

СТАНЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ МОРЯ НА ОСНОВЕ ДОННОЙ ЛЕБЕДКИ

**В.И. Баранов, А.Г. Зацепин, С.Б. Куклев,
В.В. Очередник, В.В. Машура**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,
Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: baranovvlad@mail.ru, zatsepin@ocean.ru,
kuklev@ocean.ru, v.ocherednik@ocean.ru, jedivalery@rambler.ru*

Статья поступила в редакцию 21.10.2018, одобрена к печати 30.11.2018

Разработана конструкция и изготовлен макет стационарной станции для автоматического вертикального зондирования прибрежной зоны морей и других водоемов на основе донной лебедки. Данный макет обеспечивает периодическое измерение профилей температуры с помощью датчиков температуры и давления, размещенных в общем обтекаемом корпусе (зонде) от придонного слоя до поверхности воды в программируемом режиме. Зонд подсоединен тонким прочным кабелем к донному блоку станции, включающим в себя лебедку и электронный блок. По этому кабелю осуществляется электропитание датчиков зонда, передача и запись данных в твердотельную память станции. Изначально кабель намотан на барабан лебедки, а зонд находится вблизи донного блока станции. Зонд обладает положительной плавучестью. При включении лебедки на размотку кабеля, зонд начинает подниматься вверх. После его выхода на поверхность воды и кратковременного пребывания там, лебедка включает обратный ход, трос наматывается обратно на барабан, а зонд затягивается вниз, обратно к донному блоку станции. Измерения параметров проводятся при движении зонда вверх и вниз с тонкоструктурным вертикальным разрешением. При штатной эксплуатации станции на акватории Полигона «Геленджик» (ИО РАН) на Черном море, данные измерений будут не только записываться в память станции, но и оперативно передаваться в береговой коммуникационный центр с помощью проложенного по дну моря кабеля. По этому кабелю будет осуществляться также электропитание станции. Проведены лабораторные и предварительные натурные испытания основных узлов станции. В разработанном варианте станция предназначена для долговременного мониторинга гидрологической структуры морской прибрежной зоны в оперативном режиме. Возможно ее дооснащение биооптическими и гидрохимическими датчиками для экологического мониторинга водоемов, глубина которых не превышает 50–100 м.

Ключевые слова: Прибрежная зона моря, гидрологическая структура, станция автоматического вертикального зондирования, долговременные измерения, оперативная передача данных

Одной из важных потребностей современного этапа оперативной океанографии (Коротаев и др., 2013), комплексного мониторинга океанов и морей (Zolich et al., 2018), а также крупных озер и водохранилищ, является внедрение в практику наблюдений стационарных и мобильных станций автоматического зондирования водной толщи. Эти заякоренные или дрейфующие станции измеряют вертикальные профили ключевых параметров среды и осуществляют оперативную переда-

чу данных потребителю (Зацепин, Островский, 2018). Такие станции позволяют получать регулярные ряды данных измерений на продолжительном временном масштабе (от нескольких недель до нескольких месяцев или лет), которые имеют большую ценность для изучения не только масштабов изменчивости параметров среды, но и для выявления механизмов, формирующих эту изменчивость (Зацепин и др., 2018). Кроме того, передача данных потребителю в реальном времени позволяет использовать получаемую информацию, например, для быстрого обнаружения экстремальных явлений и проведения их оперативного исследования, а также для предупреждения или минимизации ущерба от экологических катастроф.

Один из опытных образцов заякоренной автономной (в том числе, и по электропитанию), мобильной станции зондирования водной толщи с оперативной передачей данных по GSM-каналу связи разработан коллективом сотрудников ИО РАН и испытан на Полигоне «Геленджик» в 2017–2018 гг. (Островский, 2018). В данной статье речь идет о другом типе станции автоматического зондирования, тоже с оперативной передачей данных, но по подводному кабелю в береговой центр, по которому также осуществляется электропитание станции. Этот тип станции, местоположение которой предопределено расположением подводного кабеля, будем называть «стационарным».

В 2018 г. был изготовлен макет стационарной станции, предназначенной в дальнейшем для долговременного и, одновременно с этим, оперативного мониторинга вертикальных распределений гидрофизических и биооптических параметров вод черноморского шельфа на Полигоне «Геленджик» (ИО РАН). Как уже отмечалось выше, стационарная станция зондирования вод (ССЗВ) должна обеспечивать проведение регулярных зондирований водной толщи до поверхности моря и передачу данных измерений в реальном времени в береговой центр. Ее преимуществом по сравнению с вышеупомянутым типом мобильной автономной станции зондирования (Островский и др., 2018) является отсутствие жесткого ограничения по энергопотреблению и необходимости прерывать работу станции для замены батарей или перезарядки аккумуляторов. Недостаток заключается привязке точки ее постановки к расположению подводного кабеля, автономная мобильная станция не имеет такого ограничения.

Данную станцию планируется разместить на дне Черного моря на глубине около 30 м на траверзе Голубой бухты на расстоянии полутора километров от берега, где расположен многоканальный разветвитель (МР), подсоединенный к подводному оптоволоконному кабелю, связывающему МР с береговым коммуникационным центром. (Баранов и др., 2018). Этот центр размещен в контейнере на конце пирса ЮО ИОРАН в Голубой бухте. Он обеспечивает электропитание МР и запись поступающих по кабелю данных измерений с расположенных в море приборов на компьютер с большим объемом твердотельной памяти. В 2019 г. макет ССЗВ должен быть подключен к одному из каналов МР и данные его измерений, как и других, подключенных к МР приборов (заякоренные термокосы, донная станция ADCP), будут передаваться по линии оптоволоконной связи в реальном времени

в береговой центр. В настоящее время макет станции прошел стадию лабораторных испытаний и предварительные натурные испытания.

Общий вид макета ССЗВ в лабораторных условиях изображен на рис. 1. На прямоугольной прочной станине горизонтально крепится неподвижная катушка – барабан лебедки диаметром 450 мм, на котором в гладкой прорези шириной 5 мм намотан в один слой коаксиальный кабель диаметром 4 мм, усиленный изнутри кевларовой нитью. Прочность кабеля на разрыв составляет 200 кгс. Под барабаном, также горизонтально, на одной и той же с ним оси расположена широкая латунная шестерня диаметром 300 мм. Она не связана с барабаном механически и вращается вокруг этой оси. Ее приводит в движение электродвигатель (привод) посредством червячной передачи. Применение червячной передачи дает возможность не использовать специальных механизмов для торможения шестерни лебедки: для этого достаточно остановить электродвигатель. На шестерне установлено «водило», которое вместе с ней коаксиально вращается вокруг катушки и разматывает или наматывает на нее кабель. Отметим, что он имеет в воде плавучесть близкую к нейтральной.

При работе лебедки ее барабан не вращается, внутренний конец кабеля надежно закреплен на катушке без токосъемника и весьма просто, но герметично подсоединен к электронному блоку управления и записи данных. Передача момента вращения двигателя на червячный механизм осуществляется через магнитную муфту, что также избавляет от решения проблемы герметизации выходного вала привода. Эти инновации существенно упрощают условия герметизации основных узлов подводной лебедки.

Намотка кабеля в один слой исключает его «закусывание» на барабане лебедки, однако, ограничивает его общую длину. Именно из-за этого, для намотки 50 м кабеля (длина, необходимая для обеспечения работы донной лебедки при глубине постановки около 30 м) приходится использовать барабан такого большого диаметра.

При лабораторных испытаниях лебедки свободный конец намотанного на барабан кабеля был перекинут через подвешенный к потолку комнаты вращающийся блок и подвязан к пробному грузу (рис. 1). При включении лебедки на намотку кабеля осуществляется подъем груза, масса которого изменялась от опыта к опыту. В результате эксперимента удалось установить, что лебедка способна поднимать груз весом до 10 кг.

Подробное изображение конструкции станции в виде, готовом для натурных испытаний, с идентификацией ее основных узлов приведено на рис. 2.

При проведении натурных измерений «внешний» конец кабеля подсоединяется к блоку измерительных датчиков, размещенных в макете зонда с обтекаемой формой и положительной плавучестью (рис. 3). Минимальный состав датчиков в зонде включает в себя измерители давления и температуры воды. Первоначально кабель полностью намотан на барабан лебедки, зонд находится вблизи донного блока станции, привод выключен. Питание на зонд в это время не подается, измерение параметров среды не производится. В заданное время на зонд подается

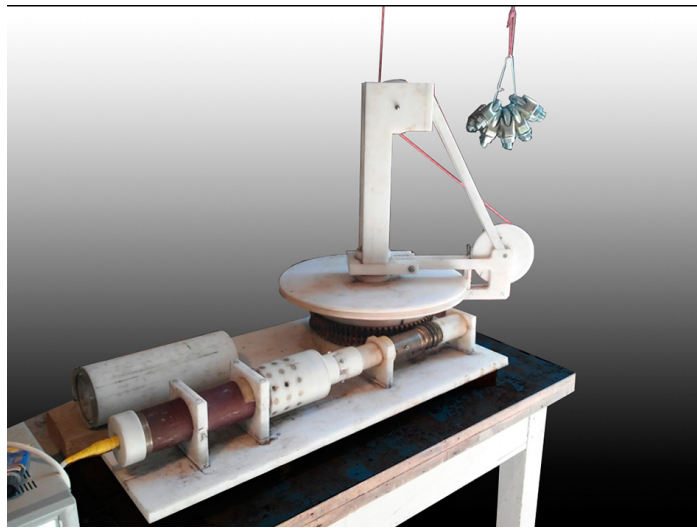


Рис. 1. Общий вид макета ССЗВ в лабораторных условиях.

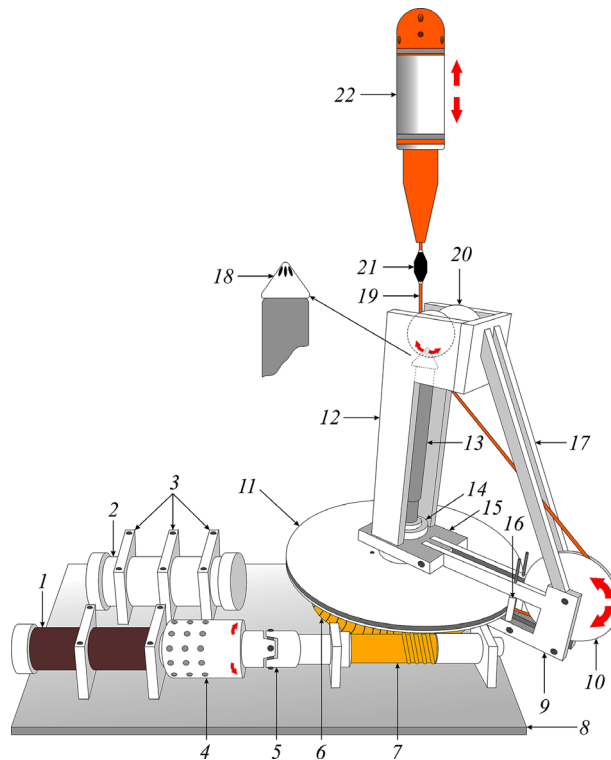


Рис. 2. Подробное изображение САВЗ-С и ее узлов: 1 – электродвигатель, 2 – электронный блок управления и сбора информации, 3 – крепления блоков к станине, 4 – магнитная муфта, 5 – кардан, центрирующий привод, 6 – шестерня, 7 – червяк, 8 – станина, 9 – «водило», 10 – центрирующий кабель выпускной шкив, 11 – неподвижный плоский барабан (катушка) с узкой прорезью для намотки кабеля, 12 – стойка водила, 13 – стойка крепления блока герконов, 14 – кольцо крепления основания водила, 15 – основание водила, 16 – вертикальные направляющие валики – укладчики кабеля, 17 – упорные планки, 18 – блок герконов, 19 – кевларовый коаксиальный кабель с нейтральной плавучестью, 20 – выпускающий центрирующий валик, 21 – магнитный ключ, 22 – плавучий зонд на внешнем конце кабеля.



Рис. 3. Макет зонда с положительной (2 кгс) плавучестью.

электропитание, датчики переходят в режим измерения, после чего включает-ся привод лебедки. Благодаря положительной плавучести, зонд квазиравномерно поднимается к поверхности воды, сматывая кабель с барабана лебедки. Скорости подъема зонда (зондирования) и вращения «водила», управляющего сматыванием кабеля с катушки, являются согласованными для того, чтобы обеспечить плавность движения зонда и предотвратить запутывание и зацепление кабеля за конструктив лебедки. Во время зондирования осуществляется измерение параметров водной среды и передача данных на электронный блок лебедки. В этом блоке проводится регистрация горизонта положения зонда и его изменения во времени. При надежном достижении зондом поверхности воды (определяется по показаниям датчика давления и по отсутствию тренда в изменении горизонта), подается команда остановки лебедки на заранее запрограммированное непродолжительное время. Затем лебедка переключается на намотку кабеля на барабан, а зонд снова затягивается вниз к барабану донного блока лебедки в режиме проведения измерений.

Чуть ниже зонда на кабеле расположен магнитный ключ (рис. 2). Когда зонд опускается до уровня барабана донной лебедки, магнитный ключ подходит к блоку герконов, подавая сигнал электронному блоку на остановку лебедки и измерений. Станция, получив этот сигнал, автоматически останавливает наматывание кабеля, датчики и привод обесточиваются, и режим измерения прекращается до начала следующего цикла зондирования. Впрочем можно не прекращать измерение параметров и в режиме нахождения зонда в придонном слое, если есть необходимость в получении таких данных.

При проведении предварительных натурных испытаний макет станции был установлен на дно моря у конца причала ЮО ИО РАН на глубине 6.5 м. Станция управлялась по длинной линии через четырехжильный кабель, по нему также подавалось электропитание. В этих испытаниях было установлено, что при плавучести зонда, составляющей 2 кгс, потребление энергии для намотки кабеля и затягивания зонда вниз не превышает 50 Вт. При этом скорость перемещения зонда составляла около 10 см/с.

Как уже указывалось, зонд был оснащен датчиками температуры и давления, характеризующимися следующими параметрами (см. Таблицу 1).

Таблица 1. Основные характеристики датчиков температуры и давления

Диапазон измеряемых значений температуры	$-2\text{ }^{\circ}\text{C} \div +35\text{ }^{\circ}\text{C}$
Точность канала температуры	$0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$
Разрешение канала температуры	$0.001\text{ }^{\circ}\text{C}$
Точность датчика давления	0.1%
Разрешение по глубине	0.01 м
Постоянная времени датчика температуры	0.5 с
Постоянная времени датчика давления	0.05 с

При частоте опроса датчиков 5 Гц и такой небольшой скорости перемещения зонда измерение профилей температуры проводилось с высоким вертикальным разрешением.

Эксперимент проводился при благоприятных погодных условиях. На море стоял штиль. Было выполнено несколько пробных циклов зондирования. Результаты одного из них представлены на рис. 4. Данные были усреднены на интервале времени в 1 секунду. Из рисунка видно, что макет зонда обеспечивает достаточно надежное измерение профиля температуры воды с разрешением порядка нескольких тысячных градуса Цельсия по температуре и 0.1–0.2 м – по вертикали. Инверсия температуры на профиле на горизонте около двух метров, возможно, обусловлена влиянием пресноводного стока р. Ашамба, а увеличение температуры с глубиной ниже этого горизонта должно быть скомпенсировано в плотности ростом солености. Из-за отсутствия измеренных профилей солености эти соображения невозможно ни подтвердить, ни опровергнуть.

В ходе проведения предварительных натурных испытаний выявились некоторые конструктивные и программные недочеты работы станции. После их устра-

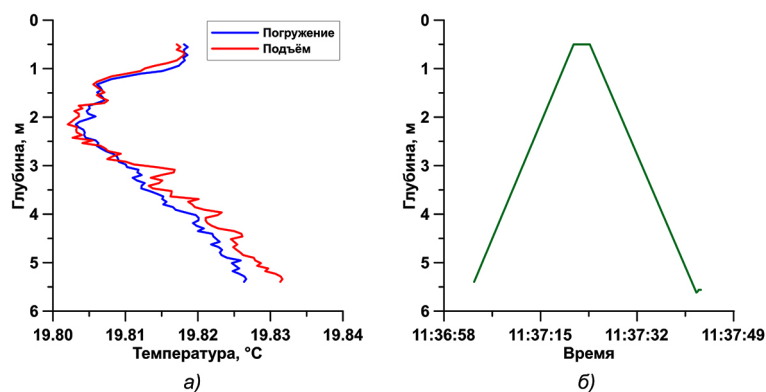


Рис. 4. Результаты предварительных натурных испытаний макета ССВЗ: измеренные профили температуры на одном из циклов зондирования – (а); изменение глубины положения зонда по показаниям датчика давления в зависимости от времени при выполнении цикла зондирования – (б).

нения в 2019 г. будут проведены долговременные натурные испытания САВЗ-С, а затем она будет подсоединена к МР и оптоволоконному кабелю и установлена на своем штатном месте для проведения долговременных измерений.

В результате подключения станции к береговому коммуникационному центру посредством донного кабеля появится возможность дистанционного управления режимом ее работы – скоростью вертикального перемещения зонда, частотами зондирования и опроса датчиков. При этом в дальнейшем планируется разместить в плавучем корпусе зонда CTD – датчики, а также флуориметр с турбидиметром для проведения биооптических исследований.

Следует отметить, что в 2006–2007 гг. на базе ЮО ИО РАН в акватории Черного моря, прилегающей к Голубой бухте, был развернут и прошел натурные испытания макет стационарного берегового комплекса, предназначенный для непрерывного измерения гидрофизических параметров морской среды и передачи данных измерений в реальном времени по сети Интернет потребителям (Свиридов и др., 2010). К сожалению, в те годы данная работа не получила дальнейшего развития. Создаваемая ныне система автоматических измерений вертикальных распределений параметров морской среды на основе донной лебедки и оперативной передачи данных по оптоволоконному кабелю в береговой центр является своеобразным продолжением цитированной выше работы.

Работа выполнена в рамках Программы РАН 1.50 (тема госбюджета 0149-2018-0022).

Литература

- Баранов В.И., Зацепин А.Г., Куклев С.Б., Очередник В.В., Зинченко А.Б. Многофункциональная система он-лайн мониторинга подводной обстановки // Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции «МСОИ-2017»: Современные методы и средства океанологических исследований: Сб. ст. В 2-х т. / [сост. Н.А. Римский-Корсаков; А.В. Зарецкий]. Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Т. 2. М.: АПР, 2017. С. 287–289.
- Зацепин А.Г., Куклев С.Б., Мысленков С.А., Очередник В.В., Подымов О.И., Сильвестрова К.П. Изучение мезо- и субмезомасштабных гидрофизических процессов на шельфе и континентальном склоне дистанционными и контактными методами // Глава в монографии «Некоторые результаты комплексной прибрежной экспедиции «Черное море–2017» на МНИС «Ашамба» под редакцией А.Г. Зацепина и С.Б. Куклева. М.: Научный мир, 2018. С. 16–43. ISBN 978-5-91522-472-7.
- Зацепин А.Г., Островский А.Г. Заякоренные профилирующие океанологические станции и их роль в задачах оперативной океанографии // Морские информационно-управляющие системы. М.: АО «Концерн Маринсис-Агат», 2018. С. 84–89. ISSN 2308–2119.
- Марчук Г.И., Патон Б.Е., Кортаев Г.К., Залесный В.Б. Информационно-вычислительные технологии – новый этап развития оперативной океанографии // ФАО. 2013. Т. 49. № 6. С. 629–642.
- Островский А.Г. Испытание новых автономных зондирующих аппаратов // Глава в монографии «Некоторые результаты комплексной прибрежной экспедиции «Черное

В.И. Баранов и др.

море–2017» на МНИС «Ашамба» под редакцией А.Г. Зацепина и С.Б. Куклева. М.: Научный мир, 2018. С. 155–163. ISBN 978-5-91522-472-7.

Свиридов С.А., Пальшин Н.А., Соловьев В.А., Зарецкий А.В., Метальников А.А. Стационарный комплекс для долговременных измерений океанологических параметров в реальном масштабе времени // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 1. С. 151–160. DOI: 10.1134/S0001437010010169.

Zolich A., Palma D., Kansanen K. Survey on Communication and Networks for Autonomous Marine Systems // *J. Intell. Robot Syst.* 2018. <https://doi.org/10.1007/s10846-018-0833-5>.

STATION OF AUTOMATIC VERTICAL PROFILING OF SEA COASTAL ZONE BASED ON BOTTOM WINCH

**V.I. Baranov, A.G. Zatsepin, S.B. Kuklev,
V.V. Ocherednik, V.V. Mashura**

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: baranovvlad@mail.ru,
zatsepin@ocean.ru, kuklev@ocean.ru, v.ocherednik@ocean.ru, jedivalery@rambler.ru
Submitted 21.10.2018, accepted 30.11.2018*

A design was developed and a model of a stationary station was made for automatic vertical profiling of the coastal zone of the seas and other water bodies on the basis of a bottom winch. This model provides a periodic measurement of temperature profiles from the bottom layer to the water surface in a programmable mode using temperature and pressure sensors placed in a single streamlined body (probe). The probe is connected by a thin resistant cable to the bottom block of the station, including a winch and an electronic unit. This cable provides power to the probe sensors, and transmits data to the station's solid-state memory. Initially, the cable is wound on the winch drum, and the probe is located near the bottom block of the station. The probe has positive buoyancy. When turning on the winch to unwind the cable, the probe starts to go up. After it reaches the water surface and stays there for a short time, the winch turns back, the cable is wound onto the drum, and the probe is pulled down until it reach the bottom block. Measurements of parameters are carried out when the probe moves up and down with fine-scale vertical resolution. During regular use of the station in the water area of the IO RAS Gelendzhik Research Site on the Black Sea, the measurement data will not only be recorded in the station's memory, but also promptly transmitted to the coastal center via a cable laid across the sea floor. This cable will also provide power to the station. Preliminary laboratory and field tests of the main components of the station are conducted. In the developed version, the station is designed for long-term monitoring of the hydrological structure of the marine coastal zone in operative mode. It may be retrofitted with bio-optic and hydrochemical sensors for environmental monitoring of reservoirs, the depth of which does not exceed 50–100 m.

Keywords: Sea coastal zone, hydrological structure, automatic vertical profiling station, long-term measurements, operational data transmission

References

Baranov V.I., Zatsepin A.G., Kuklev S.B., Ocherednik V.V., and Zinchenko A.V. Mnogofunktional'naya sistema on-lain monitoringa podvodnoy obstanovki. Materialy

konferentsii MSOI, (Proceedings of the XV All-Russian Scientific-Technical Conference «MSOI-2017»: Modern methods and means of oceanographic research: in 2 volumes, comp. N.A. Rimsky-Korsakov and A.V. Zaretsky), Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moskva: APR 2017, Vol. 2, pp. 287–289.

Zatsepin A.G., Kuklev S.B., Myslenkov S.A., Ocherednik V.V., Podimov O.I., and Silvestrova K.P. Izucheniye mezo- i submezomasshtabnykh gidrofizicheskikh protsessov na shel'fe i kontinental'nom sklone distantsionnymi i kontaktnymi metodami. Glava v monografii «Nekotoryye rezul'taty kompleksnoy pribrezhnoy ekspeditsii «Chernoye more – 2017» na MNIS «Ashamba» pod red. A.G. Zatsepina i S.B. Kukleva, Moskva: Nauchnyy mir, 2018, pp. 16–43.

Zatsepin A.G. and Ostrovskii A.G. Zayakorennyye profiliruyushchiye okeanologicheskiye stantsii i ikh rol' v zadachakh operativnoy okeanografii. Morskiye informatsionno-upravlyayushchiye sistemy, 2018, pp. 84–89.

Marchuk G.I., Paton B.E., Korotaev G.K., and Zalesny V.B. Data-computing technologies: A new stage in the development of operational oceanography *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 2013, Vol. 49, No. 6, pp. 579–591.

Ostrovskii A.G. Ispytaniye novykh avtonomnykh zondiruyushchikh apparatov. Glava v monografii «Nekotoryye rezul'taty kompleksnoy pribrezhnoy ekspeditsii «Chernoye more–2017» na MNIS «Ashamba» pod redaktsiyey A.G. Zatsepina i S.B. Kukleva. Moskva: Nauchnyy mir, 2018, pp. 155–163.

Sviridov S.A., Palshin N.A., Solovyev V.A., Zaretskiy A.V., and Metal'nikov A.A. Coastal Observatory for LongTerm Measurement and Real Time Data Processing of Oceanological Parameters. *Oceanology*, 2010, Vol. 50, No. 1, pp. 139–147, doi: 10.1134/S0001437010010169.

Zolich A., Palma, D., and Kansanen K. Survey on Communication and Networks for Autonomous Marine Systems. *J. Intell. Robot Syst*, 2018, <https://doi.org/10.1007/s10846-018-0833-5>.