0.94
$Q_h$	12.053	5.3424					1.00

## Гистограммы повторяемости интегрального влагосодержания атмосферы в январе – марте (а) и июле – сентябре (б) 2022 – 2024 годов

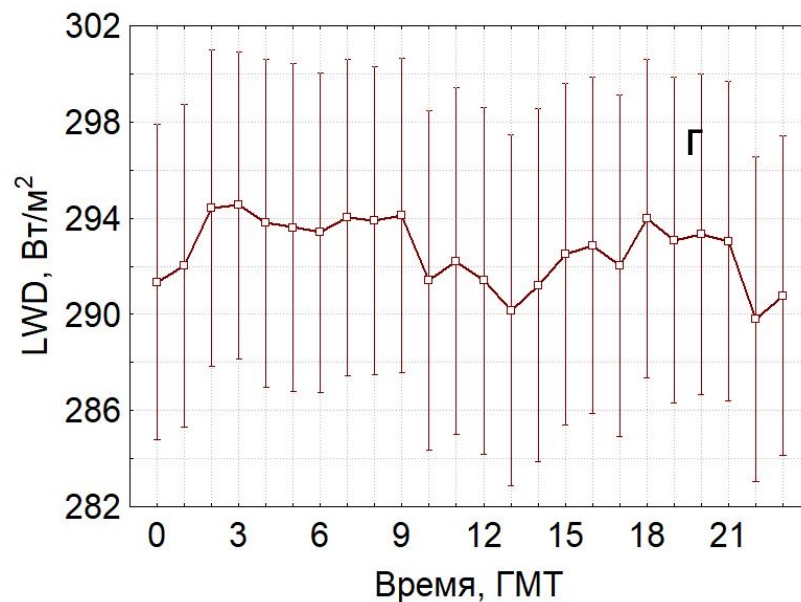
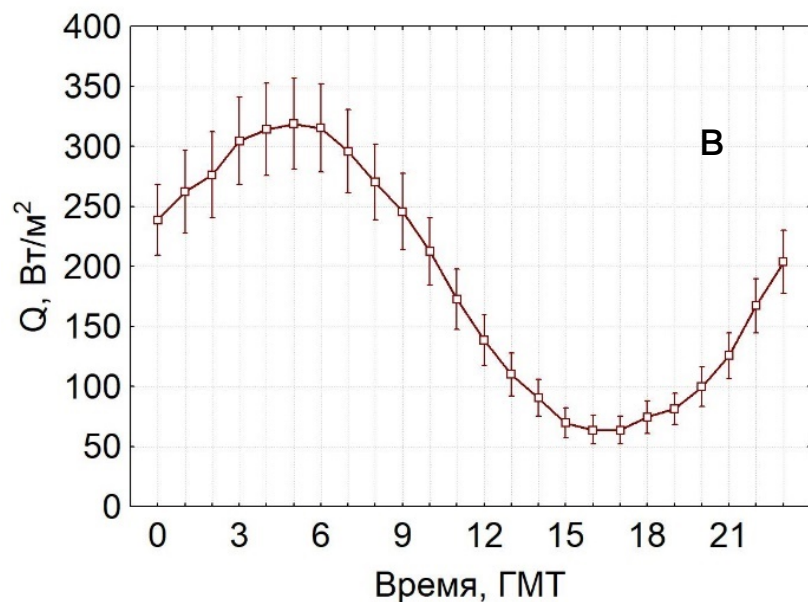
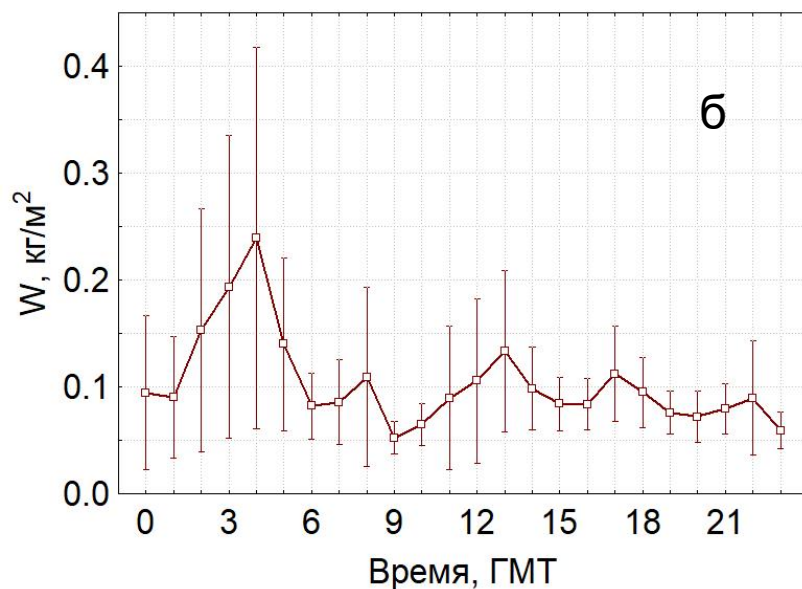
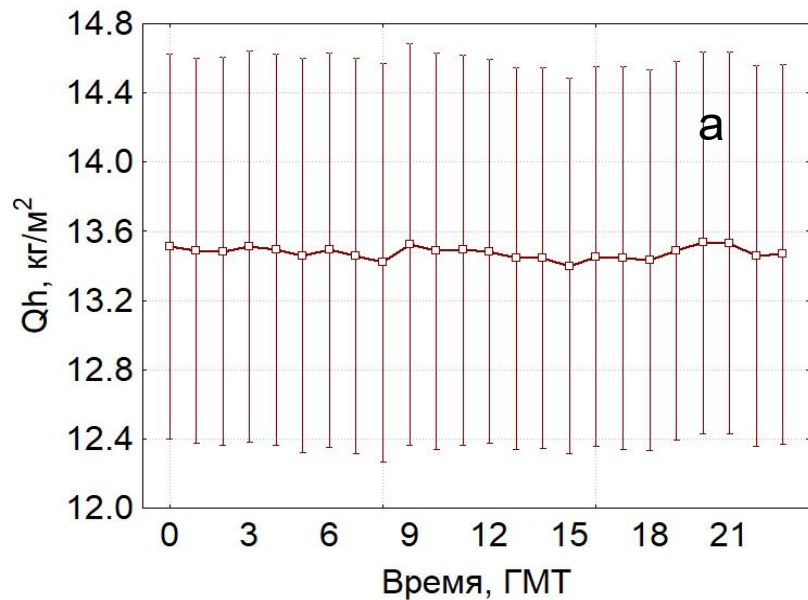


## Гистограммы повторяемости водозапаса облаков в январе – марте (а) и июле – сентябре (б) 2022 – 2024 годов

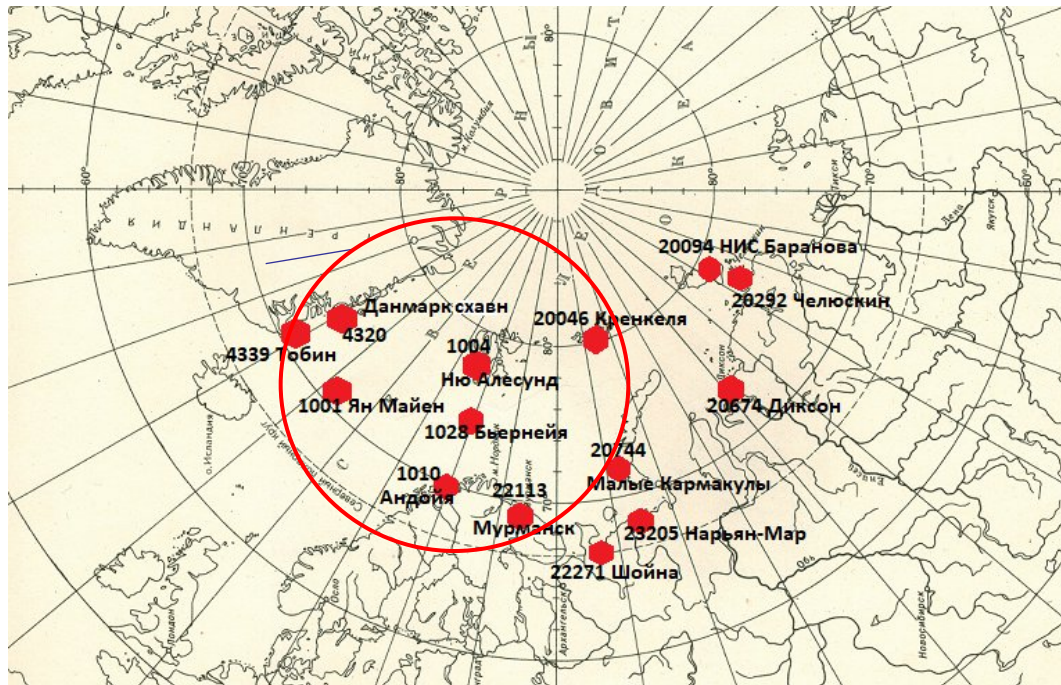




Суточный ход осредненных за летний сезон для каждого часа значений интегрального влагосодержания  $Q_h$  (а), водозапаса облаков  $W$  (б), приходящих коротковолновой  $Q$  (в) и длинноволновой  $LWD$  (г) радиации



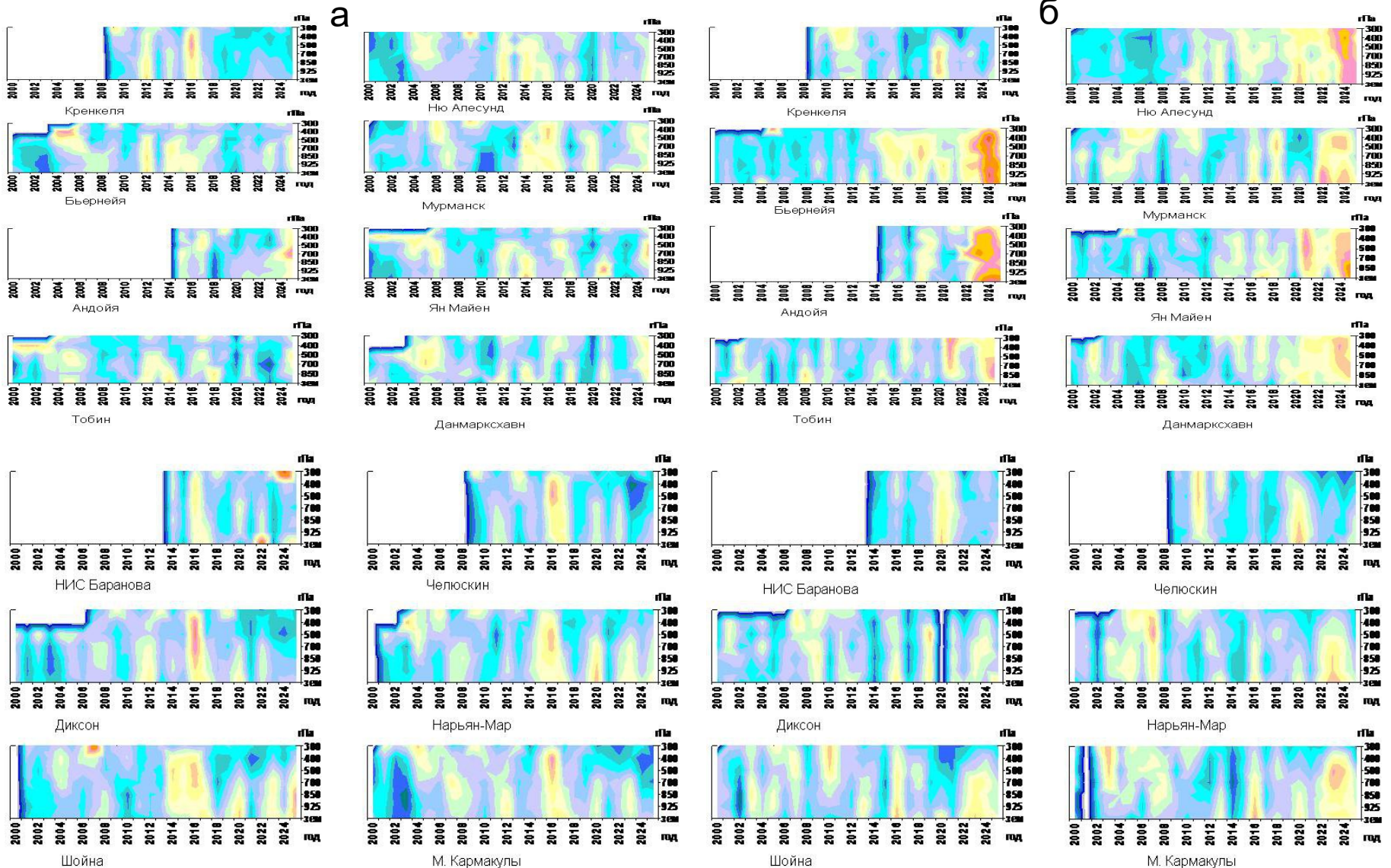
# Мониторинг характеристик климата свободной атмосферы Западной Арктики по данным сети станций радиозондирований



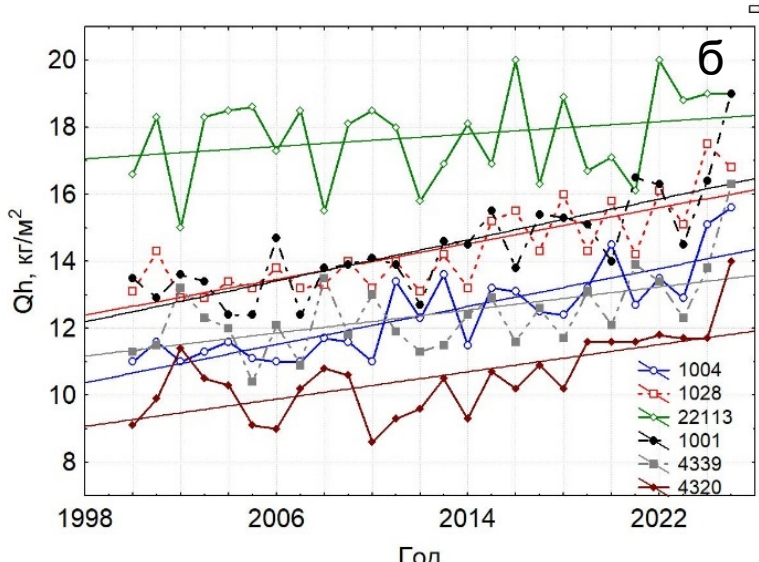
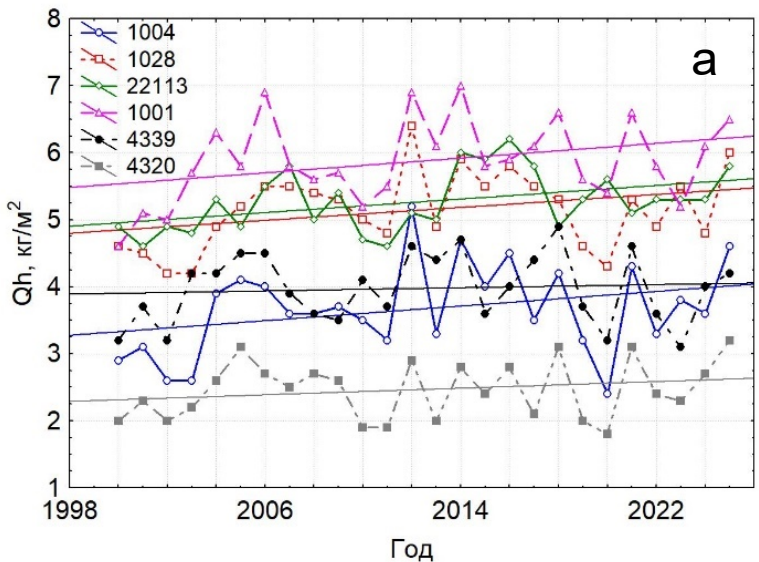
Синоптический индекс станции	Наименование	Долгота <sup>о</sup>	Широта <sup>о</sup>	Высота м	Период наблюдений, годы
4320	Данмарксхавн	341.22	7675	12	1962-2025
4339	Тобин	338.02	7047	66	1990-2025
1001	Ян Майен	351.32	7092	9	1962-2025
1004	Нью Алесунд	11.92	78.92	15	1993-2025
1028	Бьернейя	19.00	74.50	14	1957-1960;1964-2025
1010	Андойя	16.13	69.31	10	2014(XI-XII)-2025
22113	Мурманск	33.16	68.98	121	1939-2025
20046	Кренкеля (Хейса)	58.03	80.60	20	1958-1997; 2009-2025
20094	НИС Баранова	101.62	79.28	24	2013(IX-XII)-2025
20292	Челюскин	104.27	77.70	16	1949-1997; 2009-2025
20674	Диксон	80.22	73.50	46	1949-1984;1987-2025
20744	Малые Кармакулы	52.72	72.37	19	1951-1960;1967-1996; 2002-2025
22271	Шойна	44.12	67.87	10	1953-2025
23205	Нарьян-Мар	53.00	67.63	5	1949-2025



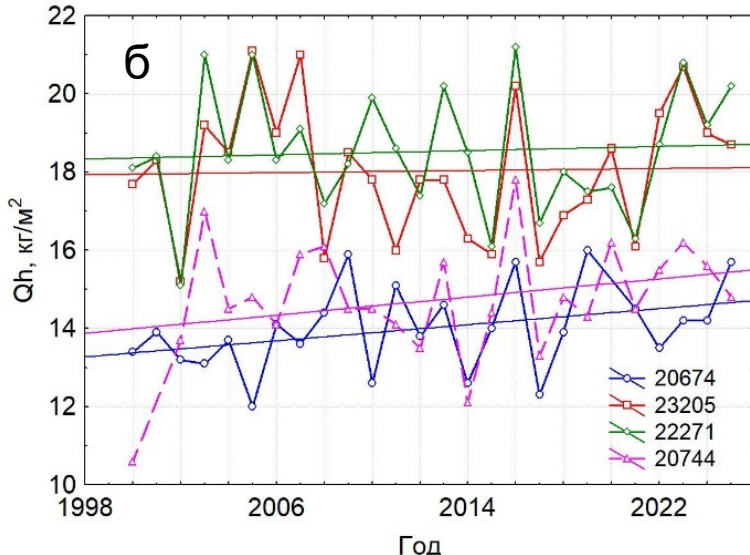
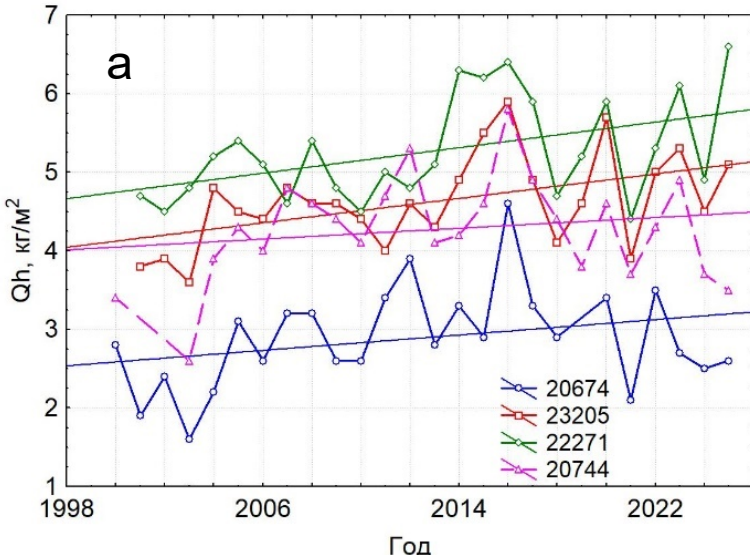
# Нормированные аномалии среднемесячной удельной влажности воздуха в зимний (а) и летний (б) сезоны 2000 – 2025 годов.



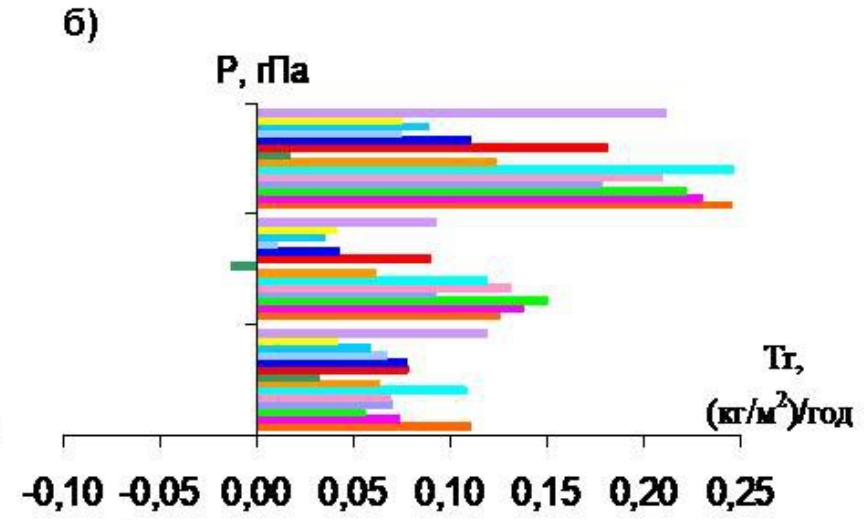
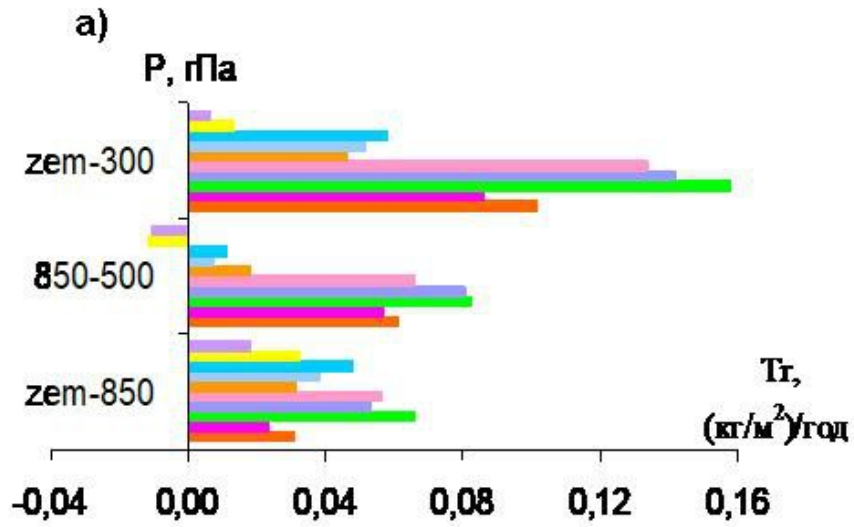
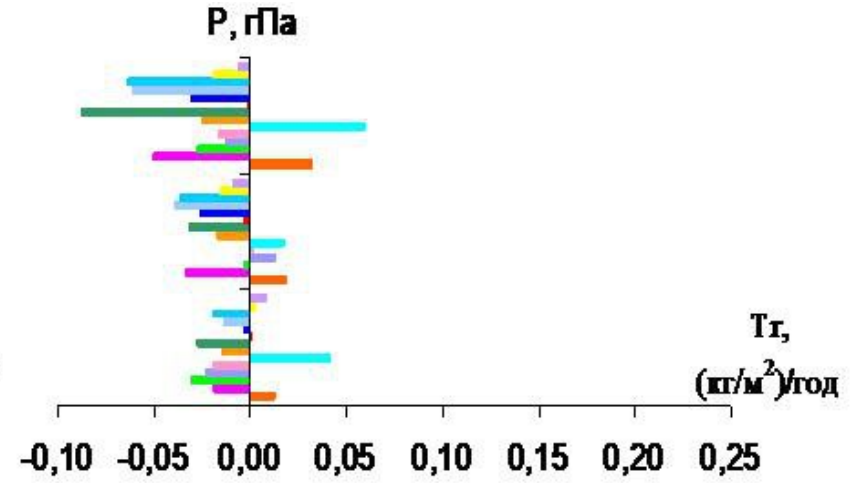
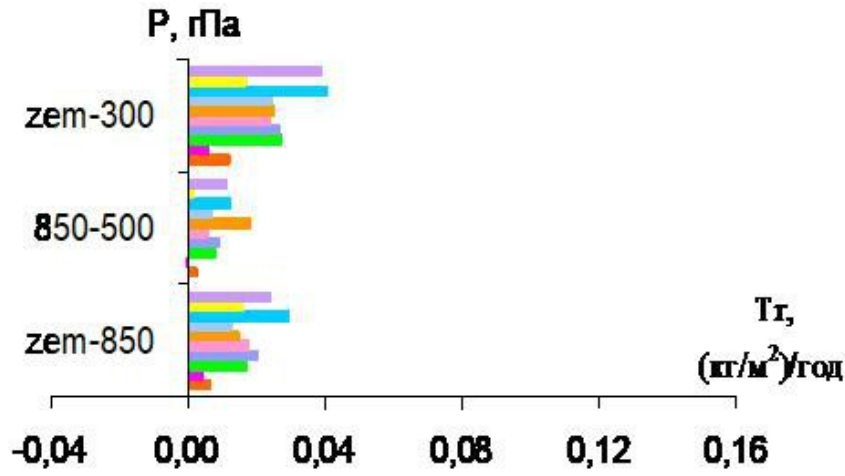
Интегральное влагосодержание атмосферы западной части региона в зимний (а) и летний (б) сезоны.



Интегральное влагосодержание атмосферы восточной части региона в зимний (а) и летний (б) сезоны.



Тренды интегрального влагосодержания атмосферы и влагосодержания в слоях подстилающая поверхность – 850 гПа и 850 – 500 гПа для периодов 2000 г.–2025 г. (а, в) и 2013 – 2025 г.г. (б, г) в зимний (а, б) и летний (в, г) сезоны



4320	4339	1001	1004	1028	1010	22113
20046	20094	20292	20674	20744	22271	23205

Коэффициенты линейного тренда Tr (кг м<sup>-2</sup>/год) и коэффициенты детерминации R<sup>2</sup> интегрального (Qh) и по слоям влагосодержания атмосферы в зимний и летний сезоны по данным аэрологических станций Западной Арктики.

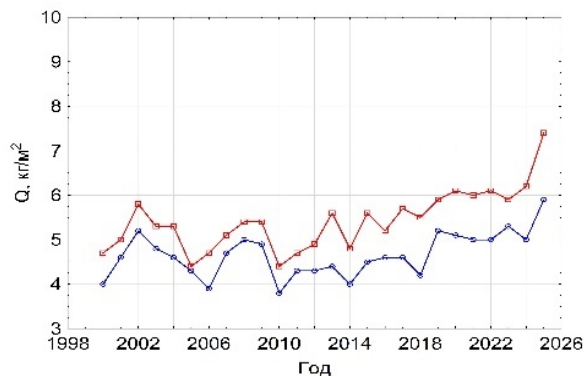
Синоптический индекс станции	Зима Период 2000-2025 г.г.						Лето Период 2000-2025 г.г.					
	zem-850 гПа		850-500гПа		Qh		zem-850гПа		850-500гПа		Qh	
	Tr	R <sup>2</sup>	Tr	R <sup>2</sup>	Tr	R <sup>2</sup>	Tr	R <sup>2</sup>	Tr	R <sup>2</sup>	Tr	R <sup>2</sup>
4320	0,007	0,065	0,003	0,007	0,012	0,049	0,031	0,224	0,061	0,485	0,102	0,425
4339	0,004	0,020	0,000	0,000	0,006	0,008	0,024	0,158	0,057	0,362	0,086	0,301
1001	0,017	0,139	0,008	0,046	0,027	0,114	0,066	0,527	0,083	0,581	0,158	0,603
1004	0,020	0,141	0,009	0,055	0,142	0,092	0,053	0,537	0,081	0,722	0,142	0,676
1028	0,018	0,129	0,006	0,039	0,024	0,106	0,056	0,576	0,066	0,550	0,134	0,628
22113	0,015	0,273	0,018	0,034	0,025	0,187	0,031	0,167	0,018	0,034	0,046	0,070
20674	0,013	0,093	0,007	0,034	0,025	0,085	0,039	0,219	0,007	0,012	0,052	0,130
22271	0,030	0,386	0,013	0,083	0,041	0,205	0,048	0,251	0,011	0,012	0,058	0,082
20744	0,016	0,091	0,002	0,002	0,017	0,034	0,032	0,090	-0,012	0,012	0,014	0,004
23205	0,024	0,338	0,012	0,103	0,039	0,238	0,018	0,028	-0,011	0,009	0,007	0,001

Данмарксхавн  
Тобин  
Ян Майен  
Ню Алесунд  
Бьернейя  
Мурманск

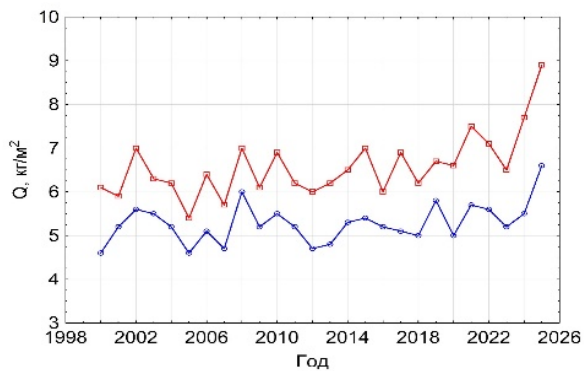
Синоптический индекс Станции	Зима Период 2013-2025г.г.						Лето Период 2013-2025г.г.					
	zem-850 гПа		850-500 гПа		Qh		zem-850гПа		850-500 гПа		Qh	
	Tr	R <sup>2</sup>	Tr	R <sup>2</sup>	Tr	R <sup>2</sup>	Tr	R <sup>2</sup>	Tr	R <sup>2</sup>	Tr	R <sup>2</sup>
4320	0,013	0,041	0,018	0,099	0,032	0,070	0,110	0,705	0,126	0,644	0,245	0,700
4339	-0,019	0,069	-0,034	0,188	-0,051	0,120	0,074	0,380	0,138	0,475	0,230	0,478
1001	-0,031	0,132	-0,003	0,004	-0,028	0,043	0,056	0,139	0,150	0,541	0,221	0,391
1004	-0,023	0,047	0,013	0,029	-0,013	0,005	0,070	0,244	0,092	0,430	0,179	0,379
1028	-0,019	0,046	0,001	0,000	-0,017	0,015	0,069	0,296	0,131	0,509	0,209	0,460
1010	0,041	0,255	0,017	0,033	0,059	0,111	0,108	0,421	0,119	0,481	0,246	0,480
22113	-0,014	0,153	-0,017	0,058	-0,025	0,055	0,063	0,178	0,062	0,097	0,124	0,122
20046	-0,028	0,096	-0,032	0,182	-0,087	0,201	0,032	0,056	-0,013	0,009	0,017	0,004
20094	0,001	0,000	-0,003	0,006	-0,001	0,000	0,078	0,171	0,090	0,335	0,181	0,267
20292	-0,003	0,004	-0,026	0,132	-0,031	0,058	0,078	0,150	0,042	0,035	0,110	0,069
20674	-0,014	0,039	-0,040	0,220	-0,062	0,154	0,067	0,147	0,011	0,008	0,075	0,069
20744	-0,020	0,077	-0,036	0,198	-0,064	0,154	0,059	0,086	0,035	0,048	0,089	0,059
22271	0,003	0,001	-0,015	0,026	-0,019	0,011	0,041	0,035	0,041	0,038	0,075	0,029
23205	0,008	0,012	-0,009	0,015	-0,006	0,002	0,119	0,263	0,093	0,218	0,212	0,239

Данмарксхавн  
Тобин  
Ян Майен  
Ню Алесунд  
Бьернейя  
Андоия  
Мурманск

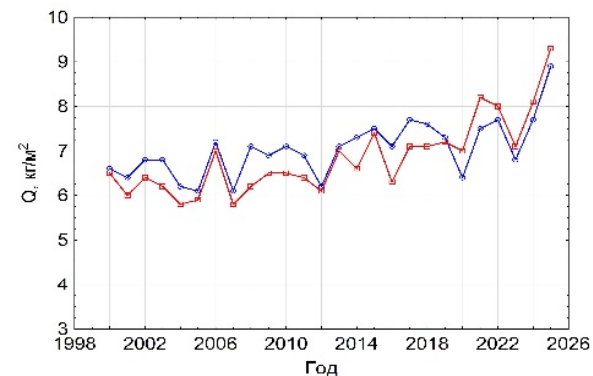
Влагосодержание атмосферы в слоях подстилающая поверхность – 850 гПа (синие линии) и 850 – 500 гПа (красные линии) на станциях Гренландского и Баренцева морей в летний сезон



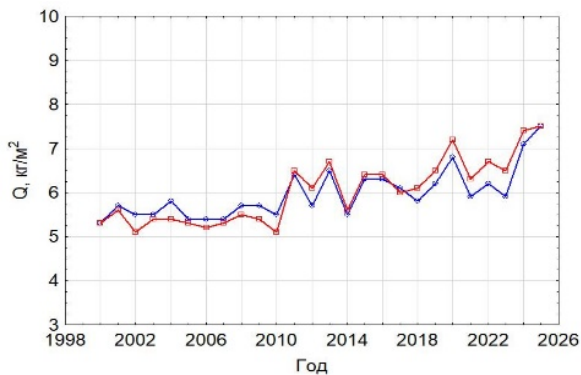
Данмарксхавн



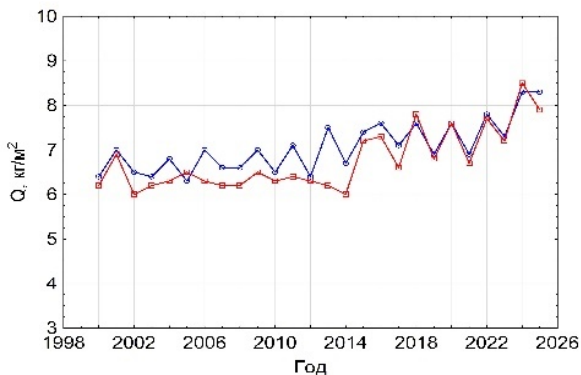
Тобин



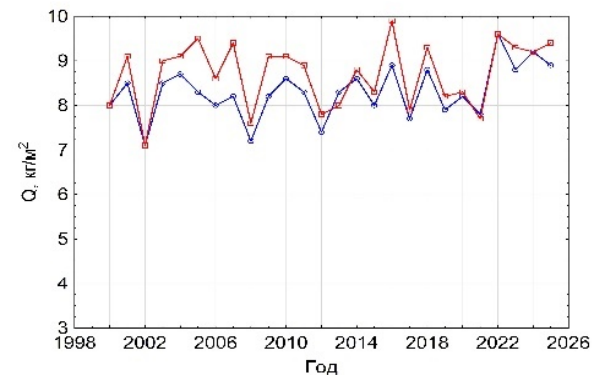
Ян Майен



Нью-Алесунд

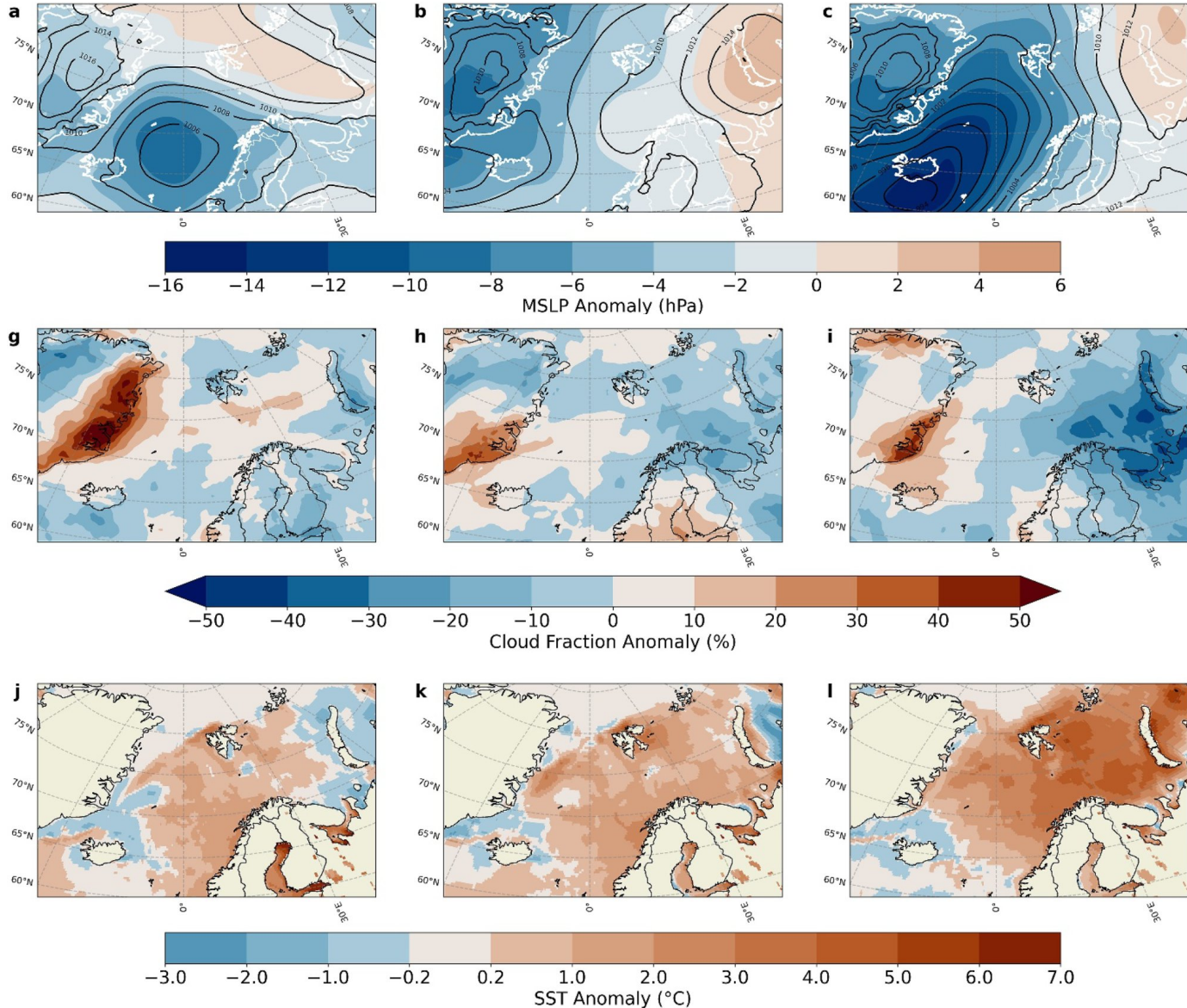


Бьернейя



Мурманск

# Аномалии приземного давления, облачности и температуры поверхности моря в июне, июле и августе 2024 года по данным реанализа ERA5



van den Broek, D., Urbancic, G. H., Rantanen, M., & Vihma, T. (2025). Svalbard's record-breaking arctic summer 2024: Anomalies beyond climatological warming trends. *Geophysical Research Letters*, 52, e2025GL115015. <https://doi.org/10.1029/2025GL115015>

## Краткие выводы

На основе сравнения данных непрерывных измерений интегрального влагосодержания атмосферы (ИВА), выполненных в 2022 - 2024 годах с помощью радиометра водяного пара РВП и данных аэрологических зондирований показано, что, максимальное расхождение между оценками средних за сезоны ИВА наблюдается зимой, когда влагосодержание атмосферы минимально и часто находится на уровне погрешности измерений. Но даже в этот сезон расхождение не превышает  $0,61 \text{ кг/м}^2$  при среднеквадратическом отклонении  $1.2 \text{ кг/м}^2$  и значимом коэффициенте корреляции 0,97.

На НИС выявлено практически синхронное изменение влагосодержания в слоях подстилающая поверхность – 850 гПа и 850 – 500 гПа от весны до осени, подтверждаемое высокими коэффициентами корреляции (0.82 – 0.85) и близкими средними значениями. Это свидетельствует как о адвективном переносе относительно однородных по высоте воздушных масс, так и о достаточно интенсивном перемешивании на границе пограничного слоя атмосферы и нижней тропосферы. Исключение представляет зимний сезон, когда коэффициент корреляции между слоями составляет величину 0.67. Вероятно, это связано с наличием преимущественно устойчивого пограничного слоя зимой, обусловленного радиационным выхолаживанием подстилающей поверхности, препятствующему процессам влагообмена между слоями.

Анализ данных измерений, осредненных за каждый час, не выявил суточного хода величины ИВА даже в июле, месяце максимального суточного хода солнечной радиации, что важно при оценке адекватности сопоставления осредненных за сезон данных аэрологической наблюдений, выполняемых на сети станций в 0 ГМТ, но в разное солнечное время.

На основе алгоритма расчета ИВА по данным радиозондирований получены оценки пространственно – временной изменчивости влагосодержания для станций, выполнявших аэрологические наблюдения в западном секторе Арктики в 2000 – 2025 годах. При рассмотрении трендов за периоды 2000 – 2025 гг. и 2013–2025 гг. показано, что тенденция к увеличению ИВА имела место в летний сезон на всех станциях в оба периода, особенно на станциях, расположенных на побережье и островах Гренландского моря (Данмарксхавн, Тобин, Ян-Майен, Нью-Алесун и Бьернейя). При этом значения трендов для периода 2013–2025 гг. по сравнению с периодом 2000 – 2025 гг. были примерно в 2 раза больше, до  $0,246 \text{ кгм}^{-2}/\text{год}$ . В зимний сезон в 2013–2025 гг. тренды ИВА были отрицательными на всех станциях, за исключением побережья Гренландии (станция Данмарксхавн). Абсолютные значения тренда зимой не превышали  $0,08 \text{ кгм}^{-2}/\text{год}$ .

На станциях, расположенных на восточном побережье Гренландии и островах Гренландского моря, выявлено существенное увеличение ИВА в летние сезоны 2024 – 2025 гг., обусловленное аномалиями поля приземного давления, облачности и температуры поверхности моря в регионе. При этом на станциях Данмарксхавн и Тобин в слое 850 – 500 гПа влагосодержание в летний период примерно на 20% превышало влагосодержание в слое подстилающая поверхность – 850 гПа, в то время как на островных станциях вклад обоих слоев в ИВА был практически равным. Вероятно, это связано с тем, что влагосодержание и его межгодовые изменения в первом случае в большей степени определялись крупномасштабным переносом теплых и, соответственно, влажных воздушных масс с юго- и юго-западных направлений над районом, находящимся под влиянием холодного Восточно-Гренландского течения, а во втором (на островных станциях) - теплого Норвежского Атлантического течения. Это обусловило более высокие среднесезонные температуры на уровнях подстилающая поверхность и 850 гПа на станции Ян Майен ( $5.9 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $1.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) относительно станций Тобин ( $4.6 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и Данмарксхавн ( $2.0 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $-1.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и, соответственно, больший вклад процессов испарения с поверхности моря в величину влагосодержания в слое подстилающая поверхность – 850 гПа.