

МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ
ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.46.077

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ
СТАЦИОНАРНОЙ СТАНЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
ВОДНОЙ СРЕДЫ НА ПОЛИГОНЕ “ГЕЛЕНДЖИК” – ПЕРСПЕКТИВНОГО
СРЕДСТВА ПРИБРЕЖНОЙ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ

© 2020 г. В. И. Баранов^{1, *}, В. В. Очередник¹, А. Г. Зацепин^{1, 2, **},
С. Б. Куклев¹, В. В. Машура¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

²Московский физико-технический институт (государственный университет),
Московская область, Долгопрудный, Россия

*e-mail: baranovvlad@mail.ru

**e-mail: zatsepin@ocean.ru

Поступила в редакцию 01.10.2019 г.

После доработки 20.11.2019 г.

Принята к публикации 16.12.2019 г.

В состав многофункционального измерительного комплекса на Полигоне “Геленджик” (ИО РАН) в 2019 г. включен новый прибор, позволяющий в автоматическом режиме производить измерения гидрофизических параметров водной среды от придонного слоя до поверхности водоема с оперативной передачей данных в береговой центр. Это стационарная станция для автоматического вертикального зондирования природных водоемов на основе донной лебедки. Макет станции разработан в 2018 г. Он обеспечивает измерение профилей температуры с помощью датчиков температуры и давления, размещенных в обтекаемом корпусе – посылном зонде, который перемещается по запрограммированному алгоритму. Посылный зонд обладает положительной плавучестью и соединен тонким прочным коаксиальным кабелем с донным блоком станции. Донный блок включает в себя лебедку и электронные блоки управления. По кабелю осуществляется электропитание датчиков посылного зонда, передача и запись данных измерений в твердотельную память станции. Измерения параметров проводятся при движении зонда и вверх, и вниз с тонкоструктурным вертикальным разрешением. Полученные данные, с помощью проложенного по дну моря оптоволоконного кабеля, передаются в береговой центр Полигона “Геленджик”, расположенный в кунге на конце пирса ЮО ИО РАН. По этому кабелю осуществляется также электропитание станции. Первые результаты измерений показали качественно новые возможности измерения параметров морской среды во всей толще вод, включая приповерхностный слой.

Ключевые слова: Черное море, шельф, характеристики водной среды, автоматическая стационарная станция вертикального зондирования, онлайн передача данных

DOI: 10.31857/S0030157420010013

ВВЕДЕНИЕ

Оперативная океанография включает в себя наблюдательный сегмент, базирующийся на регулярных измерениях параметров морской среды с передачей данных измерений в центры обработки информации в реальном времени [2, 4]. Некоторые параметры усваиваются в математических моделях циркуляции вод, на основе расчетов которых делаются диагноз и прогноз состояния морской среды. Это дает возможность раннего выявления экстремальных явлений на море, прогнозирования и предотвращения экологических катастроф.

С целью получения длинных рядов данных измерений параметров морской среды, на Полигоне “Геленджик” (ИО РАН) [3] установлено не-

сколько автоматизированных измерительных комплексов. Эти комплексы работают как в режиме внутренней записи данных на твердотельные носители, так и режиме оперативной передачи данных. Некоторые измерительные комплексы расположены на заякоренных буйковых станциях с подповерхностными плавучестями (с заглублением от поверхности от 7 до 20 м). Данная методика постановки приборов практически исключает возможность выполнения измерений в поверхностном слое водной среды, что существенно ограничивает возможность использования этих комплексов как средств проведения подспутниковых измерений [3].

С целью устранения указанного недостатка в 2018 г. в ЮО ИО РАН была разработана стацио-

Таблица 1. Технические характеристики станций VPS фирмы InterOcean

Модель	Глубина постановки, м	Скорость выборки кабеля, м/мин	Рекомендуемая плавучесть, кг	Максимальное потребление, Вт	Диаметр, разрывное усилие кабеля	Максимальная скорость течения
VPS25-1	25	5	68	145	9 мм 907 кгс	1.5 м/с
VPS100-1	100	10	150	640	9 мм 907 кгс	1.5 м/с
VPS200-1	200	10	68	350	9 мм 907 кгс	1 м/с
VPS300-1	300	10	150	670	9 мм 907 кгс	1 м/с

нарная станция вертикального зондирования (ССВЗ) водной среды, позволяющая выполнять измерения от придонного слоя до поверхности водоема. В состав станции входят подводное устройство – лебедка, предназначенная для подъема и опускания посыльного зонда на гибком прочном кабеле; сам посыльный зонд с датчиками, обладающий положительной плавучестью; блок электроники, управляющий лебедкой и осуществляющий сбор, хранение и передачу данных измерений по каналу связи. Эта станция может быть адаптирована к любым морским измерительным датчикам и, что немаловажно, она передает данные в береговой центр в режиме реального времени. В настоящее время макет станции прошел стадию лабораторных испытаний и предварительные натурные испытания, результаты которых, равно как и описание самой станции и ее технических характеристик, приводятся в данной статье.

Подобные станции выпускаются фирмой InterOcean [7], они имеют несколько модификаций со следующими характеристиками (см. табл. 1).

Из характеристик видно, что эти станции – громоздкие, хотя весьма мощные. Имеют интерфейс управления. Работают в автоматическом режиме. Очень энергоемкие, это не дает использовать их в автономном режиме. В них использован подводный токоъемник: это усложняет изготовление таких станций и значительно уменьшает долговечность. Применение масло-заполненного двигателя, также уменьшает долговечность работы станции.

Мы постарались, используя современные технологии и накопленный опыт, максимально учесть при конструировании недостатки и достоинства подобных станций.

ОПИСАНИЕ СТАЦИОНАРНОЙ СТАНЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ (ССВЗ)

Общий вид макета ССВЗ 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 внутри кевларовой нитью. Прочность кабеля на разрыв составляет 1 кН. Под барабаном (катушкой), также горизонтально, на одной и той же с ним оси расположена широкая латунная шестерня диаметром 300 мм. Она не связана с барабаном механически, но 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 кабель имеет в воде плавучесть, близкую к нейтральной.

При работе лебедки ее барабан не вращается, внутренний конец кабеля надежно закреплен на катушке без токоъемника и герметично подсоединен к электронному блоку управления лебедкой и записи данных. Передача момента вращения двигателя на червячный механизм осуществляется через магнитную муфту, что избавляет от необходимости герметизации выходного вала привода. Эти инновации существенно упрощают условия герметизации основных узлов подводной лебедки и повышают надежность функционирования станции при долговременной работе.

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 станции 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 подвезан к пробному грузу (рис. 1). При включении лебедки на намотку кабеля осуществляется подъем груза,

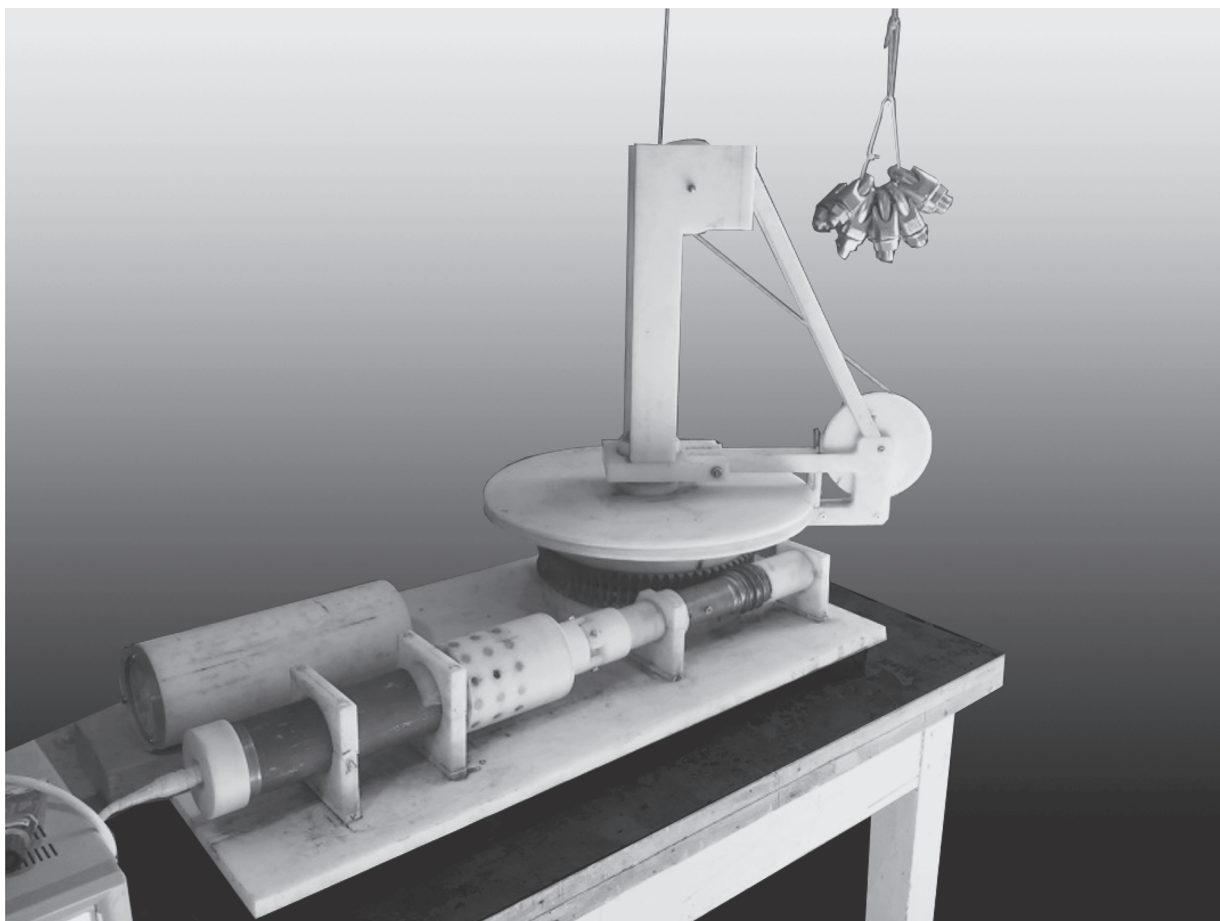


Рис. 1. Общий вид макета ССВЗ в лабораторных условиях. Пояснения в тексте.

масса которого изменяется от опыта к опыту. В результате эксперимента удалось установить, что лебедка способна поднимать груз весом до 15 кг.

При проведении натурных измерений “внешний” конец кабеля подсоединяется к блоку измерительных датчиков, размещенных в макете посьльного зонда с обтекаемой формой и положительной плавучестью (рис. 2). 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 электропитание, датчики переходят в режим измерения, после чего включается 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 ка-

беля 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 запрограммированное время. Затем лебедка переключается на намотку кабеля на барабан, и зонд затягивается вниз к барабану донного блока лебедки в режиме проведения измерений.

Чуть ниже зонда на кабеле расположен магнитный ключ. Когда зонд опускается до уровня барабана донной лебедки, магнитный ключ подводит 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



Рис. 2. Макет зонда с положительной (5 кгс) плавучестью. Черными стрелками показаны датчики давления и температуры.

придонном слое, если есть необходимость в получении таких данных.

В настоящее время посыльный зонд укомплектован датчиком температуры фирмы Honeywell серии 700 с платиновым напылением на керамическую основу и датчиком давления, представляющим собой тензопреобразователь Д-0.6, серийно выпускаемый в г. Орле. Технические характеристики датчиков и самой станции приведены в табл. 2.

В июне 2019 г. ССВЗ вошла в состав многофункциональной системы автоматического измерения параметров водной среды на Полигоне “Геленджик” (ИО РАН) ([3], см. рис. 3). Одно из

достоинств этой станции заключается в том, что она не ограничена энергоресурсами, питание на нее поступает по проложенному на дне оптоволоконному кабелю, по которому также передаются данные измерений в береговой центр. ССВЗ может работать в автоматическом или в ручном режиме управления с берегового поста.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ССВЗ

На рис. 4 представлены результаты измерений ССВЗ вертикального распределения температу-

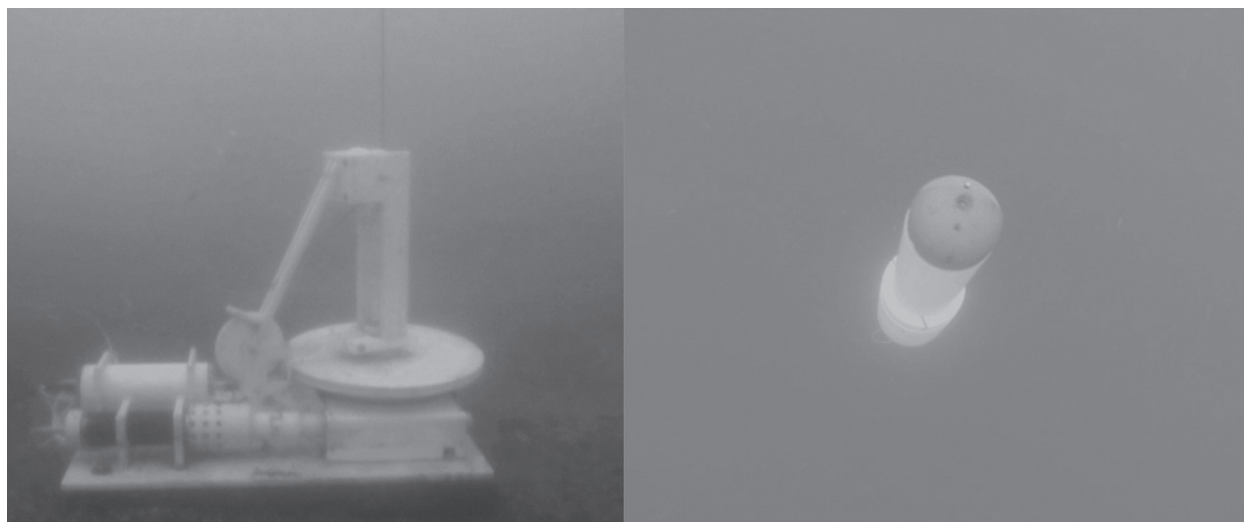


Рис. 3. ССВЗ на дне в районе Голубой бухты г. Геленджик. Лебедка с блоком управления (слева); плавучий посыльный зонд (справа).

ры и его изменения во времени от придонного слоя до поверхности моря.

Измерения проводились в течение 10-ти дней в конце июня—начале июля 2019 г. Глубина места постановки ССВЗ составляла 25.5 м. За счет размера станции (высота 0.5 м) и размера зонда (длина 0.5 м) измерения начинаются на расстоянии одного метра от дна с глубины 24.5 м. Скорость подъема зонда к поверхности моря составляла 12 см/с. При каждом зондировании частота измерений равнялась 1 Гц. Станция работала в автоматическом режиме. Зондирования проводились с периодичностью 2 ч.

Характерной чертой изменчивости вертикального распределения температуры на рис. 4 явля-

ется наличие колебаний положения термоклина, с общей тенденцией его подъема от начала до конца декадного периода измерений. В значительной степени, это связано с изменчивостью динамики вод [6]. Фактором, свидетельствующим об отсутствии в период измерений сильных ветровых воздействий, является неоднородность вертикального распределения температуры в верхнем 10-метровом слое моря. Физические закономерности изменчивости вертикальных распределений температуры, измеренных с помощью ССВЗ, являются предметом дальнейших научных исследований.

Как уже указывалось выше, на полигоне “Геленджик” установлены и осуществляют регуля-

Таблица 2. Технические характеристики макета ССВЗ

Параметр	Значение	Единицы измерения
Скорость движения плавучего зонда	12	см/с
Максимальная подъемная нагрузка	15	кгс
Длина кабеля на барабане	55	м
Скорость передачи данных через канал связи	70	Мбод
Диапазон измеряемых значений температуры	0–35	°С
Постоянная времени термодатчика	0.5	с
Диапазон измеряемой глубины датчиком давления	0–250	м
Погрешность измерения глубины датчиком давления	0.1	%
Разрывное усилие кабеля связи	1	кН
Частота измерений зонда	1–5	Гц
Потребляемая мощность	до 40	Вт
Габаритный размер посыльного зонда	200 × 800	Ø × L мм
Габаритный размер донного блока	500 × 1000 × 600	мм
Вес посыльного блока на воздухе	2	кг
Подъемная сила плавучего зонда	5	кгс
Вес донного блока на воздухе	60	кг
Вес донного блока в воде	40	кг

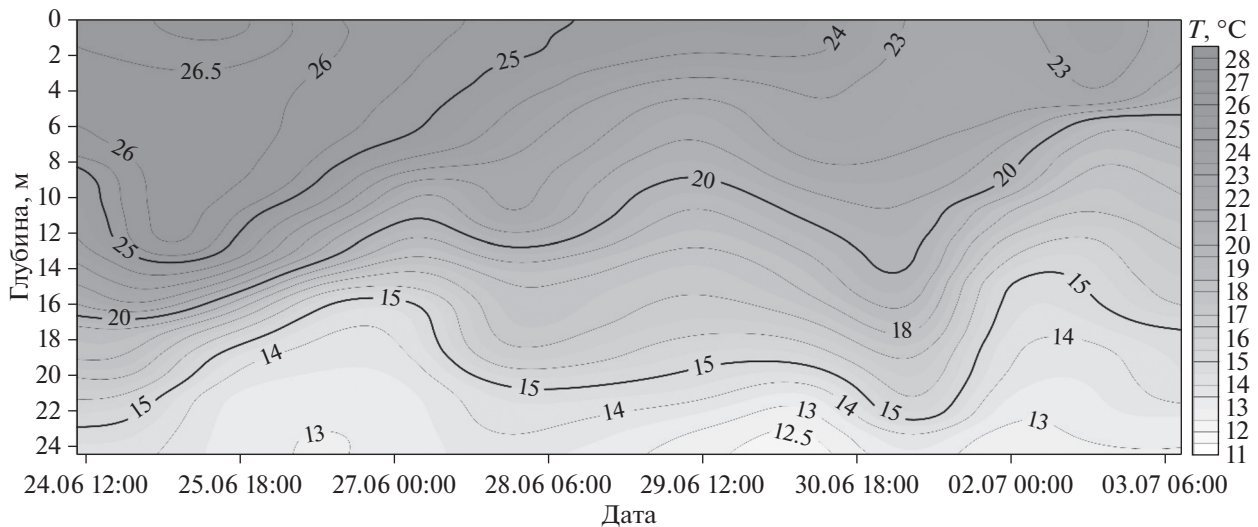


Рис. 4. Временной разрез изменения вертикального распределения температуры, построенный по данным измерений ССВЗ. Время – локальное.

ные измерения несколько измерительных комплексов. В состав одного из них входит кластер из трех цепочек термодатчиков (термокос) [5] и акустический измеритель скорости течений ADCP фирмы RDI (рис. 5). ССВЗ вошла в состав этого комплекса тоже. Все измерительные приборы данного комплекса обеспечиваются электропитанием, а также осуществляют оперативную передачу измеренных данных в береговой центр по проложенному по дну моря оптоволоконному кабелю. В береговом центре происходит первичная обработка и сохранение данных измерений. Из него также осуществляется управление всеми приборами, подключенными к оптоволоконному кабелю. Это дает возможность оперативно наблюдать за изменением подводной обстановки.

Датчики в термокосах расположены на расстоянии около одного метра друг от друга по вертикали и проводят измерения в автоматическом режиме с периодом 10 с. Верхние датчики термокос находятся на глубине около 5–6 м от поверхности. Соответственно термическая структура самого приповерхностного слоя не регистрируется при проведении измерения заякоренными термокосами. На дне в специальной пирамиде расположен профилограф скорости течения ADCP, который проводит измерения профиля скорости течения в водной толще над собой каждые 30 с.

Из схемы, изображенной на рис. 6, видно, что ближайшая термокоса А располагалась в 40 м от ССВЗ. Таким образом, есть смысл сравнить данные измерений температуры, полученные ближайшей к этой станции термокосой А, с измерениями температуры, полученными при проведении зондирований ССВЗ для одного и того же интервала времени (см. рис. 6).

Попарное сопоставление между собой профилей температуры, измеренных ССВЗ и близко расположенной термокосой в трех различных случаях, показывает, что они могут как практически совпадать друг с другом (рис. 6б), так и существенно отличаться друг от друга (рис. 6а и 6в). Практическое совпадение профилей наблюдается в случаях низкой пространственно-временной изменчивости поля температуры в окрестности кластера станций. Существенное различие профилей наблюдается в противоположных случаях, когда пространственно-временная изменчивость поля температуры высока. Высокая пространственно-временная изменчивость поля температуры может быть вызвана внутренними волнами [5], турбулентными возмущениями и субмезомасштабными вихрями.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Разработана конструкция и изготовлен макет автоматической стационарной станции вертикального зондирования природных водоемов на основе донной лебедки. ССВЗ обеспечивает периодическое профилирование водного столба от придонного слоя до поверхности моря с измерением температуры воды с высоким разрешением. Полученные данные записываются в память станции и передаются по линии связи в прибрежный центр по кабелю, проложенному по дну водоема. По этому кабелю осуществляется также электропитание станции.

Проведены лабораторные и натурные испытания основных узлов станции. По результатам этих испытаний станция включена в состав многофункционального измерительного комплекса Полигона “Геленджик” (ИО РАН) как одно из

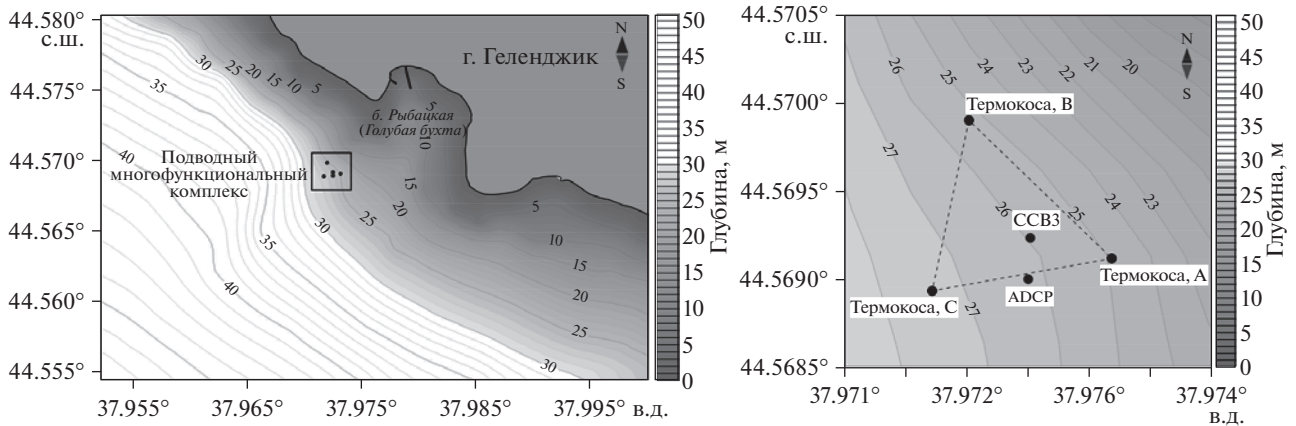


Рис. 5. Подводный многофункциональный комплекс, подсоединенный к оптоволоконному кабелю в районе Голубой бухты (слева) и расположение измерительных приборов в нем (справа).

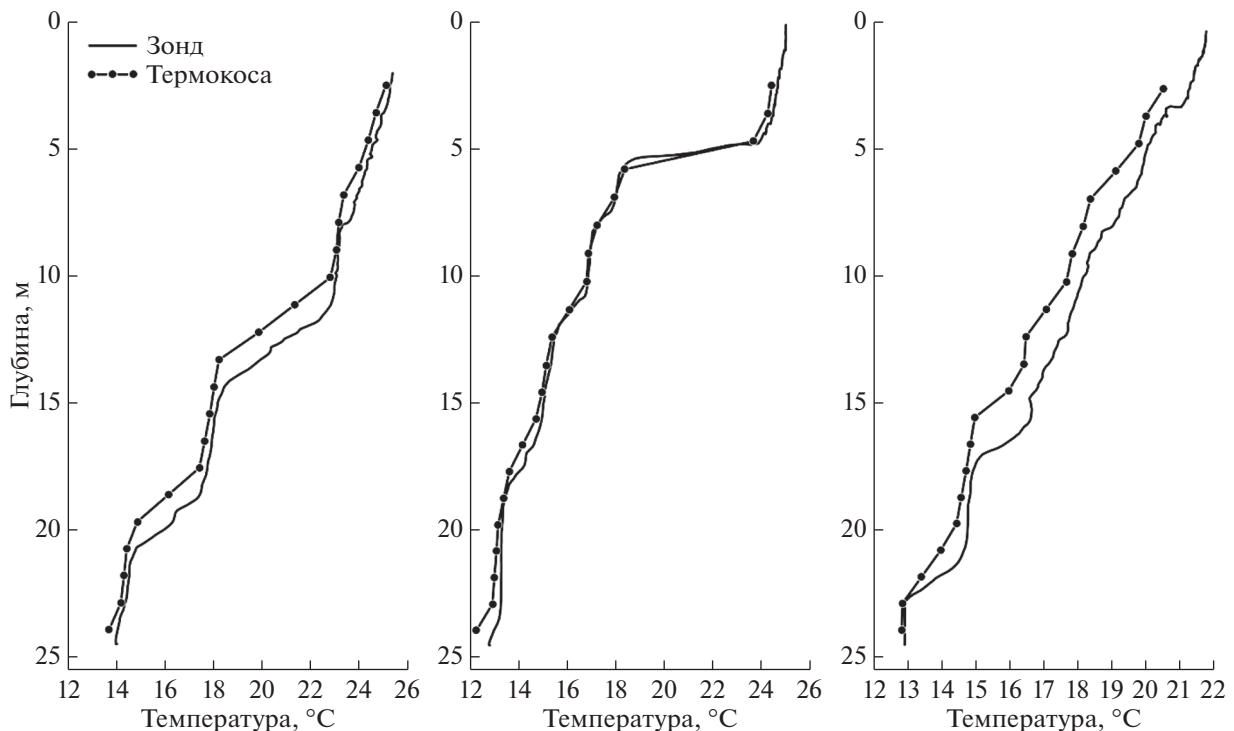


Рис. 6. Парные профили температуры, полученные при помощи термокосы А и ССВЗ установленных в близости друг от друга для трех различных моментов времени. Измерения были проведены: слева (а) – 27.06.2019 15:42, в центре (б) – 02.07.2019 14:56, справа (в) – 03.07.2019 09:04. Время – локальное.

средств наблюдательного сегмента прибрежной оперативной океанографии.

Одним из недостатков данного макета ССВЗ является низкая скорость движения зонда (порядка 12 см/с). Из-за этого зонд подвержен сильному влиянию вертикальных движений воды, обусловленных поверхностными и внутренними волнами. Другим недостатком является небольшая емкость барабана лебедки, ограничивающая длину намотанного на барабан кабеля. Вслед-

ствие этого при большой скорости течения воды, зонд либо не доходит до поверхности моря, либо, достигнув ее, начинает “нырять” при полностью вытравленном кабеле. В силу этих обстоятельств данный макет ССВЗ нельзя устанавливать в море на глубину, превышающую 30 м.

По результатам тестирования данного макета ССВЗ выработаны рекомендации для усовершенствования этой станции. Планируется изготовить ее новый макет с многоходовой укладкой кабеля

на барабан емкостью до 150 м кабеля. Будет также в несколько раз увеличена скорость зондирования (до 40–50 см/с), снижено электропотребление станции, чтобы она могла работать в автономном режиме, питаясь от блока встроенных аккумуляторов. Посыльный зонд будет дополнен средствами мобильной связи, чтобы при всплытии на поверхность моря автономно работающая станция могла оперативно передавать измеренные данные. В дальнейшем планируется также дооснащение посыльного зонда дополнительными датчиками – гидрофизическими, гидрохимическими и биооптическими. В результате появится возможность более полного мониторинга ключевых параметров морской среды и проведения комплексных подспутниковых измерений с оперативной передачей данных потребителю.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках темы госбюджета № 0128-2019-0009 и при частичной поддержке грантов РФФИ № 17-05-00381, РФФИ № 19-45-230002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов В.И., Куклев С.Б., Зацепин А.Г. и др. Кабельная система берегового мониторинга состояния водной среды в режиме реального времени // Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2015). 2015. Т. 1. С. 14–16.
2. Зацепин А.Г., Островский А.Г. Заякоренные профилирующие океанологические станции и их роль в задачах оперативной океанографии // Морские информационно-управляющие системы. 2018. С. 84–89.
3. Зацепин А.Г., Островский А.Г., Кременецкий В.В. и др. Подспутниковый полигон для изучения гидрофизических процессов в шельфово-склоновой зоне Черного моря // Изв. РАН. Физ. атм. и океана. 2014. № 1. С. 16–29.
4. Марчук Г.И., Патон Б.Е., Коротаев Г.К., Залесный В.Б. Информационно-вычислительные технологии – новый этап развития оперативной океанографии // Изв. РАН. Физ. атм. океана. 2013. Т. 49. № 6. С. 629–642.
5. Очередник В.В., Запелалов А.С., Баранов В.И. и др. Результаты постановки кластера заякоренных цепочек температурных датчиков (термокос) // Сб. трудов Международного симпозиума “Мезомасштабные и субмезомасштабные процессы в гидросфере и атмосфере” (МПС-2018). М.: ИО РАН, 2018. С. 265–267.
6. Сильвестрова К.П., Зацепин А.Г., Мысленков С.А. Прибрежные апвеллинги и даунвеллинги в Геленджикском районе Черного моря: связь с ветровым воздействием и течением // Океанология. 2017. Т. 57. № 4. С. 521–530.
7. Интернет ресурс <https://www.yumpu.com/en/document/view/37450907/interocan-underwater-winch-brochure-1mb-pdf>

First Results of Using the Automatic Stationary Station of Vertical Profiling of the Aquatic Media at the Gelendzhik Testing Site – a Perspective Tool for Coastal Operational Oceanography

V. I. Baranov^{a, #}, V. V. Ocherednik^a, A. G. Zatsepin^{a, b, ##}, S. B. Kuklev^a, V. V. Mashura^a

^a*Shirshov Institute of Oceanology Russian academy of sciences, Moscow, Russia*

^b*Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Russia*

[#]*e-mail: baranovvlad@mail.ru*

^{##}*e-mail: zatsepin@ocean.ru*

In 2019, a new instrument was included in the multifunctional measuring complex at the Gelendzhik Research Site (IO RAS), which allows automatic measurement of the hydrophysical parameters of the aquatic environment from the bottom layer to the surface of the reservoir with the on-line transfer of data to the coastal center. This is a stationary station for automatic vertical profiling of natural water bodies based on bottom winch. The model of the station was developed in 2018. It provides the measurement of temperature profiles with the help of temperature and pressure sensors located in a streamlined body - a carrier, which moves according to a programmed algorithm. The carrier has positive buoyancy and is connected by a thin strong coaxial cable to the bottom unit of the station. The bottom unit includes a winch and electronic control units. The cable provides power to the sensors of the carrier, the transmission and recording of measurement data in the solid-state memory of the station. Parameter measurements with a fine-structure vertical resolution are carried out with the probes moving up and down. The obtained data, using a fiber-optic cable laid along the bottom of the sea, are transmitted to the coastal center, located at the end of the pier of the Southern Branch of the IO RAS. The station is also supplied with power through this cable. The first results showed qualitatively new possibilities of the station for measuring the parameters of the marine environment in the entire water column, including the near-surface layer.

Keywords: Black Sea, shelf, characteristics of the aquatic environment, automatic stationary station for vertical sensing, online data transfer