



Санкт-Петербургский
государственный
университет



Экспериментальное исследование отражения акустического импульса пресноводным льдом

Вичаре А.С.¹, Ковалдов Д.А.², Мешков Е. М.²

1 - Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

2 - Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Введение

Мы изучали характер импульсов, полученных посредством применения гидролокатора. В результате исследования мы смогли определить границы (верхние и нижние) ледяного покрова, и, как следствие, толщину льда.

Данный мониторинг состояния льда позволит определять не только выше указанную толщину льда, но и уровень воды в водоёме.



Общий вид подводного гидролокатора «Стрелка»

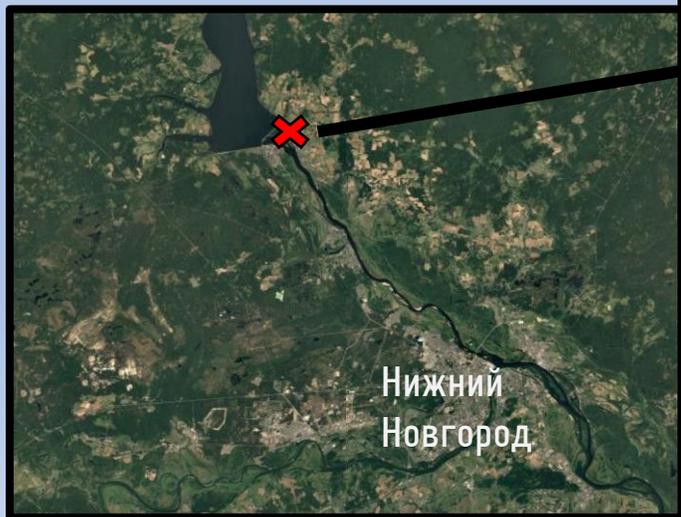


верхняя панель блока антенны гидролокатора

момент запуска

Место проведения измерений

Измерения были произведены на территории Горьковского водохранилища в период с ноября 2023 года по март 2024 года.



Схема



Коэффициент отражения

- Коэффициент отражения границы раздела сред вода и лед — **около 0,18**
- Коэффициент прохождения вода и лед — **около 0,82**
- Коэффициент отражения границы сред лед-воздух — **около 0,98**
(из-за большой разницы в акустическом импедансе).

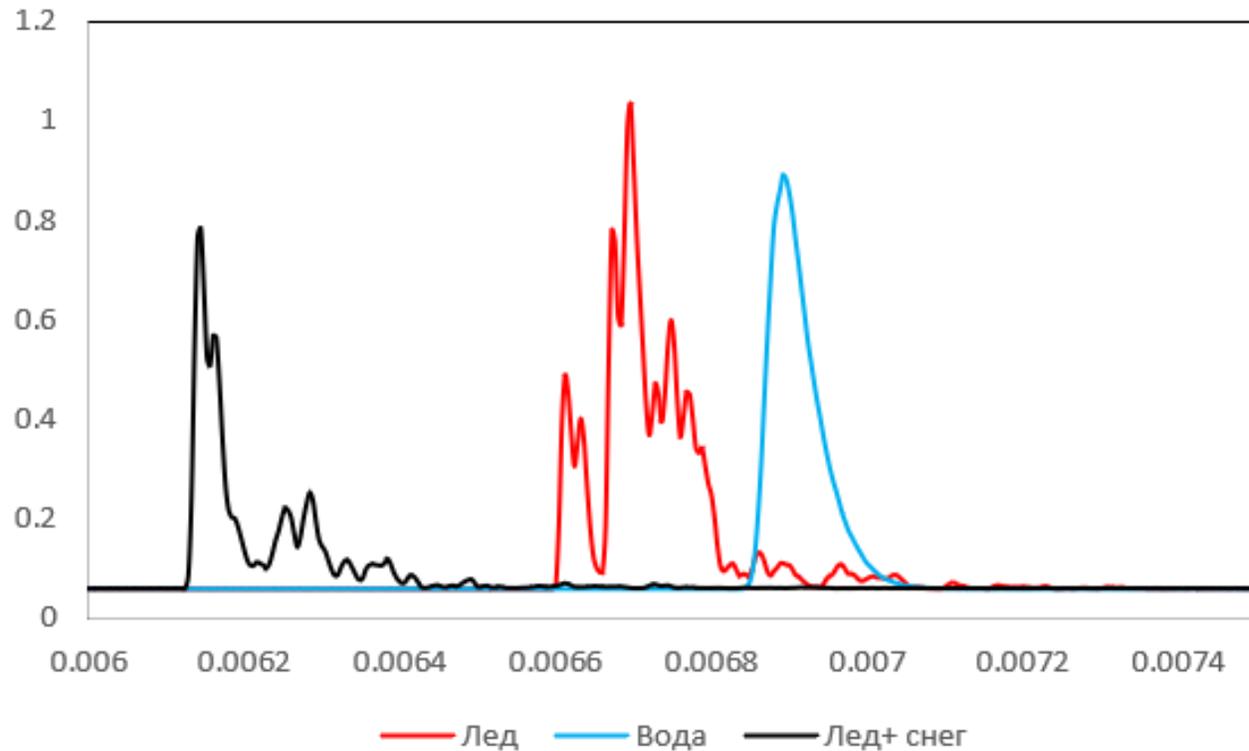
$$R_{\text{вода-лед}} = \left(\frac{Z_{\text{лед}} - Z_{\text{вода}}}{Z_{\text{лед}} + Z_{\text{вода}}} \right)^2$$

Определение скорости звука

- Скорость звука в воде при $0^{\circ}\text{C} \approx 1402$ м/с
- Скорость звука в льду,
 - 3772 ± 57 м/с в озерном льду,
 - 3729 ± 23 м/с в искусственном пресноводном льду
- При неполноте данных о температуре воды ошибка определения расстояния может достигать 6%. При уменьшении глубины размер ошибки меньше.

Equation	Formula	Parameters	Range of Validity	Speed at 0°C
Del Grosso & Mader (1972)	$c(T, P) = 1402.388 + 5.038 \cdot T - 5.799 \cdot 10^{-2} \cdot T^2 + 3.287 \cdot 10^{-4} \cdot T^3 - 1.398 \cdot 10^{-6} \cdot T^4 + 2.787 \cdot P$	Temperature ($^{\circ}\text{C}$), Pressure (MPa)	$0-30^{\circ}\text{C}$, $0-1000$ MPa	1402.388
Wilson (1960)	$c(T) = 1402.7 + 4.7 \cdot T - 0.04 \cdot T^2$	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	$0-100^{\circ}\text{C}$	1407.27
Marczak (1997)	$c(T) = 1402.388 + 5.038 \cdot T - 5.799 \cdot 10^{-2} \cdot T^2 + 3.287 \cdot 10^{-4} \cdot T^3 - 1.398 \cdot 10^{-6} \cdot T^4$	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	$0-100^{\circ}\text{C}$	1402.388
Belogol'skii & Sekoyan (1999)	$c(T) = 1402.7 + M1(T) \cdot (P - 0.101325) + M2(T) \cdot (P - 0.101325)^2 - M3(T) \cdot (P - 0.101325)^3$	Temperature ($^{\circ}\text{C}$), Pressure (MPa)	$0-40^{\circ}\text{C}$, $0.1 - 60$ MPa	1403.7303
Lubbers and Graaff (1998)	$c(T) = 1405.03 + 4.624 \cdot T - 3.83 \cdot 10^{-2} \cdot T^2$	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	$10-40^{\circ}\text{C}$	1404.3
Bilaniuk and Wong (1993,1996)	$c(T) = 1.40238742 \cdot 10^3 + 5.03821344 \cdot T - 5.80539349 \cdot 10^{-2} \cdot T^2 + 3.32000870 \cdot 10^{-4} \cdot T^3 - 1.44537900 \cdot 10^{-6} \cdot T^4 + 2.99402365 \cdot 10^{-9} \cdot T^5$	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	$0-100^{\circ}\text{C}$	1402.3867

Сравнение импульсов

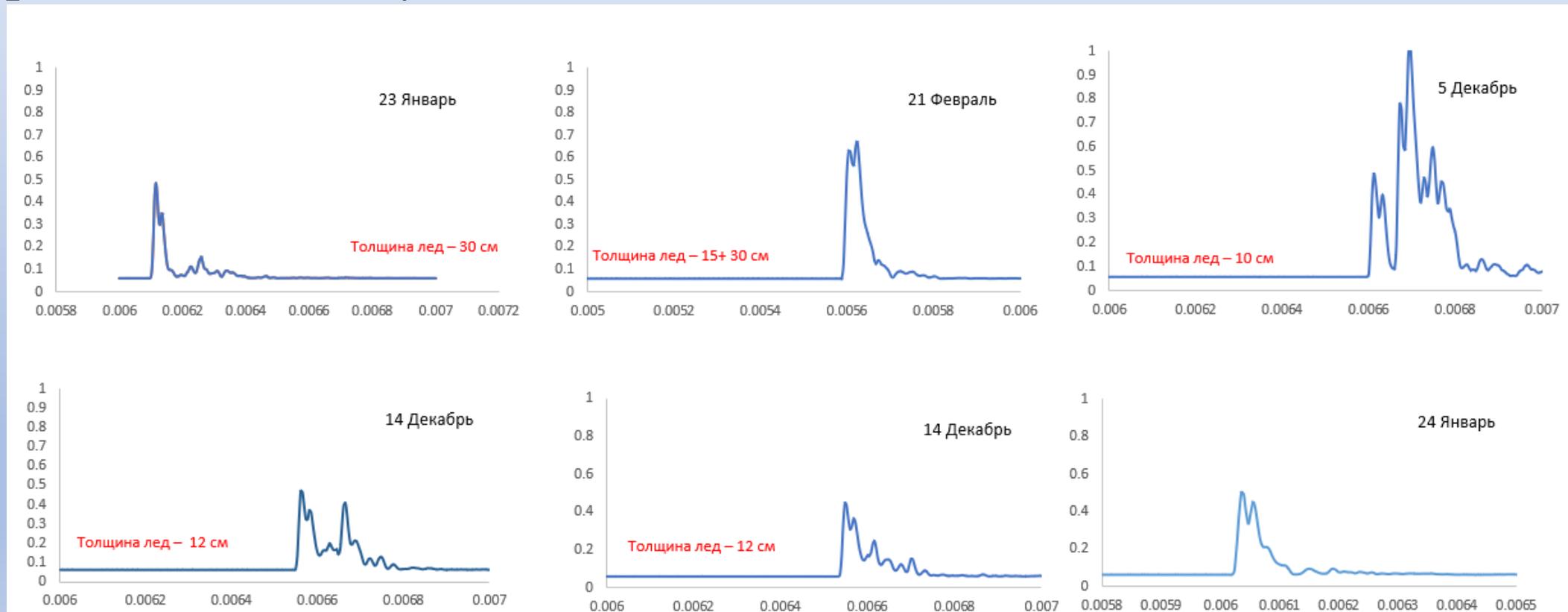


- «Плавная» («smooth») форма импульса характерна для воды
- «Множественная», «остроконечная» («multipeak») форма импульса характерна для льда; как правило, наблюдаются несколько пиков

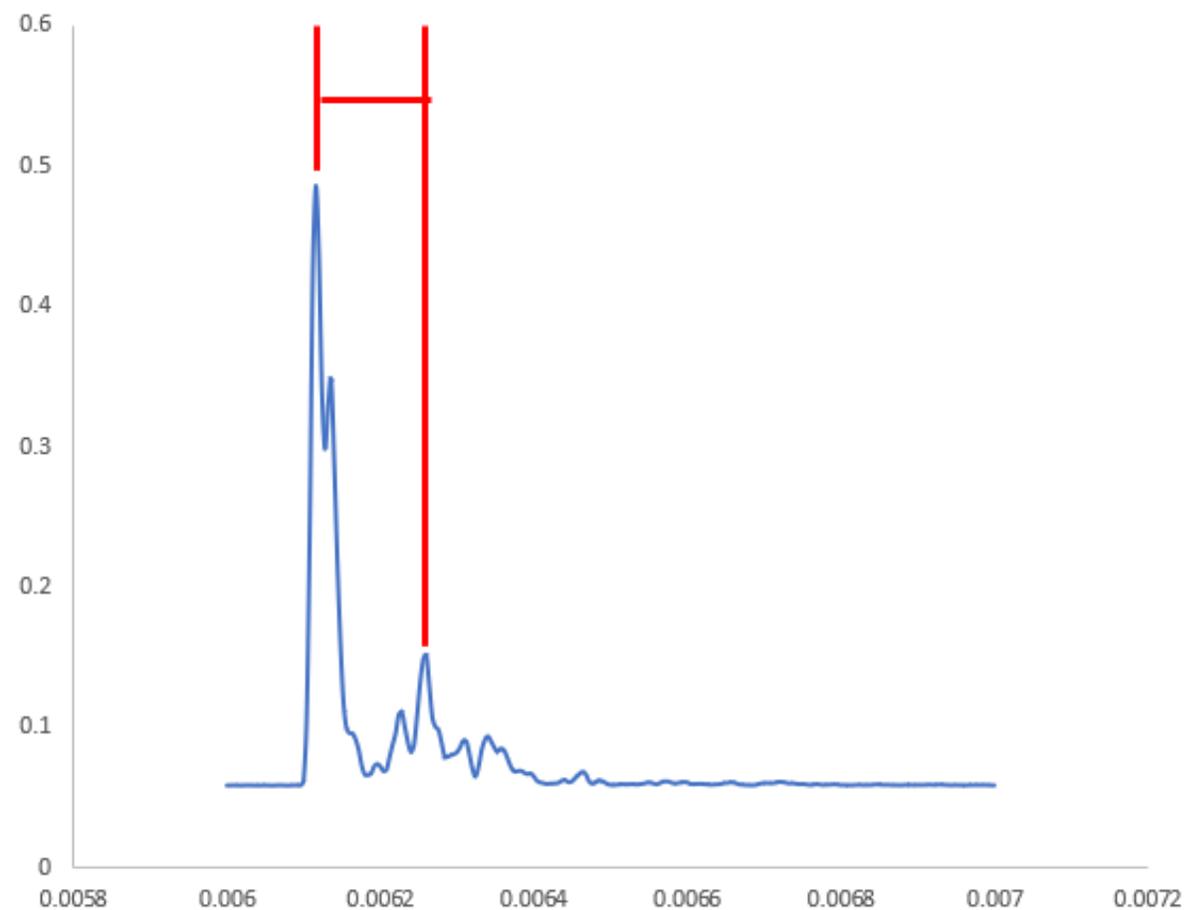
Импульсы при разной толщине льда

Оптимальное отображение пиков достигается при толщине льда между 5 и 15 см.

Возможно, при наличии плотного снежного покрова отражение границы лед-воздух слабее чем лед-вода.

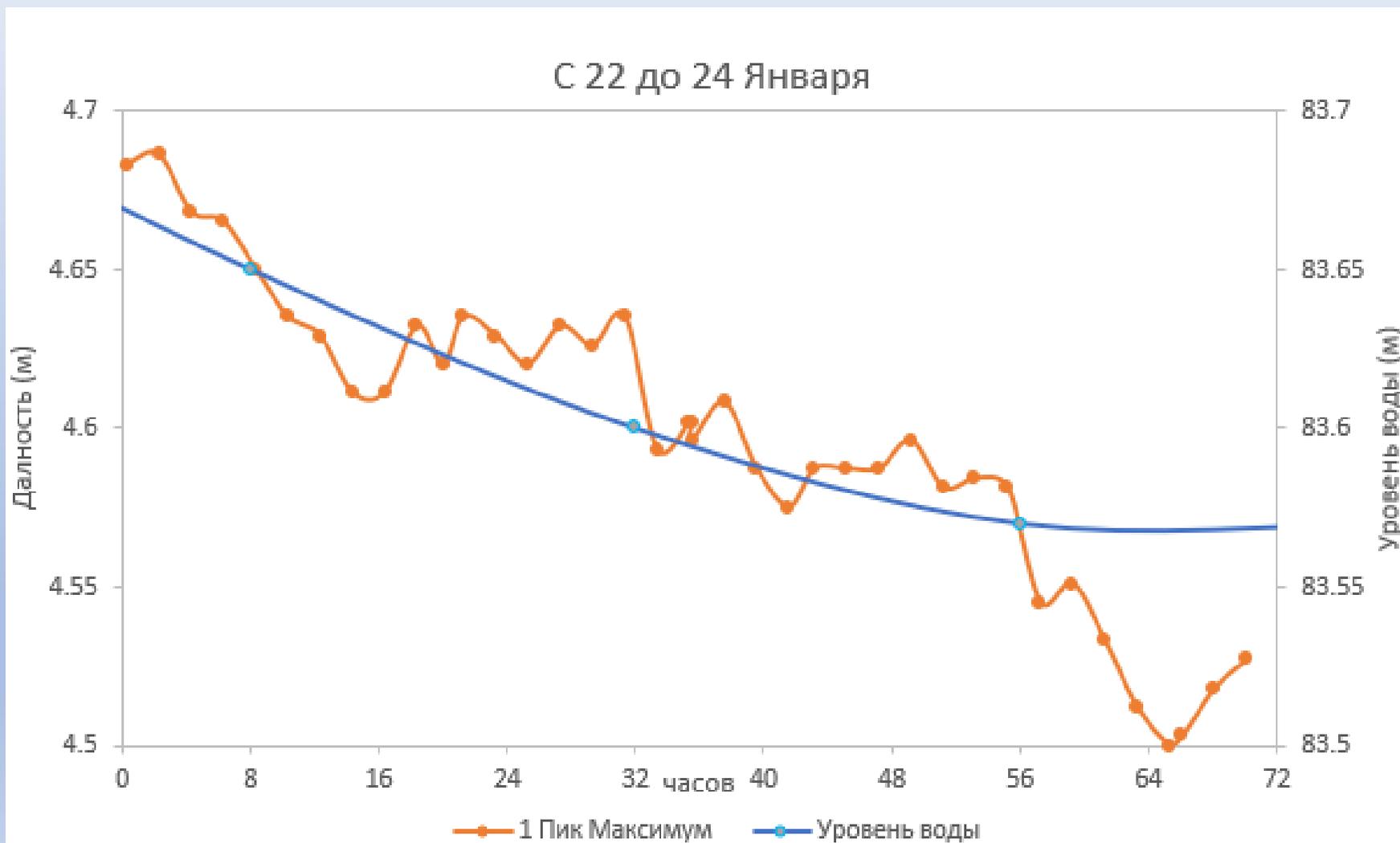


Определение границ и пиков

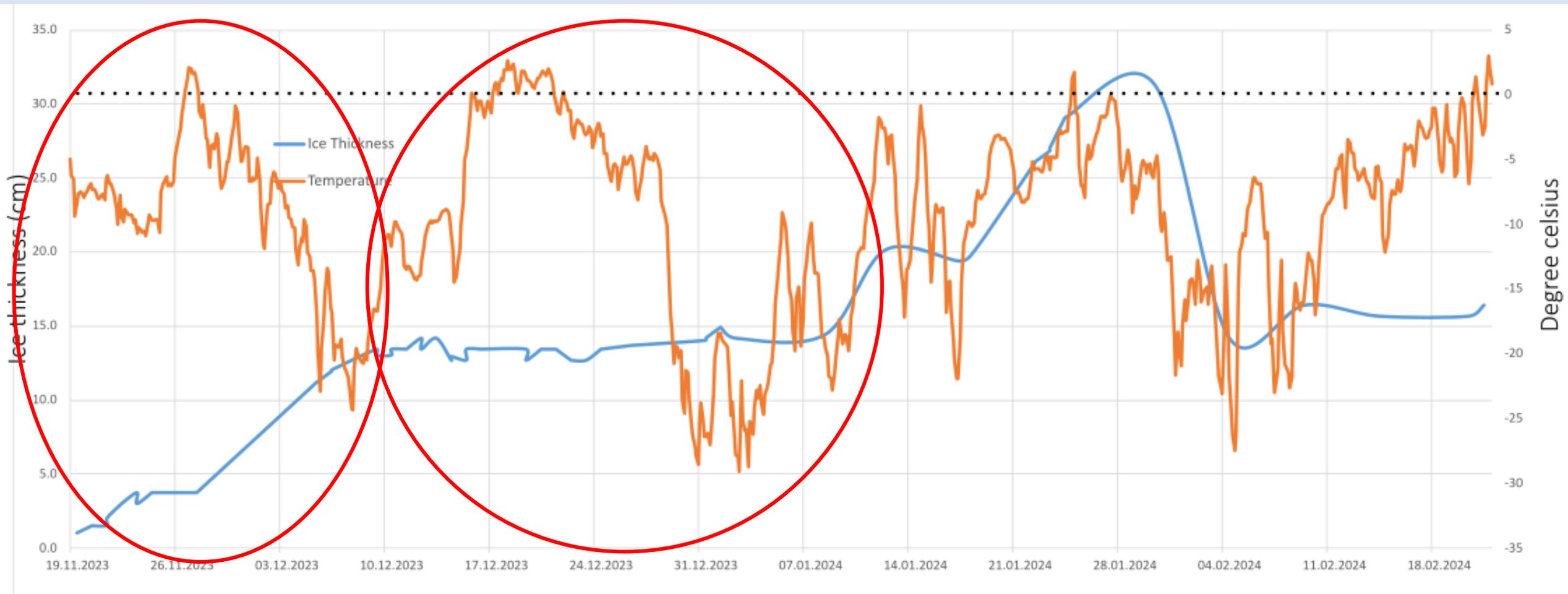


	Time		1st maxima	distance_1	2nd maxima	distance_2	Difference_2		1st ma value
1	0.31	0.31	0.006244	4.3708	0.006388	4.4716	0.101	0.27216	0.8
2	2.32	2.32	0.006248	4.3736	0.006392	4.4744	0.101	0.27216	0.85778
3	4.33	4.33	0.006224	4.3568	0.006364	4.4548	0.098	0.2646	0.8332
4	6.34	6.34	0.00622	4.354	0.006364	4.4548	0.101	0.27216	0.83749
5	8.35	8.35	0.0062	4.34	0.006344	4.4408	0.101	0.27216	0.82507
6	10.36	10.36	0.00618	4.326	0.00632	4.424	0.098	0.2646	0.82261
7	12.37	12.37	0.006172	4.3204	0.006316	4.4212	0.101	0.27216	0.83487
8	14.38	14.38	0.006148	4.3036	0.006288	4.4016	0.098	0.2646	0.5362
9	16.39	16.39	0.006148	4.3036	0.006288	4.4016	0.098	0.2646	0.56649
10	18.4	18.4	0.006176	4.3232	0.006316	4.4212	0.098	0.2646	0.69156
11	20.03	20.03	0.00616	4.312	0.006304	4.4128	0.101	0.27216	0.86116
12	21.3	21.3	0.00618	4.326	0.006324	4.4268	0.101	0.27216	0.84861
13	23.31	23.31	0.006172	4.3204	0.006312	4.4184	0.098	0.2646	0.8339
1	1.32	25.32	0.00616	4.312	0.006304	4.4128	0.101	0.27216	0.86813
2	3.33	27.33	0.006176	4.3232	0.006316	4.4212	0.098	0.2646	0.85167
3	5.34	29.34	0.006168	4.3176	0.006312	4.4184	0.101	0.27216	0.85867
4	7.35	31.35	0.00618	4.326	0.006324	4.4268	0.101	0.27216	0.85953
5	9.36	33.36	0.006124	4.2868	0.006268	4.3876	0.101	0.27216	0.79855
6	11.37	35.37	0.006136	4.2952	0.006276	4.3932	0.098	0.2646	0.84863
7	11.52	35.52	0.006136	4.2952	0.00628	4.396	0.101	0.27216	0.87392
8	11.54	35.54	0.006128	4.2896	0.006268	4.3876	0.098	0.2646	0.85855

Взаимосвязь Граница лед-вода с уровнем воды



Взаимосвязь Граница лед-вода с температур



Толщина льда



Вывод

- В результате исследования были проанализированы различные параметры, влияющие на отражение акустических сигналов.
- Отражение границы воды и различных границ льда имеет отличительные характеристики.
- Метод расчёта толщины льда, основанный на нахождении разницы времени задержки сигнала между первым и вторым отражениями подтвердил эффективность.
- Планируется продолжить измерения этой зимой.

Благодарность

- Титченко Ю.А. и Караев В.Ю.
- Это была часть стажировки в рамках Плавучего университета 2024.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

19 ноябрь - 06.46

19 Ноябрь - 18.39

19th Ноябрь - 22.41

20 ноябрь - 00.42

20 Ноябрь - 2.43

20 Ноябрь - 04.44

Vichare Aniket Sachin

aniket.354@gmail.com

Master Student - Cold Region Environment Landscapes Integrated Science (CORELIS)

Saint Petersburg State University

20 Ноябрь - 18.33

20 Ноябрь - 22.35