

Тепловые потоки в многослойной среде атмосфера-снег-лёд-вода на примере финского залива

Научный руководитель – Подрезова Надежда Алексеевна

Кравцова Карина Владимировна

Студент (бакалавр)

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург,
Россия

E-mail: karkrav08.12@mail.ru

В период с 8.02.2021 по 20.02.2021 в восточной части Финского залива около города Ораниенбаум проводилась учебная Ледовая практика для студентов океанологов 2 курса Российского Гидрометеорологического Университета. Для получения информации о вертикальном распределении температуры в многослойной среде атмосфера-снег-лёд-вода была встроена термокоса, которая содержала 4 датчика. Причём, датчики были установлены таким образом, чтобы 1 датчик находился в снегу, 2 и 3 датчики вмораживались в лёд и 4 датчик находился в подлёдной воде. Было проведено 2 эксперимента [3].

Эксперимент 1. 18 февраля средняя температура атмосферы, во время проведения эксперимента, составляла - 18°C. Облачность - 0 баллов. Ветер - штиль. Местность закрытая - Сидоровский канал. Время эксперимента составило 3 часа 10 минут. Можно отметить, что наибольшие изменения температуры фиксируются на 1 датчике, который находится в снегу. Где можно отметить возрастание температуры с -4 °C до -1 °C в течение часа. 2 и 3 датчики фиксируют небольшие колебания температуры от 0 °C до 1°C на протяжении всего эксперимента.

Эксперимент 2. 19 февраля средняя температура атмосферы, во время проведения эксперимента, составляла - 10°C. Облачность - 8-9 баллов. Ветер - 2 м/с. Местность - открытая, на заливе. Время эксперимента составило - 3 часа. Можно отметить, что на протяжении всего эксперимента, наибольшие изменения температуры наблюдаются на 1 датчике, в снегу, которые составляют от -6 °C до -3 °C. На 2 и 3 датчиках температура стабилизировалась в течении нескольких минут и фиксирует температуру равную -0,5 °C. Можно заметить, что на графике есть небольшой интервал с температурами выше представленных значений, как некая аномалия.

Полученные профили температуры в двух экспериментах существенно отличаются только на 1 датчике, который фиксирует температуру в снегу. Это объясняется различными условиями эксперимента, а именно тем, что термокоса вмораживалась в разных местах залива (в закрытой и открытой частях), подверженностью различным значениям температуры атмосферы, а также разным скоростям ветра.

Тепловой поток через снежный покров при квазистационарном режиме прямо пропорционален температурному градиенту и обратно пропорционален термическому сопротивлению снежного покрова. Поэтому вклад температуры воздуха и термического сопротивления снежного покрова в значительной степени зависит от коэффициента теплопроводности снега.

Зависимости коэффициента теплопроводности снега показывают большой разброс значений при одинаковой плотности снега. Одна из причин - структурные особенности снежного покрова. Так, коэффициент теплопроводности глубинной изморози в несколько раз меньше, чем зернистого снега при равной плотности. То есть слоистость снежного покрова влияет на его термическое сопротивление и температурный режим подстилающих оснований [2].

Для расчета тепловых потоков в каждой из исследуемых сред, использовалась формула [1]:

$$\Phi = [(T_2 - T_1) / h] k C \rho, [\text{Вт}/\text{м}^2]$$

где h - расстояние между датчиками [м], k - коэффициент турбулентного обмена, равный 10^{-3} [Вт/м²], C - теплоёмкость среды [Дж/кг [U+2103]], ρ - плотность среды [кг/м³].

Рассчитанные значения тепловых потоков составили $\Phi_{\text{вода}} = 540.94 \text{ Вт}/\text{м}^2$, $\Phi_{\text{лёд}}$ (нижняя граница) = $783.11 \text{ Вт}/\text{м}^2$, $\Phi_{\text{лёд}}$ (верхняя граница) = $40945.62 \text{ Вт}/\text{м}^2$, $\Phi_{\text{снег}} = 19383.71 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Из расчётов видно, что тепловой поток постепенно увеличивался от воды к атмосфере. В природных условиях поток тепла от воды ко льду обычно имеет место быть. Он уменьшает значение суммоградусов дней мороза тем существеннее, чем больше толщина льда. Также из-за этого потока тепла может наступить таяние льда с его нижней поверхности несмотря на отрицательную температуру воздуха.

Как известно, толщина заснеженного льда оказывается меньше, чем льда без снежного покрова. Это уменьшение зависит от толщины слоя снега и теплопроводности, так как снег является хорошим теплоизоляционным материалом, то есть температура льда под снегом выше, чем бесснежного.

В результате проведенного исследования, получили измерения термометрической косой, показали вертикальные профили температуры, которые позволили рассчитать тепловые потоки в многослойной среде. В феврале 2023 года планируется повторить эксперимент с постановкой термометрической косы для получения новых данных по распределению температуры в многослойной среде и расчёта тепловых потоков.

Источники и литература

- 1) Доронин Ю.П. Физика океана. // Учебное пособие - СПб.: изд. РГГМУ, 2002.-340с.
- 2) Котляков В.М., Сосновский А.В., Осокин Н.И. Оценка коэффициента теплопроводности снега по его плотности и твёрдости на Западном Шпицбергене. // Институт географии РАН, Москва, Россия, 2018 г.
- 3) Podrezova N.A., Kravtsova K.V. Ice research in the gulf of FINLAND // В сборнике: Physical and Mathematical Modeling of Earth and Environment Processes. Proceedings of 7th International Conference. Сер. "Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences" 2022. С. 271-279.

Иллюстрации

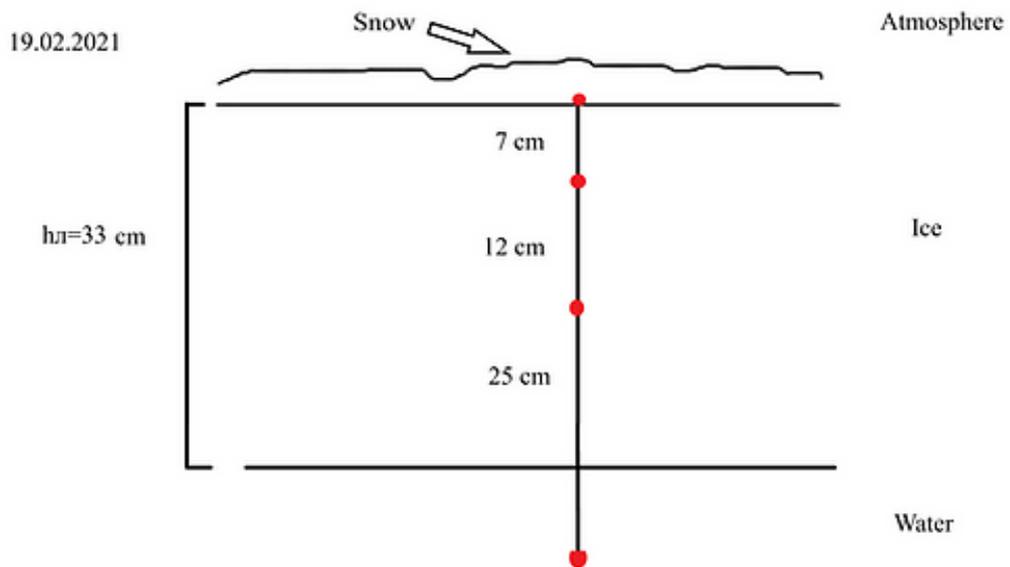


Рис. 1. Расположение датчиков

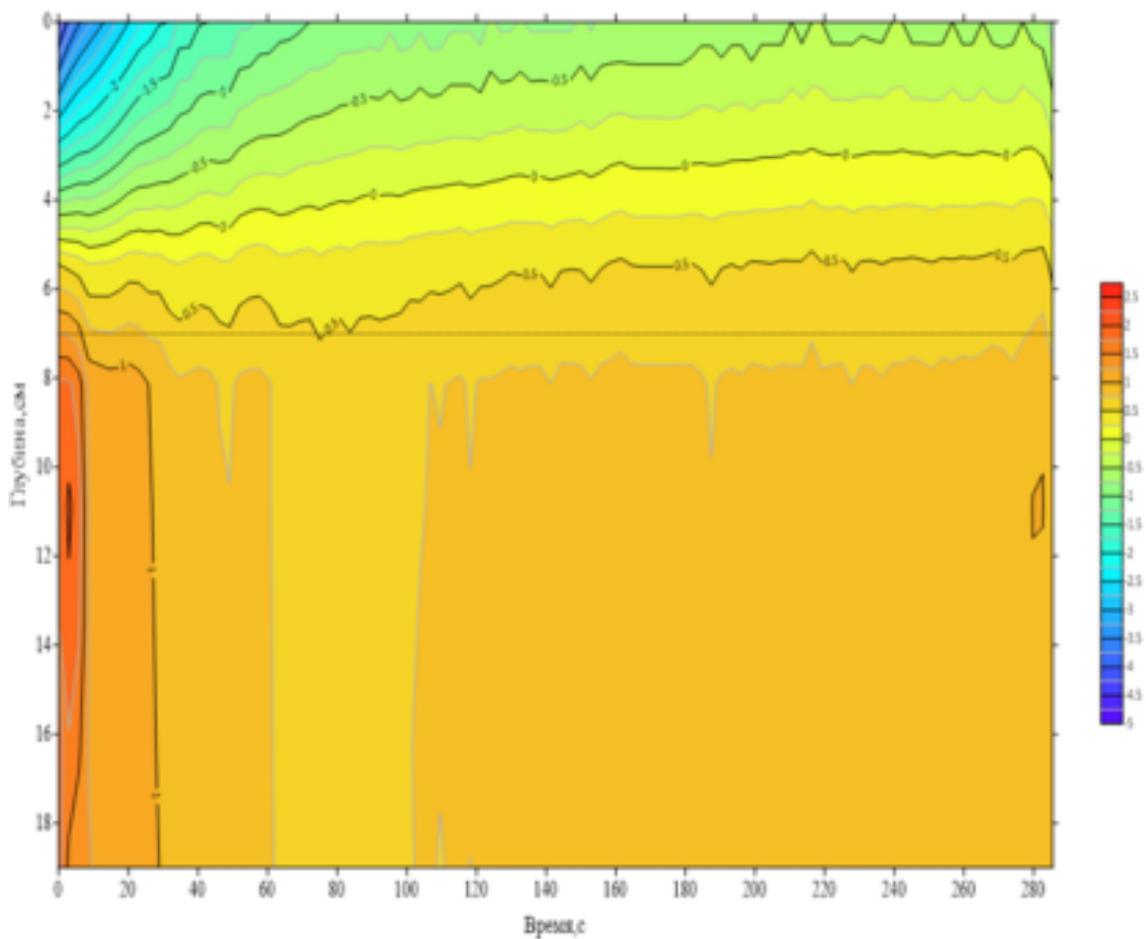


Рис. 2. Распределение температуры 18 февраля

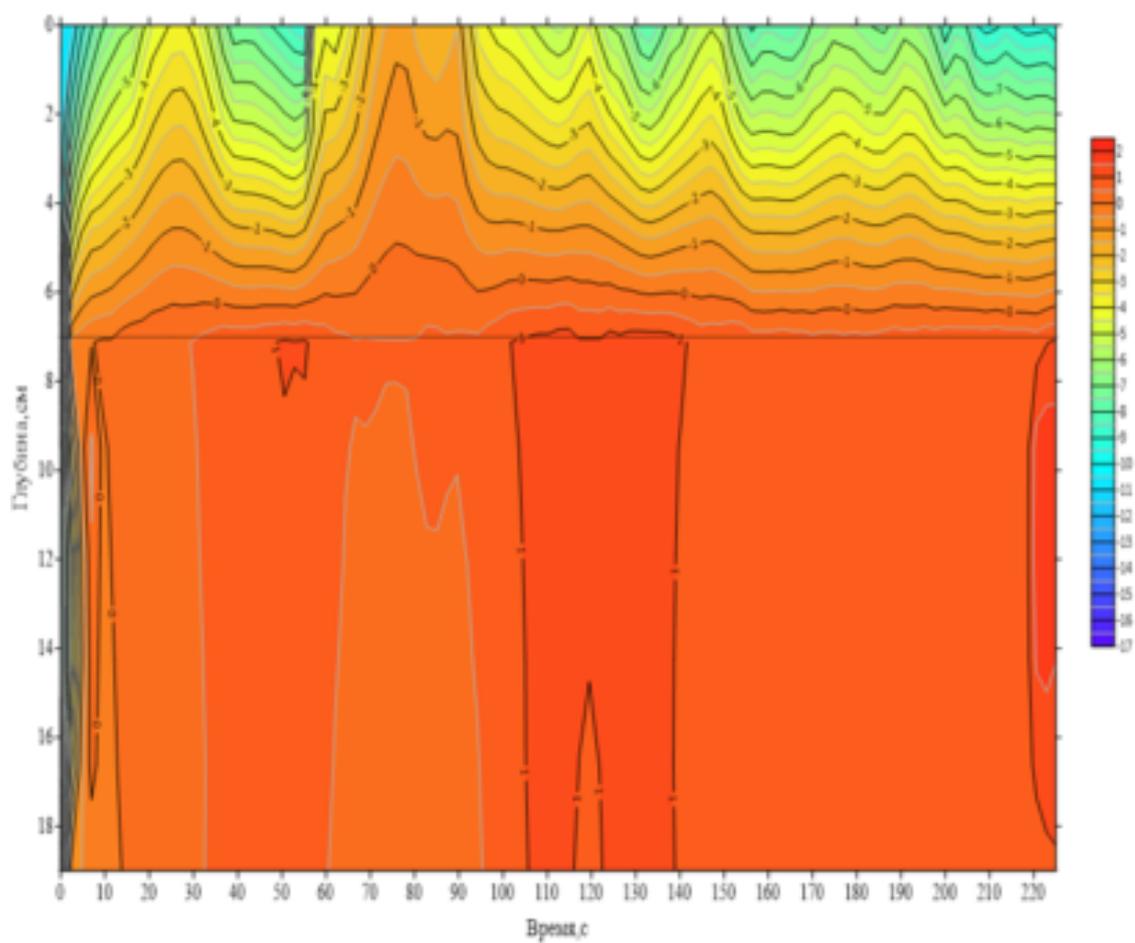


Рис. 3. Распределение температуры 19 февраля.