

## ИНТЕГРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ В БЕСПИЛОТНЫЕ НАДВОДНЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГОВЫХ РАБОТ В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ

В. В. Никишин<sup>1</sup>, А. В. Багаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Севастопольский государственный университет,  
Россия, 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, д. 33,  
e-mail: [nikishin\\_v@mail.ru](mailto:nikishin_v@mail.ru);

<sup>2</sup>ФГБУН ФИЦ Морской гидрофизический институт РАН,  
Россия, 299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2,  
e-mail: [a.bagaev1984@mhi-ras.ru](mailto:a.bagaev1984@mhi-ras.ru)

Оперативные океанологические исследования в прибрежной зоне моря – это не только наукоемкая задача, но и востребованная услуга с высокой практической значимостью. Беспилотные надводные аппараты (БНА) позволяют перемещать эхолоты, кондуктометры, пробоотборники и другие измерительные средства по поверхности моря и осуществлять измерения без непосредственного участия человека. Их применение ускоряет организацию и проведение экспедиций, расширяет район исследования, так как благодаря своим малым размерам они могут работать в мелководных районах со сложной орографией берега, где суда с экипажем применять опасно.

В настоящей работе представлено решение инженерной задачи разработки комплексной системы, состоящей из модуля регистрации параметров от цифровых и аналоговых измерительных приборов, модуля регистрации географических координат и носителя в виде беспилотного надводного аппарата. Разработанный комплекс имеет низкую себестоимость, простоту тиражирования и потенциал для модернизации путем расширения номенклатуры подключаемых приборов. Приведены результаты применения комплекса в прибрежных районах западного побережья Крыма и на гидрологических объектах в экспедициях различной длительности.

**Ключевые слова:** универсальный модуль регистрации, океанологические наблюдения, беспилотный надводный аппарат

### Введение

Современная электронная элементная база позволяет специалистам в области приборостроения существенно миниатюризовать датчики, применяемые для исследования водной среды, а также расширить перечень измеряемых параметров. Измерительные приборы представляют собой комплекс, в который входит чувствительный элемент, вторичные измерительные преобразователи, устройство преобразования сигналов в цифровую форму, система записи и передачи измерений, интерфейсы. Если взаимодействие между компонентами организовано по стандартным интерфейсам (протоколам обмена данными и командами), то реализуется принцип «*plug and play*» – «подключи и работай». Цифровая обработка

сигналов позволяет вносить поправки, применять фильтрацию данных, использовать сложные математические преобразования непосредственно в процессе измерения.

Для каждого измерительного прибора производитель при необходимости предлагает отдельно приобрести контроллер цифровых датчиков. Если прибор не серийный или имеет особенности применения, то контроллеры цифровых датчиков могут разрабатываться отдельно (например, Свидетельство, 2022; Амосова и др., 2011; Патент, 2018; Неделько, 2012; Zhang et al., 2021; Chen et al., 2012), именно для этого и принимаются стандартные протоколы обмена данными.

Несмотря на все достоинства современных измерительных приборов, основную сложность в их применении представляет доставка прибора на место проведения работ, так как район действия научно-исследовательских судов (НИС) часто бывает ограничен их габаритами, осадкой, погодой или условиями организационного характера. Кроме того, по окончании обычной экспедиции, как правило, выполняется синхронизация измерений, времени и данных приемника глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), так как подавляющее большинство промышленных сенсоров не оборудованы встроенными приемниками географических координат. В наиболее сложных случаях во время проведения измерений необходимо удерживать судно в заданных координатах с высокой точностью.

Одним из подходов, позволяющих избежать этих сложностей, является применение беспилотных аппаратов, прежде всего надводных, в виде движущейся модульной платформы, на которой располагаются различные сенсоры и которая имеет возможность маневрировать в автоматическом или ручном режимах (Ribas-Ribas et al., 2021; Каевицер и др., 2016). В качестве отдельного модуля может выступать любой функциональный фрагмент аппарата: например, блок навигации, управления, измерения, записи и передачи телеметрии. При правильной организации взаимодействия между модулями их можно заменять в процессе развития платформы, не внося существенных изменений в остальные модули.

Разработка измерительного океанографического комплекса всегда включает в себя дизайн и реализацию блока управления и регистрации измерений, а также создание специализированного программного обеспечения (например, Мотыжев и др., 2011; Островский и др., 2012; Озеров, 2018). Работы, посвященные океанографическим комплексам зарубежного производства, имеют в основном рекламно-информационный характер или описание технических характеристик, что не позволяет сравнивать элементную базу и возможности программного обеспечения. В любом случае эти разработки лицензируются и в настоящее время подпадают под экспортные ограничения. Аналогичные системы отечественной разработки либо специализированы под конкретный прибор, либо нацелены на работу в глубоководной части Мирового океана или в экстремальных условиях Арктики, и из-за своей высокой стоимости плохо масштабируются под задачи мониторинга прибрежной зоны моря. Достаточно много работ посвящены описанию прототипов приборов без указания результатов практического применения.

В настоящей публикации приведен опыт разработки комплексной системы для измерения океанографических параметров (глубины, солености и растворенного кислорода) с применением промышленных сенсоров. Для записи получаемых данных и автоматической синхронизации с географическими координатами создан универсальный модуль регистрации измерений. Достоинствами представленного комплекса являются возможность его использования как с борта судна, так и в составе беспилотных надводных аппаратов (БНА), а также универсальность и экономическая эффективность применяемого модуля регистрации измерений. Приведены примеры результатов его практического применения в составе БНА.

Насколько нам известно, прямые аналоги такой модульной системы отсутствуют. Можно утверждать, что ввиду нехватки отечественных океанологических измерительных комплексов, создание и дальнейшее развитие такого комплекса позволит уменьшить зависимость от поставок из-за рубежа, а в перспективе перейти на отечественную элементную базу и измерительные приборы. Использование авторского ПО в сочетании с доступными и недорогими компонентами обеспечивает его конкурентоспособность и востребованность для региональных мониторинговых океанологических и гидрологических исследований.

### **Модуль регистрации измерений**

Разработанный модуль регистрации измерений (регистратор) обеспечивает распределение электропитания приборов с нужными уровнями напряжения, отправку служебных команд для запуска измерений, получение информации от датчиков, передачу результатов измерений по проводному и беспроводному каналам, а также сохранение данных на твердотельный накопитель. *Функциональная схема* регистратора приведена на рисунке 1.

Для электропитания может быть применен аккумулятор напряжением от 7 до 24 вольт. Для преобразования напряжения аккумулятора в TTL-уровень (*transistor-transistor logic*) применен малогабаритный DC-DC преобразователь. Применение DC-DC преобразователей наиболее эффективно, так как их КПД составляет более 80 %, что положительно сказывается на запасе автономности. В процессе тестирования применялся литий-полимерный аккумулятор напряжением 12 В и емкостью 5 А · ч, показавший время автономной работы около 12 часов.

В качестве управляющего устройства модуля регистрации применен микроконтроллер Atmega2560 на базе платформы Arduino Mega, имеющий 4 интерфейса связи RS-232.

Регистратор выполнен в виде съемной печатной платы, которая подключается к плате ArduinoMega. Электронная часть регистратора помещена в контейнер, обеспечивающий брызгозащиту, измерительные приборы подключаются резьбовыми разъемами (см. рисунок 2).

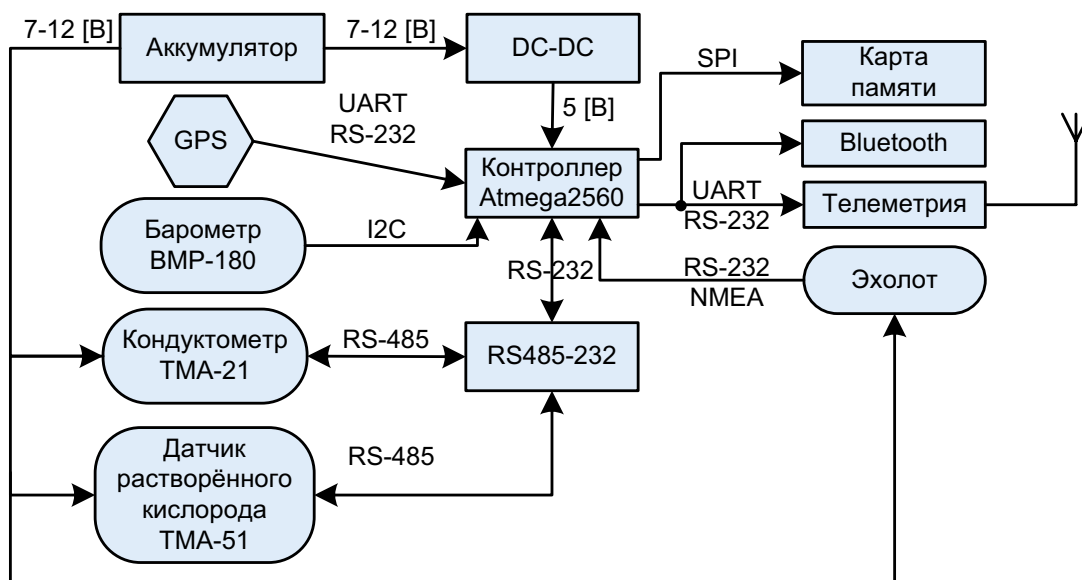


Рис. 1 – Функциональная схема модуля регистрации измерений.  
 Над стрелками указаны аббревиатуры стандартных интерфейсов обмена

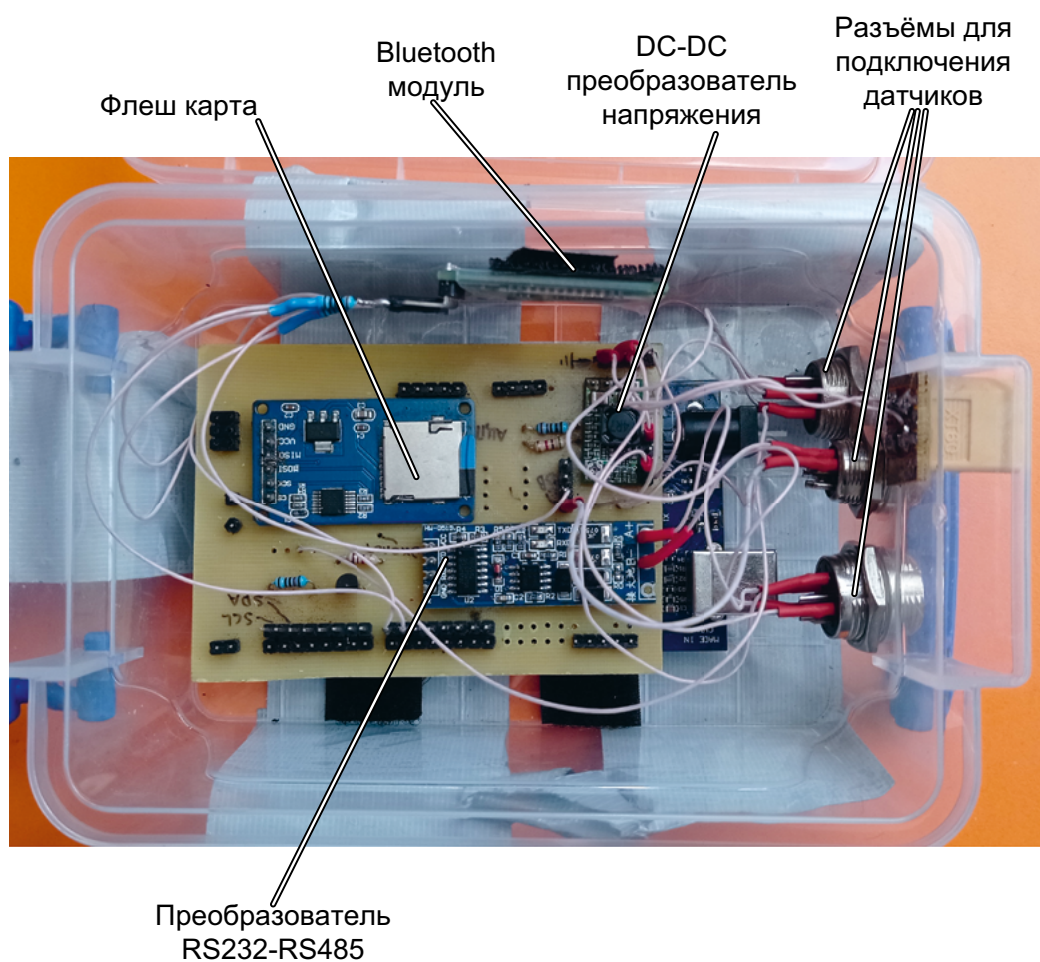


Рис. 2 – Внешний вид разработанного регистратора при снятой крышке

Для регистратора разработано низкоуровневое программное обеспечение (НПО) на языке Си с помощью среды разработки *AtmelStudio* (AtmelStudio 7, 2022). НПО обеспечивает следующий функционал:

- отправку команды для старта измерения солености;
- ожидание от датчика результатов измерений солености;
- отправку команды для старта измерения растворенного кислорода;
- ожидание от датчика результатов измерений растворенного кислорода;
- ожидание от GPS-приемника географических координат;
- ожидание от эхолота результатов измерения глубины;
- синтез измерений с географическими координатами в одну посылку и отправка ее по интерфейсу в Bluetooth модуль, проводной и беспроводной канал телеметрии;
- сохранение результатов измерений в текстовом формате на сменную карту памяти.

НПО состоит из отдельных программных блоков, реализующих с помощью стандартных библиотек функционал опроса датчиков, считывание данных, запись на твердотельный накопитель и передачу текущего статуса на смартфон. Из этих блоков функции обмена командами и чтение данных адаптированы под конкретные измерительные преобразователи – кондуктометр ТМА-21, измеритель растворенного кислорода ТМА-51 и эхолот с протоколом передачи данных о глубине NMEA-0189. Таким образом, требуется лишь присоединить приборы к регистратору, который автоматически адаптирует алгоритм работы так, чтобы отправлять служебные команды только для подключенных приборов. А значит возможны различные вариации работы с регистратором в экспедициях. К примеру, если требуется измерять только глубину, то, подключив эхолот к регистратору, можно приступать к измерению без перепрограммирования ПО. Адаптивность алгоритма реализована благодаря применению аппаратных прерываний интерфейса UART в микроконтроллере и наличию уникальных адресов у приборов. Такой подход упрощает организацию работ, так как среди участников экспедиции не всегда может быть разработчик модуля, который несет ответственность за версию ПО, и, таким образом, любой участник может включить и применять модуль регистрации с указанными выше приборами и их комбинациями.

### **Применяемые измерители**

В качестве датчика солености используется промышленный датчик ТМА-21 (Датчик ТМА-21, 2022), в котором реализуется контактный метод измерения с применением двух платиновых и двух графитовых электродов. Относительная погрешность измерения не превышает 1 %. Измерение концентрации растворенного кислорода осуществляется датчиком ТМА-51 (Датчик ТМА-51, 2022). Принцип измерения оптический. Точность измерения –  $\pm 0.1$  мг/л. По данным встроенного термометра производится автоматическая температурная компенсация при получении измеряемых параметров.

Приборы серии ТМА оборудованы цифровым интерфейсом RS-485. Так как в микроконтроллере Atmega-2560 отсутствует интерфейс RS-485, то для работы с приборами ТМА применен преобразователь интерфейсов из RS-485 в RS-232. Приборы ТМА-21 и ТМА-51 имеют одинаковый протокол служебных команд, но каждый прибор имеет уникальный адрес, что позволяет с помощью программного обеспечения запускать каждый из них отдельно друг от друга.

В качестве эхолота применялся GarminEchomap 42 (ECHOMAP CHIRP 42DV/CV, 2022), оборудованный цифровым интерфейсом RS-232 и протоколом NMEA-0189.

Географические координаты фиксируются GNSS приемником G.top015 (FGPMMPA6C GPS StandaloneModuleDataSheet, 2011). Погрешность фиксации координат соответствует коммерческим трекерам и составляет  $\pm 3$  метра.

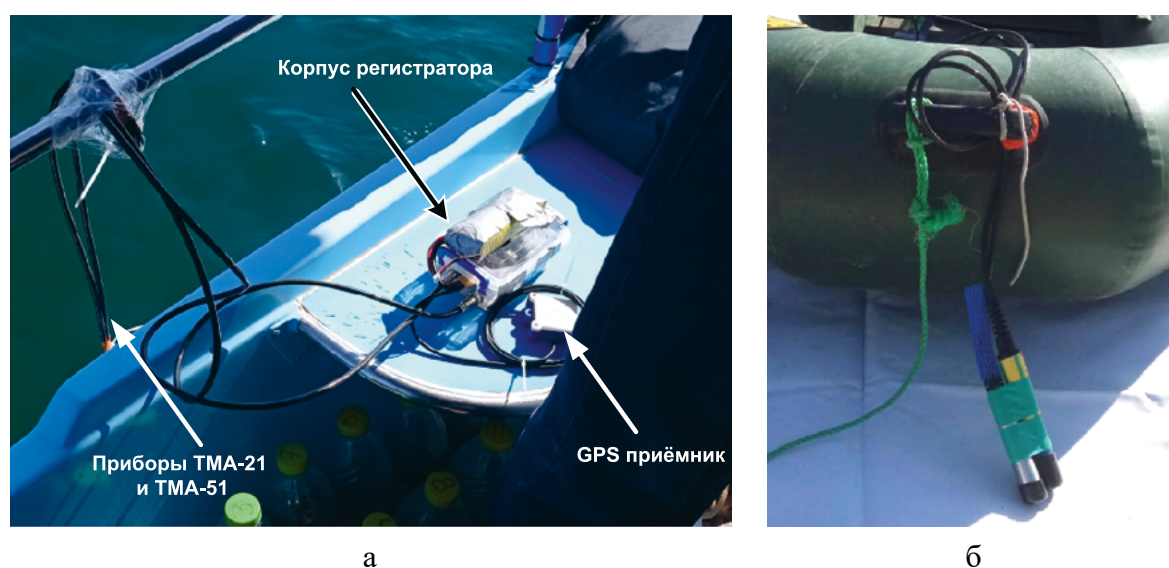


Рис. 3 – Примеры монтажа и использования регистратора с измерителями ТМА21 и ТМА51.  
а) борта прогулочного катера; б) на носу резиновой лодки

Отметим, что набор моделей измерительных приборов для функционирования в составе регистратора может быть легко расширен, так как разработанный регистратор позволяет подключаться к любым датчикам, использующим стандартные интерфейсы: RS-232, RS-485, I2C, SPI. В случае подключения иных интерфейсов, потребуется доработка блоков низкоуровневого ПО, отвечающих за обмен командами и данными, а блоки записи данных и обмена со смартфоном останутся прежними.

### Интеграция модуля регистрации измерений и измерительных приборов в состав БНА

Во время натурных испытаний модульного комплекса применялись как беспилотные надводные аппараты, так и обычные маломерные суда (см. рисунки 3, 4) для доставки приборов к месту проведения измерений.



Рис. 4 – Беспилотный аппарат “*Primo Victoria*” в качестве носителя приборов, модуля регистрации и модуля управления

В течение 2017–2021 гг. авторами публикации разработан малогабаритный беспилотный аппарат “*Primo Victoria*” в качестве средства доставки приборов (Nikishin et al., 2020). На нем были проведены первые натурные тесты применения эхолота и датчиков ТМА-21 и ТМА-51 в составе автоматизированной модульной системы, а также тесты функций автопилота. Данный аппарат наиболее удобен для первичных тестов, так как обладает небольшими размерами (длина 1 м) и массой (2 кг) и позволяет легко вносить изменения в конструкцию для крепления различных приборов. На рисунке 4 аппарат показан во время измерений глубин в водохранилище Гасфортовское (г. Севастополь), при этом регистратор показаний эхолота размещен внутри корпуса аппарата под брызгозащитной крышкой. В беспилотном носителе “*Primo Victoria*” используется автопилот, разработанный авторами настоящей публикации (Vagaev et al., 2022). Его описание выходит за рамки данной статьи.

При создании регистратора для приборов была предусмотрена возможность подключить его к беспилотному аппарату. В этом случае информация от датчиков отправляется в автопилот, который в свою очередь отправляет эти данные с помощью беспроводной телеметрии на берег. Схема работы регистратора в составе беспилотного модульного комплекса показана на рисунке 5.

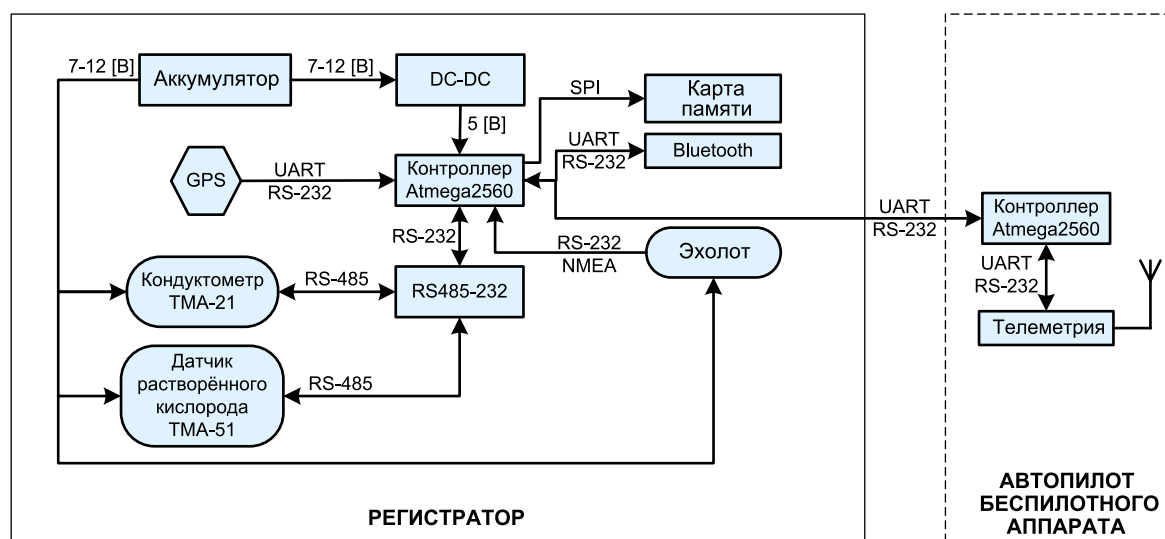


Рис. 5 – Функциональная схема регистратора при работе в составе беспилотного аппарата

### Тестирование и применение

Тестирование регистратора в природных условиях проводилось в акватории западного берега Крыма и во внутренних бухтах г. Севастополя (б. Апполонова, б. Голландия и б. Артиллерийская) (Багаев et al., 2022), а также в нескольких водохранилищах (пруд в с. Кизиловое, карьер в г. Инкерман) в период с 2019 по 2022 гг. География применения и тестирования показана на рисунке 6.

Разработанный регистратор применялся для решения задач, актуальных для г. Севастополя и Крыма. В частности, с помощью аппарата “*Primo Victoria*” в ноябре 2020 г. была проведена оценка запасов объемов воды в водохранилище Гасфортовское и в Кадыковском затопленном карьере для нужд водоснабжения г. Севастополя (В Севастополь стали подавать воду..., 2020; В Крыму началась переброска воды..., 2020). Регистратор с эхолотом был установлен на борту беспилотного аппарата и работал в автоматическом режиме. По окончании работ по измерениям глубин была построена карта-схема распределения глубин в указанных водоемах – рисунки 7а и б.

С использованием кондуктометра ТМА-21 выполнялся оперативный поиск фронтальной зоны (по высокому градиенту солености) на устьевом взморье реки Бельбек в июле 2021 г. для последующей съемки с квадрокоптера и зондирования с помощью STD-зонда.

Для валидации измерений солености прибором ТМА-21 была проведена экспедиция в бухтах Южная и Севастопольская (прибор был закреплен на борту маломерного судна и погружен в воду на 5–15 см) (см. рисунок 8б). Полученные результаты были сопоставлены с результатами лабораторных измерений солености в пробах воды. Пробы были взяты с глубины 50 см и обработаны в ходе регулярного многолетнего мониторинга, проводимого сотрудниками МГИ (Orekhova, Varenik, 2018).



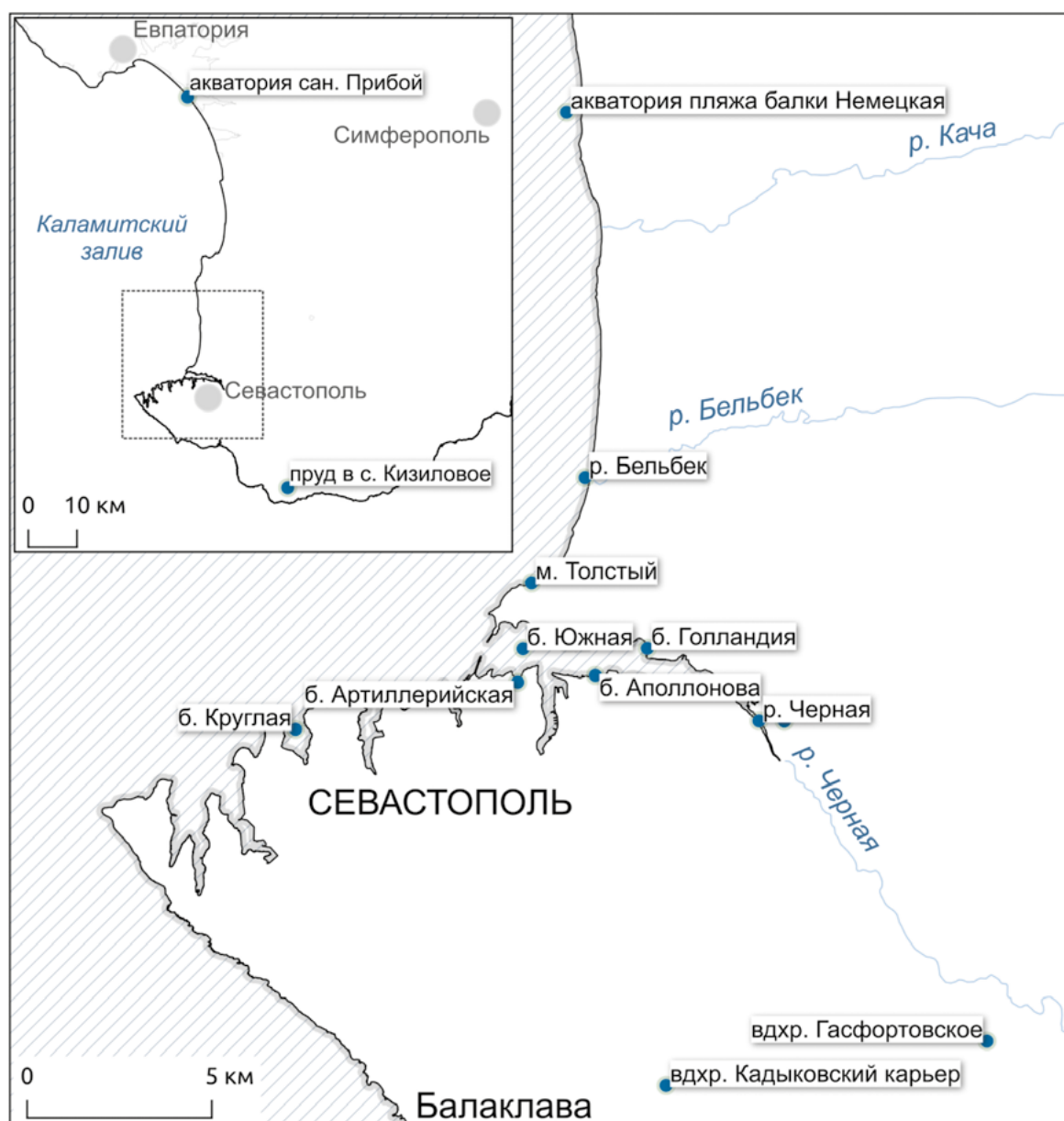


Рис. 6 – Карта-схема района работ с использованием регистратора

Данные за 13 и 14 сентября 2022 г. получены в БОД МГИ (Bayankina et al., 2021), описание методики и результатов выходит за рамки данной статьи. Сопоставление показало, что расхождение показаний прибора ТМА-21 составило не более  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  для температуры. Расхождения в измерениях солености достигали 0.9, что связано с разницей между глубиной зондирования и глубиной отбора проб воды (положительная корреляция с  $R = 0.95$ ).

В устье и в нижнем течении р. Черная в ходе мониторинга, проводимого МГИ, в 2022 г. были получены карты рельефа дна, продольные и поперечные разрезы и вертикальные профили поля солености температуры и содержания растворенного кислорода в зоне смешения морских и речных вод.

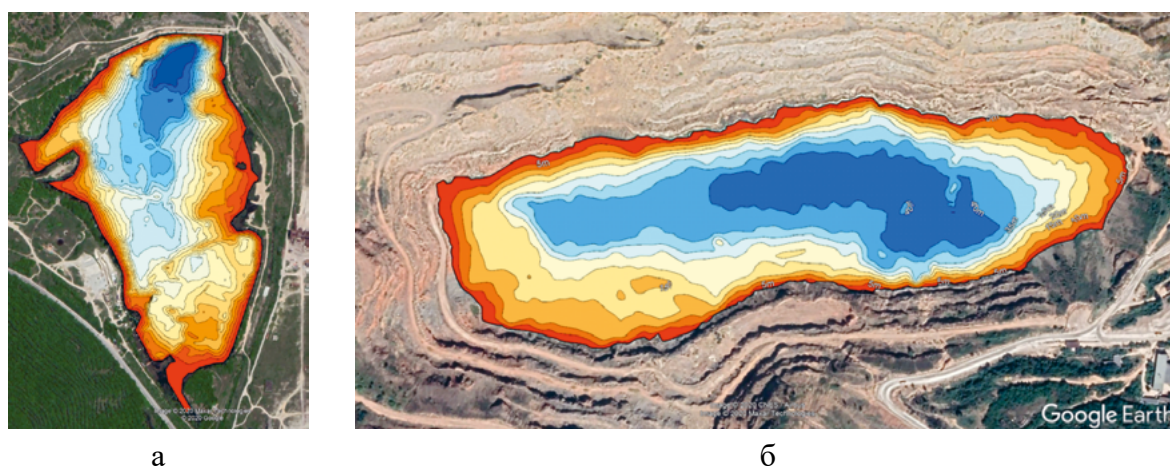


Рис. 7 – Карты-схемы распределения глубин:  
а) в озере Гасфорттовское; б) в Кадыковском затопленном карьере

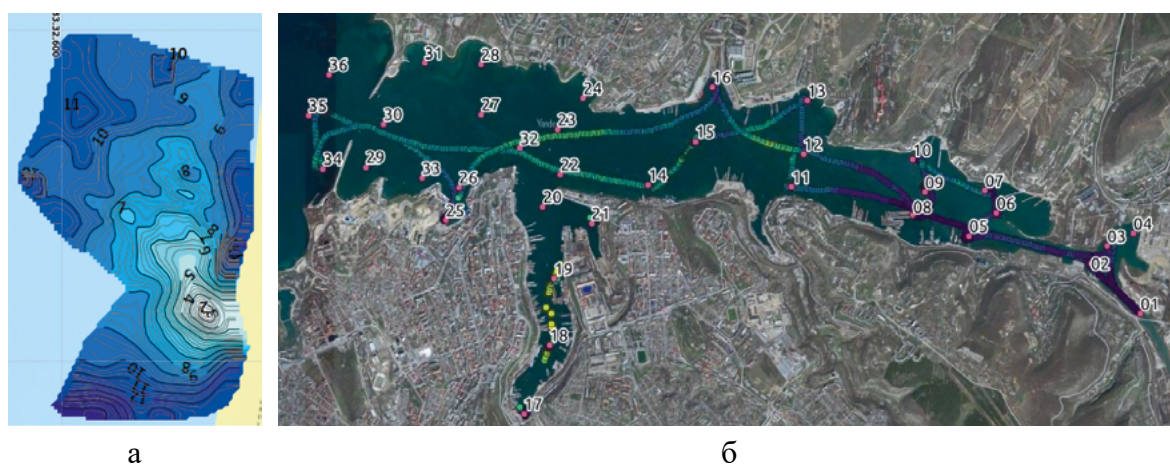


Рис. 8 – Распределение солёности: а) в устье р. Бельбек в июле 2021 г.  
(линейная интерполяция между галсами беспилотного аппарата);  
б) в поверхностном слое бухты Южная вдоль маршрута экспедиции МГИ 13.09.2022  
и 14.09.2022 (цифрами показаны стандартные станции мониторинга ФИЦ МГИ)

В бухте Круглая регистратор применялся в ходе учебной практики участников «Школы молодых океанологов» в 2022 г. Простота устройства и надежность интерфейсов позволила неподготовленным пользователям эффективно использовать измерители солёности, температуры и растворенного кислорода.

В акватории санатория «Прибой» (г. Саки) в 2021 г. были обнаружены и зарегистрированы изменения подводного рельефа на участке с недавно возведенными берегозащитными сооружениями.

## Заключение

Разработан универсальный модуль регистрации океанологических параметров, который позволяет подключать различные измерительные устройства по единому интерфейсу (в том числе промышленные датчики, работающие по интерфейсам RS232, RS485, I2C, SPI), а также автоматически выполнять синхронизацию измерений *in situ* и положения прибора с помощью спутниковой навигации. Модуль позволяет проводить измерения датчиками с привязкой к географическим координатам с частотой до 1 Гц и таким образом получать детальные разрезы в поле наблюдаемой океанологической величины.

Следует отметить, что концепция модульного контроллера цифровых датчиков известна и достаточно широко применяется на практике. Мы полагали своей задачей разработку и внедрение современного модуля собственной разработки из доступных компонентов с низкой себестоимостью, простого в изготовлении и пригодного для использования в задачах мониторинга океанологических процессов в прибрежной зоне моря.

Проведены натурные испытания и получены распределения температуры, солености и растворенного кислорода в поверхностном слое воды, а также карты глубин с высоким пространственным разрешением.

Модуль адаптирован к работе в составе беспилотного аппарата, благодаря чему можно проводить измерения на мелководье в непосредственной близости к берегу, где применение обычных плавсредств опасно.

С помощью представленной разработки решена практическая задача уточнения объемов воды в озере Гасфортовское и в Кадыковском карьере для ГУПС «Водоканал» города Севастополя.

Модуль основан на широко доступной элементной базе эконом-класса. Авторское ПО позволяет использовать его в программе импортозамещения и в практике океанологических исследований.

**Благодарности.** Авторы благодарят Удовика В. Ф. и Щербаченко С. В. за ценные рекомендации и практическую помощь в проведении испытаний оборудования, а также Орехову Н. А., Шутова С. А. и Шаповалова Р. О. за помощь в валидации данных измерений.

Работа Никишина В. В. выполнена при поддержке внутреннего гранта ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» в рамках научного проекта № 516/06-31.

Работа Багаева А. В. выполнена в рамках госзадания по теме МГИ «Прибрежные исследования» № FNNN-2021-0005.

### Список литературы

1. *Амосова Е. В., Кропачев Д. Ю., Паздерин Д. С.* Система мониторинга температур протяженных объектов в вечномёрзлых грунтах // Экспозиция. Нефть. Газ. 2011. № 6. <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-monitoringa-temperatur-protyazhennyh-obektov-v-vechnomerzlyh-gruntah> (дата обращения: 28.04.2023).
2. В Крыму началась переброска воды из Кадыковского карьера в Севастополь // РИА Новости [сайт]. 2020. <https://ria.ru/20201219/sevastopol-1590021413.html> (дата обращения 27.03.2023).
3. В Севастополь стали подавать воду из озера у горы Гасфорта // Российская газета [сайт]. 2020. <https://rg.ru/2020/12/15/reg-ufo/v-sevastopol-stali-podavat-vodu-iz-ozera-u-gory-gasforta.html> (дата обращения 27.03.2023).
4. Датчик ТМА-21 // Планета Инфо [сайт]. 2022. <https://datchiki.com/product/datchik-provodimosti-tma-21> (дата обращения 27.03.2023).
5. Датчик ТМА-51 // Планета Инфо [сайт]. 2022. <https://datchiki.com/product/datchik-rastvorennogo-kisloroda-v-vode-tma-51> (дата обращения 27.03.2023).
6. *Каевицер В. И., Кривцов А. П., Разманов В. М., Смольянинов И. В., Элбакидзе А. В., Денисов Е. Ю.* Дистанционно управляемый катер с гидролокатором бокового обзора для картографирования дна малых водоемов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2016. № 10 (183). <https://cyberleninka.ru/article/n/distsionno-upravlyaemyu-kater-s-gidrolokatorom-bokovogo-obzora-dlya-kartografirovaniya-dna-malyh-vodoev> (дата обращения: 28.04.2023).
7. *Мотыжев С. В., Лунев Е. Г., Толстошеев А. П.* Развитие дрейфтерных технологий и их внедрение в практику океанографических наблюдений в Черном море и Мировом океане. Севастополь: Морской гидрофизический институт НАН Украины, 2011.
8. *Неделько А. Ю.* Контроллеры цифровых датчиков температуры // Автоматизация в промышленности. 2012. № 1. С. 54–55. EDN OWHYDT.
9. *Озеров М. В.* Дрейфующая система сбора океанографических данных переменного глубинного профиля // Труды Крыловского государственного научного центра. 2018. Спец. вып. 1. С. 235–241. <https://doi.org/10.24937/2542-2324-2018-1-S-I-235-241>.
10. *Островский А. Г., Зацепин А. Г., Соловьев А. Г., Цибульский А. Л., Швоев Д. А.* Автономный мобильный аппаратно-программный комплекс вертикального зондирования морской среды на заякоренной подводной станции. М.: Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, 2012.
11. Патент на полезную модель № 183764 U1 Российская Федерация, МПК G01R 19/00, G01L 9/00. Универсальный автономный беспроводной измеритель-коммутатор контроллеров и датчиков с цифровыми и аналоговыми выходами: № 2017131133: заявл. 04.09.2017: опубл. 02.10.2018 / А. В. Голдобин, М. С. Горбунов, В. А. Машицкий; заявитель: ООО «РосСпецМонтажАвтоматика». EDN WАНNRA.
12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022617807 Российская Федерация. Программное обеспечение реального времени распределенного отказоустойчивого бортового комплекса датчиков, контроллеров и устройств связи беспилотного летательного аппарата на цифровой шине: № 2022616391: заявл. 13.04.2022: опубл. 26.04.2022 / Д. А. Пономарев, К. А. Бурдинов, А. А. Биляев [и др.]; заявитель: ООО «ЗИЛАНТ РОБОТИКС». EDN PSYINS.
13. AtmelStudio 7 // Microchip [сайт]. 2022. <https://microchipdeveloper.com/atstudio:studio7intro> (дата обращения 27.03.2023).

14. *Bagaev A. V., Nikishin V. V., Rauen T. V., Verzhetskaya L. V., Scherbachenko S. V.* Local changes of physical and biological parameters of the Sevastopol bay surface waters under the influence of rain drainage // *Physical Oceanography*. 2022. Vol. 29. No. 2. P. 152–171. <https://doi.org/10.22449/1573-160X-2022-2-152-171>.
15. *Bayankina T. M., Godin E. A., Zhuk E. V., Ingerov A. V., Isaeva E. A., Vetsalo M. P.* Information Resources of Marine Hydrophysical Institute, RAS: Current State and Development Prospects. In: *Chaplina T. (eds) Processes in GeoMedia*. 2021. Volume II. P. 187–197. Springer Geology. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-53521-6\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-030-53521-6_22).
16. *Chen Yanhu, Yang C., Li D., Jin B., Chen Ying* Design and Application of a Junction Box for Cabled Ocean Observatories // *Marine Technology Society Journal*. 2012. No. 46. P. 50–63. <https://doi.org/10.4031/MTSJ.46.3.4>.
17. ЕСНОМАР CHIRP 42DV/CV // НАВИКОМ [сайт]. 2022. <https://www.garmin.ru/eholoty/catalog/echomap/echomap-chirp-42dv/> (дата обращения 27.03.2023)
18. FGPMMOPA6C GPS Standalone Module Data Sheet // GlobalTop Technology Inc. [сайт]. 2011. <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/GlobalTop-FGPMMOPA6C-Datasheet-V0A-Preliminary.pdf> (дата обращения 27.03.2023).
19. *Nikishin V., Durmanov M., Skorik I.* Autonomous Unmanned Surface Vehicle for Water Surface Monitoring // *TransNav. International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2020. Vol. 14. No. 4. P. 853–858. <https://doi.org/10.12716/1001.14.04.09>.
20. *Orekhova N. A., Varenik A. V.* Current hydrochemical regime of the Sevastopol Bay // *Physical Oceanography*. 2018. Vol. 25. No. 2. P. 124–135. <https://doi.org/10.22449/1573-160X-2018-2-124-135>.
21. *Ribas-Ribas M., Zappa C. J., Wurl O.* Technologies for observing the near sea surface. In: *E. S. Kappel, S. K. Juniper, S. Seeyave, E. Smith, and M. Visbeck (eds). Frontiers in Ocean Observing: Documenting Ecosystems, Understanding Environmental Changes, Forecasting Hazards // A Supplement to Oceanography*. 2021. Vol. 34. Iss. 4. P. 88–89. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2021.supplement.02-32>.
22. *Zhang Feng, Zhang Zhifeng, Sa Xiao, Kai Xie, Jiawei Ni, Haolun Gu, Yong Wu, Yang Ning, and Qingchao Xia.* “Design and Implementation for the High Voltage DC-DC Converter of the Subsea Observation Network” // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2021. Vol. 9. No. 7. P. 712. <https://doi.org/10.3390/jmse9070712>.

Статья поступила в редакцию 27.03.2023, одобрена к печати 24.05.2023.

**Для цитирования:** *Никишин В. В., Багаев А. В.* Интеграция цифровых измерительных датчиков в беспилотные надводные аппараты для мониторинговых работ в прибрежных районах // *Океанологические исследования*. 2023. № 51 (2). С. 93–108. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51\(2\).5](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(2).5).

## INTEGRATION OF DIGITAL MEASURING SENSORS INTO UNMANNED SURFACE VEHICLES FOR MONITORING WORK IN COASTAL AREAS

V. V. Nikishin<sup>1</sup>, A. V. Bagaev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Sevastopol State University,  
33, Universitetskaya str., Sevastopol, 299053, Russia,  
e-mail: nikishin\_v@mail.ru;*

<sup>2</sup>*Marine Hydrophysical Institute of the Russian Academy of Sciences,  
2, Kapitanskaya str., Sevastopol, 299011, Russia,  
e-mail: a.bagaev1984@mhi-ras.ru*

Modern oceanological research in the coastal zone is not only a science-intensive task, but also a popular service with high practical significance. Modern unmanned surface vehicles (UAVs) allow one to move echo sounders, conductometers, samplers and other measuring instruments on the surface of the sea and carry out measurements without direct human involvement. Their use accelerates the organization and course of expeditions, expands the research area: due to their small size they can work in shallow areas with complex orography, where it is dangerous to use vessels with a crew. However, in the domestic oceanological practice there is no universal and cost-effective import substitution platform for solving such a wide range of tasks.

This paper presents the results of the development of a universal parameter registration module, a mounting module for instruments and an automatic navigation unit for use in surface unmanned vehicles for hydrographic and oceanological research. The diagrams of the printed circuit board, algorithms of operation and examples of use in the coastal zone of the Black Sea and on some hydrological objects in expeditions of various duration are given. The developed module has a high potential for modernization, low cost and is easily replicated for use both as part of various unmanned complexes and in scientific and methodological tasks.

**Keywords:** universal registration module, oceanological observations, unmanned surface vehicle

**Acknowledgements:** The authors thank Udovik V. F. and Shcherbachenko S. V. for valuable recommendations and practical assistance in testing equipment, as well as Orekhova N. A., Shutov S. A. and Shapovalov R. O. for assistance in validating measurement data.

The work of V. V. Nikishin was carried out with the support of an internal grant of the Sevastopol State University in the framework of the scientific project No. 516/06-31.

The work of Bagaev A. V. was carried out within the framework of the state task on the topic of the MHI “Coastal Research” FNNN-2021-0005.

## References

1. Amosova, E. V., D. Yu. Kropachev, and D. S. Pazderin, 2011: *Sistema monitoringa temperatur protyazhennykh ob'yektov v vechnomerzlykh gruntakh (Temperature monitoring system for extended objects in permafrost soils)*. *Ekspozitsiya. Neft'. Gaz*, **6**, <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-monitoringa-temperatur-protyazhennyh-obektov-v-vechnomerzlyh-gruntah> (data obrashcheniya: 28.04.2023).
2. *Atmel Studio 7*, 2022: Microchip. <https://microchipdeveloper.com/atstudio:studio7intro> (last accessed in 27.03.2023).
3. Bagaev, A. V., V. V. Nikishin, T. V. Rauen, L. V. Verzhevskaya, and S. V. Scherbachenko, 2022: Local changes of physical and biological parameters of the Sevastopol bay surface waters under the influence of rain drainage. *Physical Oceanography*, **29** (2), 152–171, <https://doi.org/10.22449/1573-160X-2022-2-152-171>.
4. Bayankina, T. M., E. A. Godin, E. V. Zhuk, A. V. Ingerov, E. A. Isaeva, and M. P. Vetsalo, 2021: Information Resources of Marine Hydrophysical Institute, RAS: Current State and Development Prospects. In: Chaplina, T. (eds) *Processes in GeoMedia*. II, 187–197. Springer Geology. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-53521-6\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-030-53521-6_22).
5. *Certificate of state registration of the computer program* No. 2022617807 Russian Federation. Real-time software for a distributed fault-tolerant on-board complex of sensors, controllers and communication devices for an unmanned aerial vehicle on a digital bus: No. 2022616391: Appl. 04/13/2022: publ. April 26, 2022 / D. A. Ponomarev, K. A. Burdinov, A. A. Bilyaev [and others]; applicant ZILANT ROBOTICS LLC. EDN PSYINS.
6. Chen, Yanhu, C. Yang, D. Li, B. Jin, Ying Chen, 2012: Design and Application of a Junction Box for Cabled Ocean Observatories. *Marine Technology Society Journal*, **46**, 50–63, <https://doi.org/10.4031/MTSJ.46.3.4>.
7. *Datchik TMA-21 (TMA-21 Sensor)*, 2023: Planeta info, <https://datchiki.com/product/datchik-provodimosti-tma-21> (last accessed in 27.03.2023).
8. *Datchik TMA-51 (TMA-51 Sensor)*, 2023: Planeta info, <https://datchiki.com/product/datchik-rastvorennogo-kisloroda-v-vode-tma-51> (last accessed in 27.03.2023).
9. *ECHOMAP CHIRP 42DV/CV*, 2023: AO “NAVICOM”, <https://www.garmin.ru/eholoty/catalog/echomap/echomap-chirp-42dv/> (last accessed in 27.03.2023).
10. *FGPMMOPA6C GPS Standalone Module Data Sheet*, 2023: GlobalTop Technology Inc., <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/GlobalTop-FGPMMOPA6C-Datasheet-V0A-Preliminary.pdf> (last accessed in 27.03.2023).
11. Kaevitser, V. I., A. P. Krivtsov, V. M. Razmanov, I. V. Smolyaninov, A. V. Elbakidze, and E. Yu. Denisov, 2016: Distantionno upravlyayemyy kater s gidrolokatorom bokovogo obzora dlya kartografirovaniya dna malykh vodoyemov (Remotely controlled boat with a side-scan sonar for mapping the bottom of small reservoirs). *Izvestiya SFU. Technical science*. **10** (183). <https://cyberleninka.ru/article/n/distantionno-upravlyaemyy-kater-s-gidrolokatorom-bokovogo-obzora-dlya-kartografirovaniya-dna-malyh-vodoemov> (date of access: 04/28/2023).
12. Motyzhev, S., E. Lunev, and A. Tolstosheev, 2011: *Razvitiye drifternykh tekhnologiy i ikh vnedreniye v praktiku okeanograficheskikh nablyudeniy v Chernom more i Mirovom okeane (Drifter technology development and implementation for practical oceanographic observation in the Black Sea and world ocean)*. Sevastopol: Marine Hydrophysical Institute, National Academy of Sciences of Ukraine, [in Russian].
13. Nedelko, A. Yu., 2012: Kontrollery tsifrovyykh datchikov temperatury (Controllers of digital temperature sensors). *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*, **1**, 54–55, EDN OWHYDT, [in Russian].

14. Nikishin, V., M. Durmanov, and I. Skorik, 2020: Autonomous Unmanned Surface Vehicle for Water Surface Monitoring. *TransNav. International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, **14** (4), 853–858, <https://doi.org/10.12716/1001.14.04.09>.
15. Orekhova, N. A. and A. V. Varenik, 2018: Current hydrochemical regime of the Sevastopol Bay. *Physical Oceanography*, **25** (2), 124–135, <https://doi.org/10.22449/1573-160X-2018-2-124-135>, [in Russian].
16. Ostrovskiy, A., A. Zatsepin, A. Soloviev, A. Tsubulskiy, and D. Shvoev, 2012: *Avtonomnyy mobil'nyy apparatno-programmnyy kompleks vertikal'nogo zondirovaniya morskoy sredy na zayakorennoy podvodnoy stantsii (Autonomous mobile software & hardware system for vertical probing of marine environment on a moored underwater station)*. Moscow, Shirshov Institute of Oceanology of RAS, [in Russian].
17. *Patent na poleznuyu model' No. 183764 UI Rossiyskaya Federatsiya, MPK G01R 19/00, G01L 9/00*. Universal'nyy avtonomnyy besprovodnoy izmeritel'-kommutator kontrollerov i datchikov s tsifrovymi i analogovymi vykhodami: No. 2017131133 (*Utility model patent No. 183764 UI Russian Federation, IPC G01R 19/00, G01L 9/00*). Universal standalone wireless meter-switch of controllers and sensors with digital and analog outputs: No. 2017131133): App. 09/04/2017: publ. 02.10.2018 / A. V. Goldobin, M. S. Gorbunov, V. A. Mashitskiy; zayavitel' Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu "RosSpetsMontazhAvtomatika". EDN WAHNRA.
18. Ozerov, M. V., 2018: Dreyfuyushchaya sistema sbora okeanograficheskikh dannykh peregibnogo glubinnogo profilya (Drifting system for collecting oceanographic data of a variable depth profile). *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra*, Special issue **1**, 235–241, <https://doi.org/10.24937/2542-2324-2018-1-S-I-235-241>, [in Russian].
19. Ribas-Ribas, M., C. J. Zappa, and O. Wurl, 2021: Technologies for observing the near sea surface. In: *Frontiers in Ocean Observing: Documenting Ecosystems, Understanding Environmental Changes, Forecasting Hazards*. E. S. Kappel, S. K. Juniper, S. Seeyave, E. Smith, and M. Visbeck (eds). *A Supplement to Oceanography.*, **34** (4), 88–89, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2021.supplement.02-32>.
20. *V Krymu nachalas' perebrozka vody iz Kadykovskogo kar'era v Sevastopol (In Crimea, the transfer of water from the Kadykovsky quarry to Sevastopol has begun)*, 2023: RIA Novosti, <https://ria.ru/20201219/sevastopol-1590021413.html> (last accessed in 27.03.2023).
21. *V Sevastopol stali podavat' vodu iz ozera u gory Gasforta (Water began to be supplied to Sevastopol from the lake near Gasforta Mountain)*, 2023: Rossiiskaya gazeta, <https://rg.ru/2020/12/15/reg-ufo/v-sevastopol-stali-podavat-vodu-iz-ozera-u-gory-gasforta.html> (last accessed in 27.03.2023).
22. Zhang, Feng, Zhifeng Zhang, Sa Xiao, Kai Xie, Jiawei Ni, Haolun Gu, Yong Wu, Yang Ning, and Qingchao Xia. "Design and Implementation for the High Voltage DC-DC Converter of the Subsea Observation Network". *Journal of Marine Science and Engineering*, 2021, **9** (7), 712, <https://doi.org/10.3390/jmse9070712>.

Submitted 27.03.2023, accepted 24.05.2023.

**For citation:** Nikishin, V. V. and A. V. Bagaev, 2023: Integration of digital measuring sensors into unmanned surface vehicles for monitoring work in coastal areas. *Journal of Oceanological Research*, **51** (2), 93–108, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51\(2\).5](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(2).5).