

АПРОБАЦИЯ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО МНОГОЗОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

**Кустова Е.В.¹, Зацерковный А.В.¹, Лазарюк А.Ю.¹,
Гасанов А.Ш.²**

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток

²Дальневосточный Федеральный Университет, г. Владивосток
kustova_e@poi.dvo.ru

Теплообмен в системе атмосфера – морской лёд – вода является одним из ключевых процессов, влияющих на климат и изменение площади ледового покрова на планете. Несмотря на это, он остается недостаточно изученным и опирается, в основном, на расчетные величины из-за трудностей с натурными измерениями. Профили температуры морского льда, как правило, получают при помощи измерений температуры кернов, что предполагает нарушение естественного состояния льда [1]. При измерении подледной температуры воды нарушается ледовый покров, что ведет к попаданию в поверхностные воды более холодного и плотного рассола по сравнению с ними, а также перемешиванию самих вод и, таким образом, изменению температуры. Кроме того, такие измерения являются разовыми (даже если периодическими), и не позволяют получить подробный временной ряд температурных профилей.

Для решения этой проблемы авторами предлагается Автономный Многозонный Измеритель Температуры (далее – АМЗИТ), представляющий собой автономную термокасу в твердой (полипропиленовой трубе Ø30мм) оболочке, в которой закреплены температурные датчики DS18B20 IP68 [2] с определенными интервалами. Схема и фотографии прибора представлены на рисунке 1.

За сбор и хранение данных отвечает контроллер ESP-WROOM32, к которому подключены часы реального времени DS3231 по шине I2C. Для обеспечения питания прибора использовались Li-Ion 18650 аккумуляторы 2,51Ач, 3,6В. Контроллер и батареи были помещены в герметично изолированный полипропиленовый корпус Ø110мм (рис. 2) и соединены с измерительной частью трехжильным медным кабелем в резиновой оболочке. Пере-

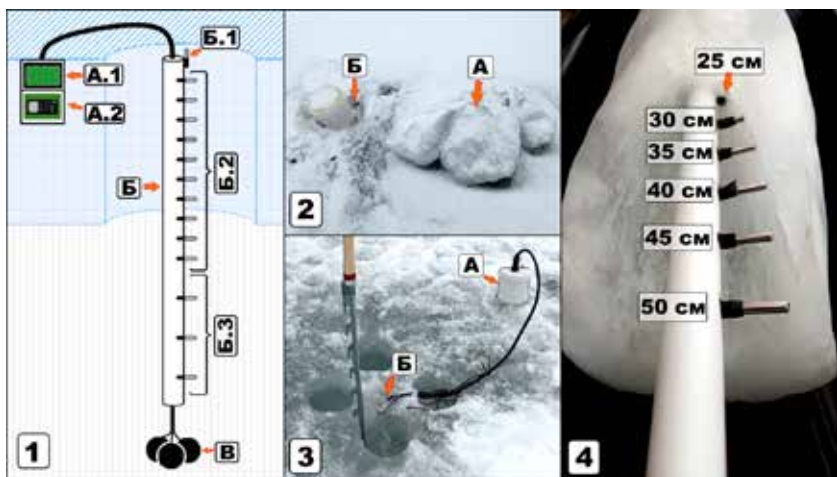


Рис. 1. Схема и фотографии АМЗИТ (постановка 2024 г.)

1 – схема прибора и фотографии его установки: А – герметичная емкость с контроллером, часами (А.1) и батареями (А.2); Б – труба с датчиками (Б.1 – атмосферный датчик, Б.2 – датчики с интервалом 5 см, Б.3 – датчики с интервалом 8,5 см); В – грузила. 2 – фотография установленного прибора, укрытого льдом и снегом. 3 – фотография прибора в процессе извлечения. 4 – фотография нижней части извлеченного керна с АМЗИТ

дача данных производилась беспроводным способом посредством встроенного Wi Fi контроллера без внешней антенны.

С целью уменьшить энергопотребление прибора контроллеру был задан следующий режим работы: 13 мин сна – 2 мин активности (опрос каждого датчика трижды, запись результатов опроса, при наличии запроса – передача данных по Wi Fi по протоколу http).

Для апробации работы прибора были выполнены несколько постановок в 2024 – 2025 гг. на льду Амурского залива.

- Первая постановка: 20-25 февраля 2024 г. Толщина льда ~60 см, 10 датчиков на трубе с шагом 85 мм; в этой постановке труба имела положительная плавучесть, которую предполагалось скомпенсировать установкой крупного куска льда поверх трубы (датчика для измерения температуры воздуха в первой конструкции не предполагалось). 21 февраля в 4:36 VLAT пять датчиков перестали отвечать, еще два датчика отключились позже, при контрольной

проверке обнаружилось, что произошел сдвиг льдин в месте измерений, и труба АМЗИТа поднялась надо льдом на ~15 см. Три оставшихся датчика отработали все оставшееся время. Из-за поднятия трубы один снимал данные температуры воздуха, второй – на уровне 42,5 см (вода в лунке), третий – 68 см (подледная вода). После извлечения и проверки все датчики оказались исправны, предположительно, сдвиг трубы нарушил соединение кабелей в месте соединения с общей шиной. Эксперимент признан частично удачным, в схему прибора добавлены грузила, изменена схема герметизации в областях соединения проводов и расположения датчиков.

- Вторая постановка: 2–8 марта 2024 г. Толщина льда ~50 см, расположение датчиков см. рис. 1(1). Труба крепилась ко льду при помощи паракорда, закрепленного на четыре рым-шурупа длиной 12 см, вкрученным в поверхность льда. Ежедневно проводились проверки прибора и сбор данных, все время эксперимента прибор отработал без сбоев. Из-за сроков постановки и, как следствие, довольно высоких температур воздуха в этот период, лед успел нарасти только до датчика 25 см, см. рис. 1(4).

За периоды экспериментов (6 дней) блок питания прибора (6 аккумуляторов) израсходовал ~30% емкости.

Поскольку одной из целей создания прибора была длительность работы в автономном режиме (на весь ледовый сезон) при максимально возможной частоте измерений, по итогам экспериментов в АМЗИТ были внесены следующие модификации:

- изменен формат записи данных на двоичный, для передачи данных использован протокол MQTT, контроллер переведен в режим клиента WiFi и MQTT (в ранних версиях контроллер работал в режиме точки доступа и http сервера, что вело к большому расходу питания);
- после подтвержденной передачи порции данных удаляются из энергонезависимой памяти контроллера, чтобы избежать ее переполнения;
- опрос датчиков производится три раза подряд, затем контроллер засыпает на 5 мин;
- соединения проводов отдельных частей прибора (контроллер+часы, батарея питания, сенсорный блок) производятся

посредством герметичных разъемов для облегчения замены в случае необходимости;

- блок контроллер+часы заключен в отдельный короб для более надежной фиксации и герметизации.

Фотография сборки АМЗИТ с внесенными изменениями представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Сборка АМЗИТ-2025: 1 – Полипропиленовая основа с датчиками; 2 – Крышка гермокорпуса с закрепленным коннектором, связывающим блок управления с датчиками; 3 – Гермокорпус для размещения блока 5 и аккумуляторной батареи; 4 – Герметичные коннекторы типа «папа»; 5 – Отдельный блок с контроллером и часами, во время работы герметизируется; 6 – Герметичные коннекторы типа «мама»

Отладка прошивки закончена уже после завершения сезона, поэтому измерения в 2025 году фрагментированы. Тем не менее, произведены несколько постановок длительностью 2–5 дней. Ведется дальнейшая доработка прибора с целью обеспечить автоматическую передачу данных на значительные расстояния, чтобы исключить их вероятную потерю

из-за отсутствия возможности выхода на лед (или даже достаточного приближения к прибору) исследователя с приемником.

Полученные с АМЗИТ данные можно будет использовать для уточнения данных теплообмена океана с атмосферой через лед, построения временных рядов профилей температур во льду, наблюдения за влиянием солнечной радиации на изменение температуры льда и подледной воды.

Работы проведены в рамках госбюджетной темы «Исследование структуры и динамики вод Мирового океана в условиях современных климатических изменений», регистрационный номер: 124022100079-4.

Литература

1. Carnat G. et al. Investigations on physical and textural properties of Arctic first-year sea ice in the Amundsen Gulf, Canada, November 2007–June 2008 (IPY-CFL system study) // *Journal of Glaciology*. 2013. Т. 59. № 217. С. 819-837.
2. Спецификации цифрового датчика температуры DS18B20 (URL: <https://static.chipdip.ru/lib/953/DOC011953598.pdf>)