НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 551.465

МОРСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

© 2014 г. Академик Г.В. Смирнов[1], академик Г.Г. Матишов[2, 3], А.Л. Оленин[1], Е.А. Аистов[1], К.С. Григоренко[2, 4], О.В. Степаньян[2, 4]

Поступила 12.05.2014

Приведены результаты натурных испытаний новейшей многоканальной измерительно-технологической платформы, созданной в Институте океанологии РАН. В условиях Чёрного моря комплекс приборов, входящих в состав платформы, подтвердил свою работоспособность. Получены вертикальные профили гидрофизических параметров, а также видеозаписи частиц взвеси на глубинах до 300 м. Обработка изображений частиц взвеси позволяет получить статистические данные о размерно-количественном составе частиц взвеси на различных глубинах. Одновременно с испытаниями нового оборудования осуществлено вертикальное зондирование водной толщи СТД-зондом SEACAT SBE 19 plus V2. Выявлено, что верхний перемешанный слой в районе свала глубин Анапской банки имеет мощность до 40 м, что обусловлено активизацией процессов термической конвекции и ветроволновой активностью. Холодный промежуточный слой зафиксирован на глубинах 60–120 м, ядро слоя отмечено между 90 и 100 м со значением температуры 7,8 °С. Слой скачка плотности расположен в пределах 35–50 м.

Ключевые слова: многоканальная измерительно-технологическая платформа, вертикальное зондирование, Чёрное море, научно-исследовательское судно “Денеб”.

В настоящее время наиболее распространенным способом получения информации о состоянии Мирового океана и отдельных океанических бассейнов является дистанционное спутниковое зондирование. Для верификации получаемых данных об изменчивости параметров гидрофизических полей требуется проведение in situ измерений с помощью погружаемых зондов в заданных точках на подспутниковых полигонах. Это позволяет обеспечить корректность получаемой со спутников информации. Проведение подспутниковых наблюдений – одна из важных задач современной океанологии [1]. Такие наблюдения становятся обязательными при проведении морских работ в Азовском и Чёрном морях, при этом основное внимание уделяется исследованию распределения хлорофилла *a*, органического вещества и взвеси [2–5].

Основные подспутниковые измерения океанологических параметров выполняют с помощью погружаемых многоканальных зондов. Однако если традиционные гидрофизические каналы (температура, электропроводность и т.п.) практически достигли совершенства, то корректные измерения растворенного вещества в морской воде, анализ размерно-количественного состава частиц взвеси в морской воде требуют разработки и развития новых измерительных каналов. Их работа основана на детальном изучении изображений частиц взвеси, в том числе получаемых голографическими методами, или на анализе оптических спектров пропускания, флуоресценции, комбинационного рассеяния и т.д. Это позволит учитывать влияние процессов, происходящих в разных горизонтах водной толщи в точке спутникового наблюдения, на исходящий из моря интегральный световой поток, регистрируемый спутниковым сенсором.

В процессе отладки, испытаний и собственно работы новых измерительных каналов требуется решить следующие задачи:

[1] Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences), 117997, г. Москва, пр. Нахимовский, 36, gvsmirnov@ocean.ru

[2] Южный научный центр РАН (Southern Scientific Center, Russian Academy of Sciences), 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru

[3] Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН (Murmansk Marine Biological Institute, Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences), 183010, Мурманск, ул. Владимирская, 17.

[4] Институт аридных зон Южного научного центра РАН (Institute of Arid Zones of the Southern Scientific Center, Russian Academy of Sciences), 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41.

– высокоскоростная передача данных на борт судна (например, видеопотоков);

– достаточный уровень электропитания;

– установочное место для канала на силовой раме погружаемого зонда;

– получение граничных гидрофизических параметров в точке измерения.

В лаборатории методологии и технических средств океанологических исследований Института океанологии РАН создана измерительно-технологическая платформа [6], обеспечивающая решение указанных выше задач.

В состав измерительно-технологической платформы входят:

1. Многоканальный погружаемый измерительный гидролого-оптико-химический зонд, который обеспечивает интеграцию существующих измерительных океанологических каналов и позволяет существенно расширить функции для вновь создаваемых измерительных каналов, измерения обеспечиваются до глубины 300 м.

2. Волоконно-оптическая линия связи, состоящая из волоконно-оптического кабель-троса и многовходовых оптических модемов (на зонде и на судне).

3. Судовое оборудование, состоящее из электрической кабель-тросовой лебедки, вращающихся электрического и оптического переходов, блока управления, рабочего места операторов (бортовая ЭВМ и GPS-приемник).

Основные характеристики платформы:

– *рабочая глубина* – до 300 м;

– *лебедка* – грузоподъёмность 250 кг, емкость барабана 370 м (диаметр кабеля 9,4 мм);

– *тип привода* – электрический, частотно-регулируемый;

– *питание* – 220 В, 50 Гц, 2,5 кВт;

– *кабель-трос* – механические параметры: диаметр 9,4 мм, рабочая нагрузка до 1800 кг; линии: 2 одномодовых волокна +1 витая пара + силовая линия до 3 А, 200 В;

– *интерфейсы передачи данных измерительных каналов* – 4 канала Fast Ethernet 100 Mbit, 1 канал RS485;

– *электропитание исследуемых каналов* – 5, 12, 24, 48 В, мощность до 300 Вт;

– *гидрофизический модуль* – канал температуры –5…+35 °С, точность ±0,01 °С;

– *канал электропроводности* – 0–80 мСм/см, точность ±0,01 мСм/см;

– *канал абсолютного гидростатического давления* – 0–30 бар, точность ±0,05 % от полного диапазона;

Рис. 1. Размещение измерительно-технологической платформы на палубе научно-исследовательского судна “Денеб”: многоканальный гидролого-оптико-химический зонд (*1*); лебедка морская электрическая (*2*). Справа один из разработчиков комплекса А.Л. Оленин

– *канал показателя ослабления направленного света* – 0,03–2 $м^{-1}$, точность ±5 % от полного диапазона;

– *диаметр светового пучка* – 14 мм, база 250 мм, длина волны источника 530 нм, частота модуляции светового потока 500 Гц, 5000 Гц;

– *канал концентрации растворенного кислорода* – 0–500 μM, точность < 8 μM, постоянная времени <8 с.

Морские испытания проведены в октябре 2013 г. совместно сотрудниками Института океанологии РАН и Южного научного центра РАН на научно-исследовательском судне (далее – НИС) “Денеб”. Общий вид технологической платформы, установленной на палубе НИС “Денеб”, показан на рис. 1. Район работ охватывал Азовское и Чёрное моря (рис. 2). Испытания технологической платформы проводили в районе свала глубин Анапской банки.

Были последовательно проведены испытания лебедки электрической, затем лебедки в комплексе

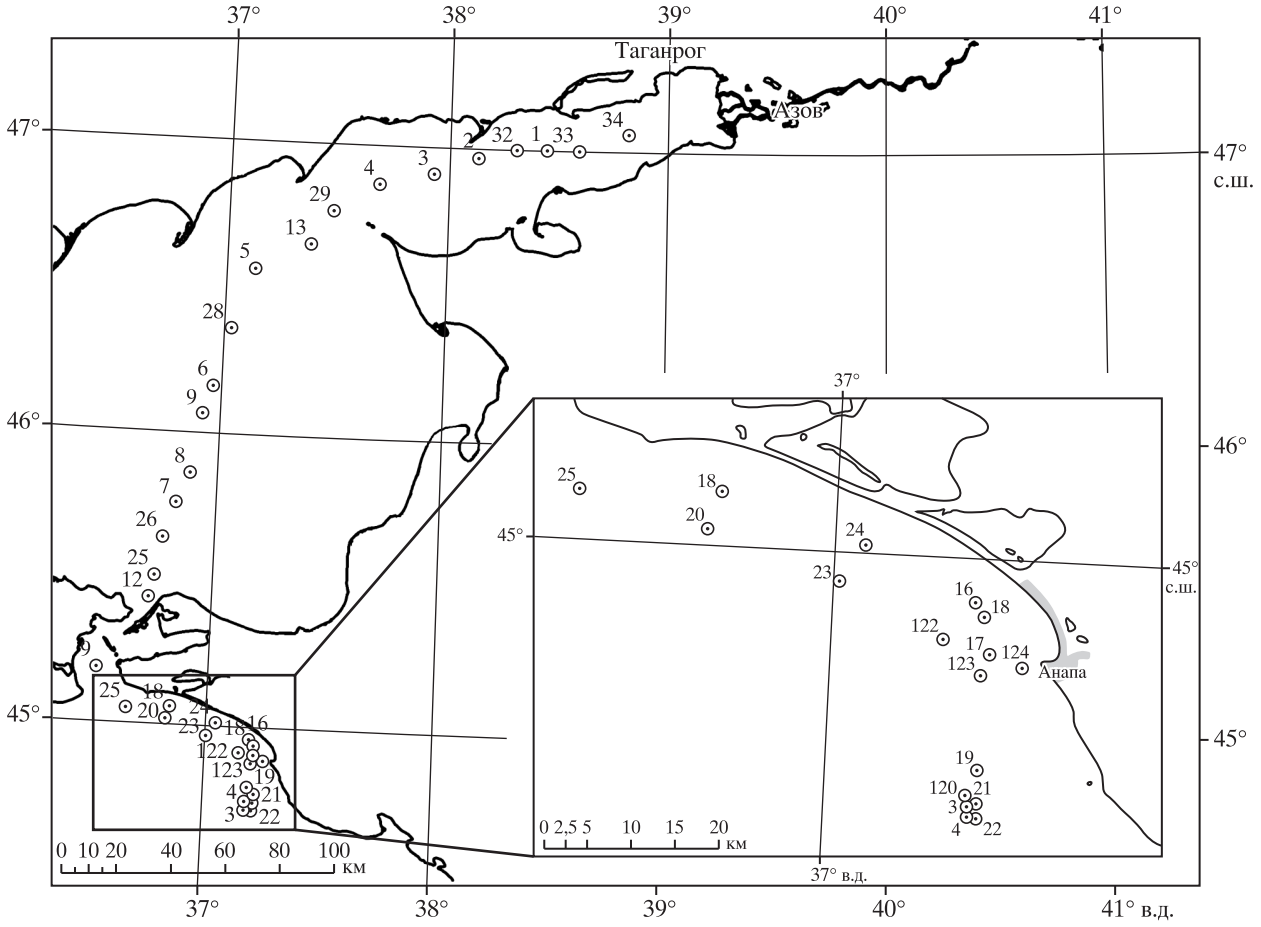

Рис. 2. Карта-схема маршрута экспедиции и район проведения испытаний с экспериментальным разрезом

с погружаемым зондом вплоть до глубины 320 м. Была подтверждена работоспособность измерительной платформы в целом, выполнены тестовые вертикальные зондирования на экспериментальном разрезе.

На рис. 3 показан многоканальный погружаемый измерительный гидролого-оптико-химический зонд. Он состоит из гидрофизического модуля, обеспечивающего измерение стандартных гидрофизических параметров, измерительного канала идентификации частиц взвеси и блока связи и питания. На рис. 4 изображена лебедка морская электрическая, она снабжена оптическим и электрическим вращающимися переходами для передачи сигналов по оптико-волоконной линии связи и питания. В судовой лаборатории были расположены рабочие места операторов, осуществляющих контроль при зондировании, наблюдениях на фиксированных горизонтах и других режимах измерения параметров водной среды.

В ходе испытаний технологической измерительной платформы получены визуализированные изображения распределения гидрофизических параметров по глубине (рис. 5) и осуществлена регистрация взвеси и зоопланктона в морской воде каналом идентификации частиц (рис. 6), принципиальная схема которого опубликована ранее [7]. Регистрация проводилась в режиме стоп-кадра. В ряде кадров можно легко идентифицировать представителей зоопланктона – копепод.

Проведенные натурные испытания подтвердили работоспособность созданной технологической платформы в условиях морской экспедиции. Получены вертикальные профили гидрофизических параметров, а также видеозаписи частиц взвеси на глубинах до 300 м. Обработка изображений частиц взвеси позволяет получить статистические данные о составе и размерных характеристиках частиц взвеси и зоопланктона по глубине.

В Чёрном море с использованием океанографического зонда SEACAT SBE 19 plus V2 было выполнено 16 станций вертикального профилирования как в прибрежье, так и на глубоководье. Профили распределения температуры, солености и плотности на станциях глубоководных станциях представлены на рис. 7.

Верхний перемешанный слой (ВПС) имеет мощность до 40 м, смещение нижней границы ВПС может обусловливаться активизацией процессов термической конвекции, а также ветро-волновыми процессами.

Слой скачка температуры на глубоководных станциях (сезонный термоклин), верхняя граница которого является непосредственным продолжением ВПС, а нижняя граница расположилась на глубинах 45–60 м, среднее значение перепада температур в этом слое достигает 7,00 °С, вертикальный градиент температуры для данной станции составляет 0,27 °С/м. Холодный промежуточный слой (ХПС) зафиксирован на глубинах 60–120 м, ядро ХПС прослеживается на глубине 90–100 м, значение температуры 7,8 °С (ст. 21). На станциях 103 и 104 верхняя граница ХПС находится на глубине 60–65 м, а нижняя – на глубине 105–110 м. По мере увеличения глубины в дальнейшем происходит равномерный рост температуры на данных глубоководных станциях. Вертикальный градиент температуры для данного участка кривой (постоянный термоклин) составляет 0,038 °С/м (ст. 21).

Слой скачка солености (сезонный галоклин) на глубоководных станциях расположен на глубинах от 40 до 110 м (ст. 21), вертикальный градиент солености для данного участка кривой составляет 0,0371 епс (единица практической солености) на 70 м глубины. В целом по мере увеличения глубины происходит равномерное возрастание солености. Слой скачка плотности располагается в пределах 35–50 м. Перепад плотности на данных глубинах составляет 2 кг/м^3.

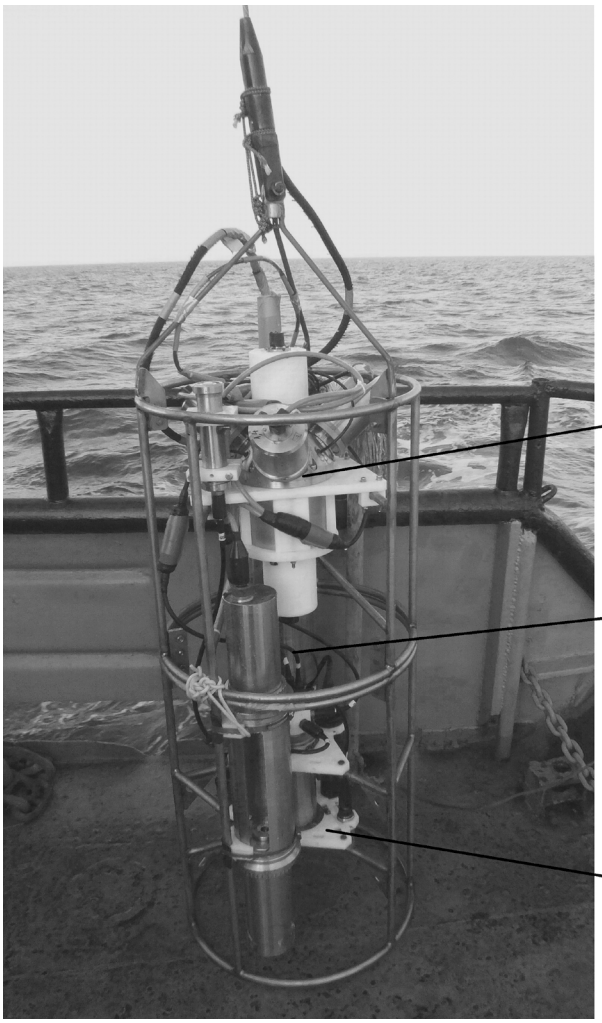

Рис. 3. Многоканальный погружаемый измерительный гидролого-оптико-химический зонд: гидрофизический модуль (*1*), измерительный канал идентификации частиц взвеси (*2*) и блок связи и питания (*3*)

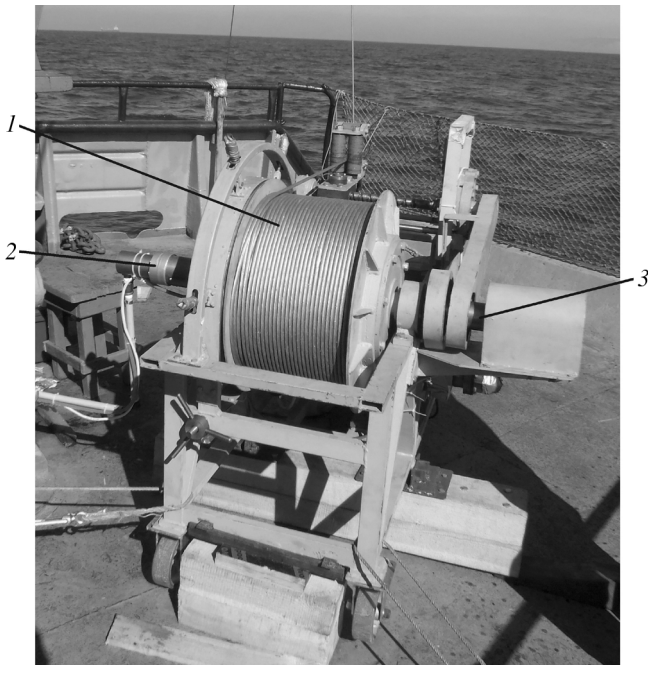

Рис. 4. Лебедка морская электрическая с оптоволоконным кабелем (*1*) и вращающимися оптическим (*2*) и электрическим (*3*) переходами

Графики вертикального распределения температуры, солености и плотности на станциях в прибрежной зоне Чёрного моря приведены на рис. 7. ВПС имеет мощность 5–11 м лишь на станции 118, на большинстве станций он расположен на глубине 40 м. Такое явление может объясняться активизацией ветро-волновой деятельности и конвективными процессами. Слой скачка температуры расположен на глубинах 25–30 м, тогда как на станции 118 скачок температуры отмечен на глубинах 40–50 м, вертикальный градиент температуры для данного участка кривой составляет 0,63 °С/м. Слой скачка

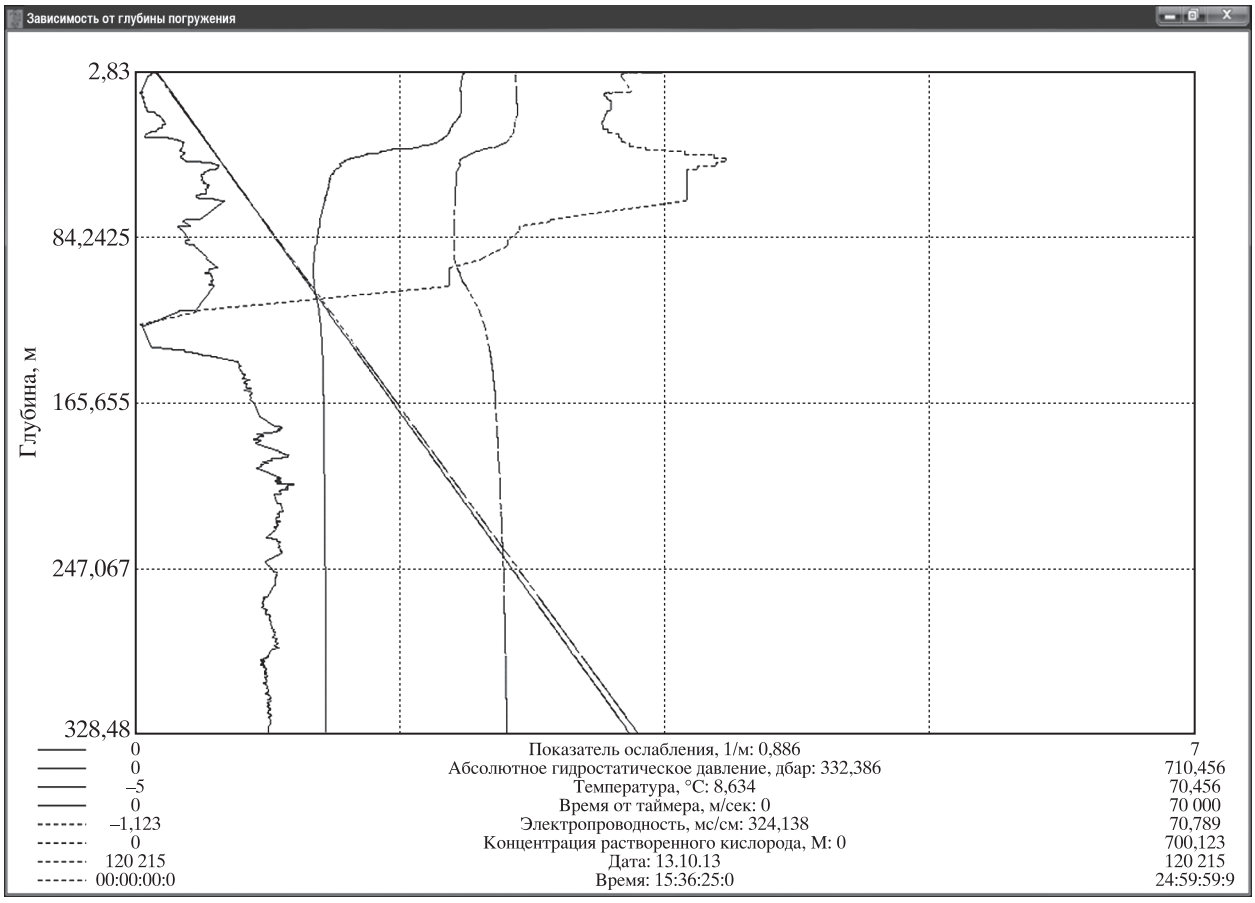

Рис. 5. Распределение гидрофизических параметров по глубине в одной из точек проведения испытаний (распечатка экрана оператора гидрофизических каналов)

Рис. 6. Регистрация частиц взвеси (*1*) и представителей зоопланктона (*2*) в морской воде

солености и плотности на станции 118 также расположен на глубине 40–50 м.

Выявленная гидрологическая характеристика черноморских вод на участке Анапа–Большой Утриш находится в пределах многолетней изменчивости основных параметров и соответствует гидрологическому сезону осени.

Созданная технологическая платформа позволяет продолжить работы по созданию и внедрению в практику новых измерительных средств: каналов регистрации и идентификации частиц взвеси, в том числе с использованием голографических принципов, оптических спектроскопических каналов анализа химического состава морской воды и других.

Отметим, что в совместных морских работах приняли участие молодые специалисты – студенты и выпускники кафедры океанологии Южного федерального университета.

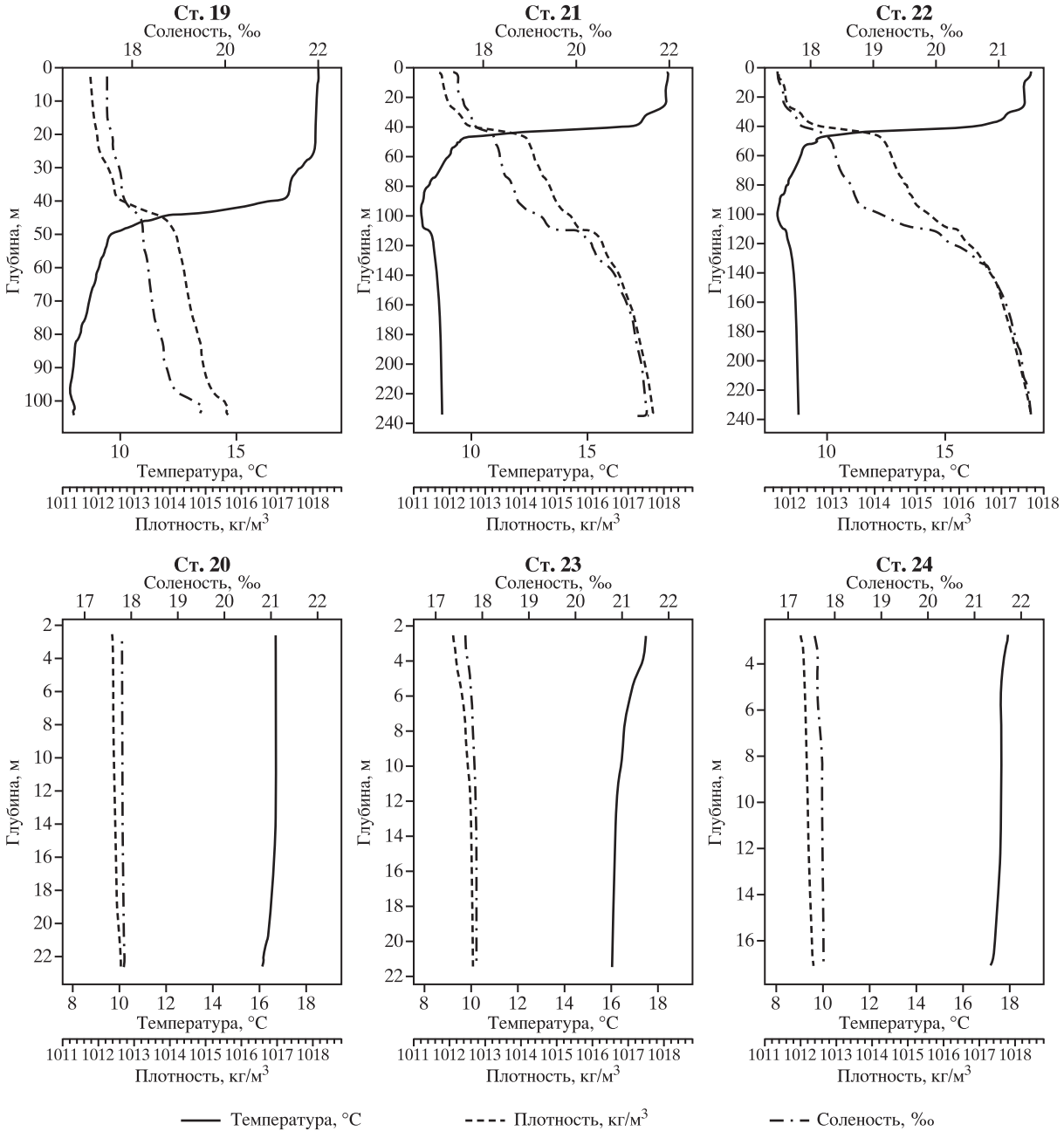

Рис. 7. Распределение температуры, солености и плотности на станциях 19, 21, 22 (мористая область), 20, 23, 24 (прибрежная область)

Работы выполнены при поддержке программы РАН и НАН Украины “Чёрное море как имитационная модель Мирового океана”, государственного контракта “Анализ динамики природных систем на основе мегабаз данных за многолетний (19–20 века) период наблюдений для выявления и прогнозирования экстремальных природных феноменов, опасных для социально-экономического развития густонаселенных территорий юга России” (№ 01201450487).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов Г.В., Еремеев В.Н., Агеев М.Д., Коротаев Г.К., Ястребов В.С., Мотыжев С.В. 2005. *Океанология. Средства и методы океанологических исследований*. М., “Наука”: 795 с.
2. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Степаньян О.В. 2013. Морские экспедиционные исследования Южного научного центра РАН и Института аридных зон на научно-исследовательском судне “Денеб” в 2008–2011 гг. *Океанология.* 53 (2): 276–278.

3. Матишов Г.Г., Поважный В.В., Бердников С.В., Мозес В.Дж., Гительсон А.А. 2010. Оценки концентрации хлорофилла *a* и первичной продукции в Азовском море с использованием спутниковых данных. *Доклады Академии наук.* 432 (4): 563–566.
4. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Степаньян О.В. 2014. Оценка современного состояния экосистемы Чёрного моря (Республика Абхазия). *Доклады Академии наук.* 454 (6): 715–719.
5. Матишов Г.Г., Степаньян О.В. 2012. Научно-исследовательское судно "Денеб": 5 лет морских экспедиционных исследований. *Вестник Южного научного центра.* 8 (3): 92–96.
6. Оленин А.Л. 2012. Многоканальный комплекс для разработки новых океанологических измерительных каналов. Автореф. … канд. технич. наук. М., ИО РАН: 25 с.
7. Оленин А.Л. 2010. Схема измерительного канала идентификации частиц взвеси в морской воде. *Океанология.* 50 (2): 306–311.

SEA TRIALS OF A MULTI-CHANNEL MEASURING TECHNOLOGICAL PLATFORM

Academician RAS G.V. Smirnov, Academician RAS G.G. Matishov, A.L. Olenin, E.A. Aistov, K.S. Grigorenko, O.V. Stepan'yan

The results of field tests of the latest multi-channel measuring technological platform developed at the Institute of Oceanology RAS are given. A complex of devices, which are part of the platform, confirmed its efficiency under the Black Sea conditions. Vertical profiles of hydro-parameters, as well as video records of the suspended particles at depths of up to 300 m were obtained. Processing of images of suspended particles allows obtaining statistical data on the size-quantitative composition of suspended particles in depth. Along with testing new equipment vertical sounding of the water column was implemented by SEACAT SBE 19 plus V2. It has been revealed that the upper mixed layer in the area of depth break of the Anapa Bank has a capacity of up to 40 m due to the intensification of processes of thermal convection and wind and wave activity. Cold intermediate layer is fixed at the depths of 60–120 m, the core layer is observed between 90 and 100 m with a temperature value of 7.8 °C. The layer of density jump is located within 35–50 m.

Key words: Multi-channel measuring technological platform, vertical sounding, Black Sea, R/V Deneb.

REFERENCES

1. Smirnov G.V., Eremeev V.N., Ageev M.D., Korotaev G.K., Jastrebov V.S., Motyzhev S.V. 2005. *Okeanologija. Sredstva i metody okeanologicheskih issledovanij.* [*Oceanology. Means and methods of oceanographic research*]. M.: “Nauka”, 795 p. (In Russian).

2. Matishov G.G., Matishov D.G., Stepan’yan O.V. 2013. [The Marine Expedition Research Onboard the R/V Deneb Conducted by the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences and the Institute of Arid Zones in 2008–2011]. *Oceanology.* 53(2): 249–251. (In English).

3. Matishov G.G., Povazhnyi V.V., Berdnikov S.V., Moses W.J., Gitelson A.A. 2010. Satellite estimation of Chlorophyll-*a* Concentration and Phytoplankton primary Production in the Sea of Azov. *Doklady Biological Sciences.* 432: 216–219. (In English).

4. Matishov G.G., Matishov D.G., Stepan’yan O.V. 2014. Assessment of the Modern State of the Black Sea Ecosystem (Republic of Abkhazia). *Doklady Earth Sciences.* 454, part 2: 213–217. (In English).

5. Matishov G.G., Stepan’yan O.V. 2012. [Research vessel “Deneb”: 5 years of marine research expeditions]. *Vestnik Yuzhnogo Nauchnogo Tcentra*. 8(3): 92–96. (In Russian).

6. Olenin A.L. 2012. *Mnogokanal'nyj kompleks dlja razrabotki novyh okeanologicheskih izmeritel'nyh kanalov. Avtoreferat … kandidata tehnicheskih nauk* [*Multi-channel system for the development of new oceanographic measuring channels. PhD Abstract*]. M.: Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, 25 p. (In Russian).

7. Olenin A.L. 2013. A Scheme of a Measuring Channel for the Identification of Particles in Sea Water. *Oceanology.* 50(2): 281–285. (In English).