

УДК 551.465, 551.463.8, 579.68(268.45), 581.132

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ КАСПИЙСКОГО МОРЯ В 41-М РЕЙСЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА “РИФТ”

© 2014 г. А. К. Амбросимов¹, А. А. Клювиткин¹, К. В. Аргамонова²,
В. И. Баранов³, Н. В. Козина¹, М. Д. Кравчишина¹, Н. В. Либина¹, В. В. Полькин⁴,
Н. И. Торгунова², А. С. Филиппов¹

¹Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва

²Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва

³Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Шишова РАН, Калининград

⁴Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск

e-mail: ambrosimov@ocean.ru

Поступила в редакцию 26.06.2013 г.

DOI: 10.7868/S0030157414040017

С 05 октября по 04 ноября 2012 г. в соответствии с Программой фундаментальных исследований президиума РАН № 23, тема 10.1 “Трансевропейский меридиональный морской эколого-геохимический разрез” была проведена комплексная экспедиция на НИС “Рифт” (41-й рейс), целью которой было исследование системы Каспийского моря. На 36-ти станциях и 43-х разрезах были выполнены гидрофизические, гидрооптические, гидрохимические, биогеохимические и геолого-геофизические исследования морской воды и атмосферы (рис. 1).

Исследования 41-го рейса НИС “Рифт” включали: зондирование водной толщи STD-зондами Idronaut Ocean 316 и SBE19+, измерение течений во всей толще воды акустическими профилографами течений ADCP WHS-300 в режиме буксировки и ADCP WHS-150 в режиме зондирований. На ходу судна в течение всего рейса проводилось измерение гидрооптических характеристик проточным флуориметром и изучение атмосферных аэрозолей. На станциях осуществлялся отбор воды для гидрохимических и биогеохимических исследований. На борту судна проводились определения гидрохимических параметров (концентрации кислорода, кремния, фосфатов и нитритов), пигментов фитопланктона (хлорофилла “а” и феофитина “а”) с использованием флуориметра Trilogy (Turner Design), концентрации взвеси с помощью вакуумной фильтрации. Отбор донных осадков проводился дночерпателем и мультискорером. Были подняты притопленные буйковые станции (ПБС) с седиментационными ловушками и измерителями течений “Поток-М” и доплеровским измерителем течений Sontec, поставленные в 39-м рейсе НИС “Рифт” [2, 4].

ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основное внимание в гидрофизических исследованиях 41-го рейса было уделено локальной изменчивости течений в глубоководной части Среднего Каспия.

Вертикальные разрезы поля течений и гидрохимических характеристик показали, что подводные течения у восточного побережья в районе Песчано-Мысского поднятия (ПМП) по всей глубине (ниже термоклина) огибают ПМП практически по изобатам. При этом часть потока натекает на ПМП, поднимая глубинные воды на поверхность моря.

На разрезах (по данным буксируемого измерителя течений ADCP WHS_300) выполненных в восточной половине Среднего Каспия присутствуют ранее неизвестные мощные струйные течения южных румбов, направленные против восточной ветви циклонического круговорота.

Осенним течениям над котловинами Каспийского моря характерны существенные перестройки. Так, по транскаспийскому разрезу в Дербентской котловине придонные течения развернулись в восточном направлении, а в котловине Южного Каспия вблизи Апшеронского порога наблюдалось закручивание по циклонической спирали и опускание в глубину моря холодных вод, пришедших с севера. В северной части котловины течение северного направления в верхнем слое монотонно поворачивалось с глубиной по часовой стрелке на юго-восток (до глубины 300 м), затем с глубины 300 м течение начало разворот в обратном направлении и у дна (820 м) имело западное направление. В центре котловины до 300 м течение имело северное направление и далее до

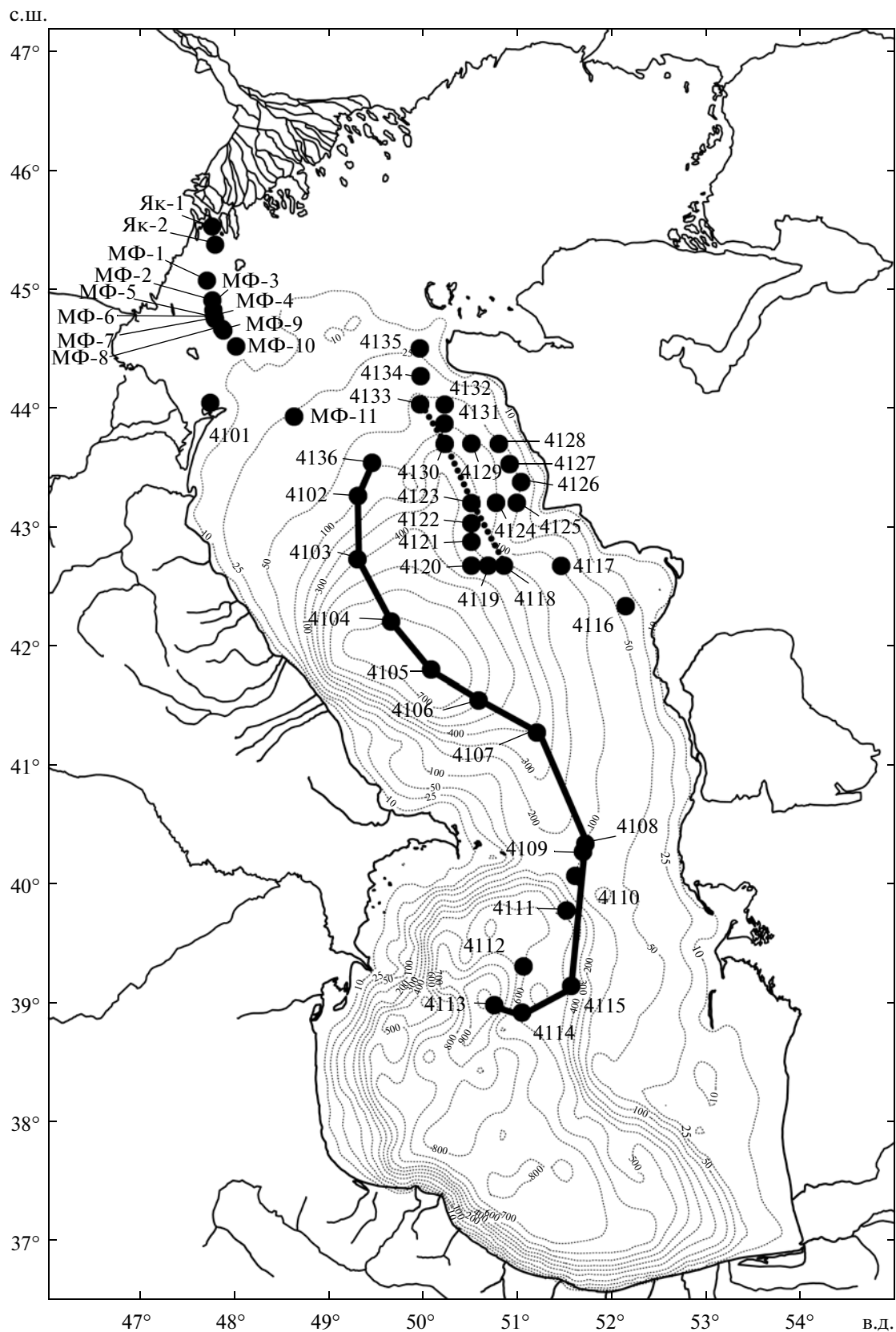


Рис. 1. Карта станций и схема расположения опорных разрезов в Каспийском море: сплошная линия – транскаспийский осевой разрез; пунктирная линия – песчаномысский разрез.

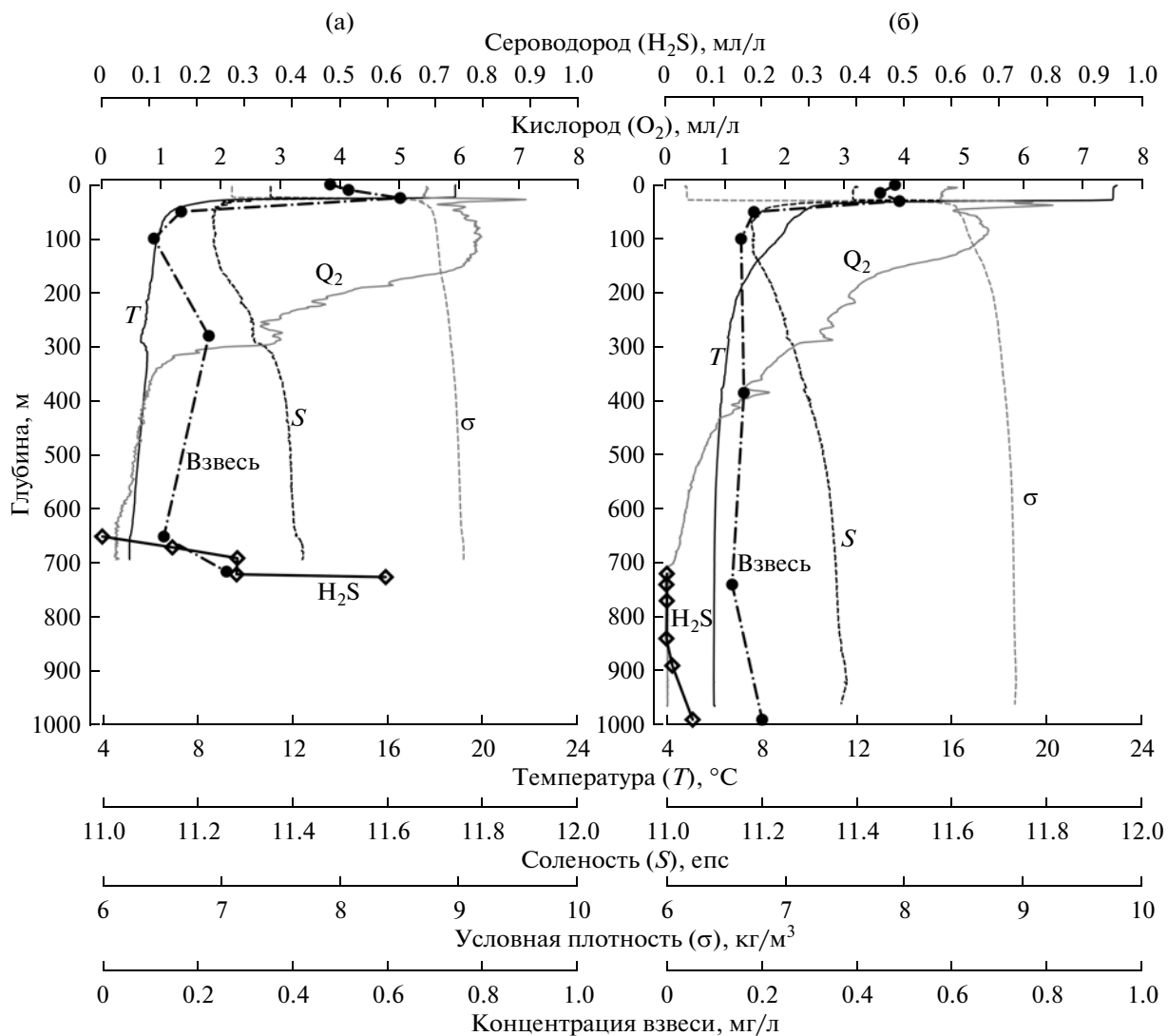


Рис. 2. Вертикальное распределение температуры, солёности, условной плотности, концентрации взвеси, сероводорода и кислорода (а) в Дербентской котловине на ст. 4104 и (б) в Южной котловине на ст. 4113.

дна (1003 м) — восточное направление. Скорости течений составляли, в основном, около 10 см/с.

Анализ вертикальных профилей температуры, солёности, плотности и кислорода (рис. 2), полученных в глубоководных районах Среднего Каспия, показывает, что в осенний период (как и в весенний) в толще моря на глубинах 200–300 м присутствуют возмущения T-S и O₂ характеристик. При этом на профилях плотности таких возмущений нет. Это позволяет утверждать, что холодные соле- и взвесенасыщенные воды Волги и рек Северного Кавказа, обогащенные кислородом, погружаются на западном свале глубин в толщу моря, нарушая структуру вод. В котловине Южного Каспия также наблюдаются возмущения O₂ на глубинах 200–400 м, связанные с опусканием холодных вод, пришедших через

Апшеронский порог с севера, либо с выбросом вод грязевыми вулканами Южного Каспия.

Над Апшеронским порогом наблюдается повышенная изменчивость характеристик водной толщи, при этом наблюдается двухслойное распределение солёности — в верхнем слое до 36 м солёность составляет 11.44 епс, а ниже до дна — 11.3 епс. Течение (по данным зондирований измерителем течений ADCP WHS_150) в верхнем слое над восточной частью порога направлено на восток, а во всей толще от термоклина до дна — в северном направлении.

РАССЕЯННОЕ ОСАДОЧНОЕ ВЕЩЕСТВО

Исследование атмосферных аэрозолей. Концентрация аэрозолей, собранных сетевым методом в приводном слое атмосферы Каспийского

моря, составила 2.51 мкг/м^3 , а поток вещества из атмосферы на поверхность моря, рассчитанный исходя из средней скорости осаждения частиц в прибрежных районах морей и океанов 2 см/с [7], составил $4.35 \text{ мг/м}^2/\text{сут}$. Такие величины характерны для осеннего сезона в Каспийском регионе [6]. Анализ обратных траекторий воздушных масс показал, что основным регионом-источником аэрозолей для приводного слоя атмосферы Каспия в октябре 2012 г. служили аридные районы Центральной Азии и Казахстана, а также пустыни Аравийского полуострова.

Изучение счетной концентрации и функции распределения частиц по размерам в приводном слое атмосферы с помощью автоматизированного мобильного аэрозольного комплекса показало, что вариации средних значений аэрозольных параметров в основном были связаны со сменой направления и величиной скорости ветра, волнением морской поверхности, прохождением атмосферных фронтов и выносом терригенного аэрозоля с континента.

Сравнение объемных распределений, полученных в экспедиции, с данными 29-го рейса НИС “Рифт” (ноябрь 2008 г.), выполненного в условиях мощных, заметных визуально выносов пылевого аэрозоля из пустынь Туркмении, показало, что все значения, полученные в настоящей экспедиции, как в субмикронном, так и грубодисперсном диапазонах ниже полученных в 29-м рейсе НИС “Рифт” [9].

Исследование водной взвеси. Маргинальный фильтр р. Волги. Систематическое исследование маргинального фильтра (МФ) р. Волги проводится авторами с 2008 г. [5]. В 41-м рейсе НИС “Рифт” на разрезе река–море выполнено 12 станций в интервале солености от 0.22 до 10.6 епс (горизонт 0–2 м) и 1 недельная станция в судоходном канале Волга–Каспий близ о-ва Искусственный с отбором проб с горизонтов 0, 3 и 7 м, отбором проб с поверхности на отстаивание и постановкой седиментационных ловушек сроком на 1 сутки на горизонты 3 и 7 м. В период исследований (12–19 октября) максимальные значения концентрации взвеси в пресных водах достигали 30 мг/л . При увеличении солености до 4 епс концентрация взвеси на первой (гравитационной) ступени МФ уменьшалась в пять раз (6 мг/л), возрастала до 16 мг/л при солености 8 епс и далее уменьшалась до 0.8 мг/л в открытом море при солености 10.6 епс. Подобное бимодальное распределение взвеси в МФ характерно для осеннего сезона и наблюдалось нами также в ноябре 2008 г. (29-й рейс НИС “Рифт” [8]) и сентябре 2009 г. (32-й рейс НИС “Рифт” [3]).

Поверхностный горизонт (0–2 м). В поверхностных водах Среднего и Южного Каспия концентрация взвеси варьирует от 0.4 до 0.83 мг/л , достигая своего максимума в районе ПМП, возможно под влиянием сезонного (с мая по октябрь) апвеллинга, расположенного вдоль восточного побережья от п-ва Тюб-Караган до Красноводского п-ва с холодной температурной аномалией у берега.

Водная толща. В водной толще выделяются три зоны, описанные нами ранее [1]. **Верхняя зона** – от поверхности до 40–60 м в зависимости от глубины моря и положения термоклина с четкой стратификацией вод по температуре и наиболее высокими концентрациями взвеси (до 0.81 мг/л). На осевом разрезе выделяется приповерхностный слой повышенных концентраций взвеси на горизонте 10–20 м (рис. 3). В верхней зоне значения концентраций в октябре были ниже величин, полученных в июне этого же года, то есть, вероятно, наблюдается осеннее «затухание» биологической активности. При этом пространственное распределение взвеси более ровное, чем в июне. **Промежуточная зона**, от 40–60 м до дна, практически однородна по всем изученным параметрам, концентрации взвеси минимальны (0.1 мг/л). **Придонная зона** выделяется практически по всему морю, здесь формируется нефелоидный слой, слабый в центральных частях обеих впадин и мощный на склонах этих впадин. В районе ПМП концентрации взвеси достигали 1.2 мг/л .

Концентрации взвеси хорошо согласуются с данными гидрооптического зондирования водной толщи. Коэффициент корреляции составил 0.89 для 57 пар данных.

Исследование вертикальных потоков осадочного вещества. Изучение вертикальных потоков вещества проводилось с использованием седиментационных ловушек, установленных на ПБС. Метод позволяет измерять на разных глубинах моря абсолютные массы осадочного материала, осаждающегося в ловушки. Были подняты 6 поставленных в июне 2012 г. в 39-м рейсе НИС “Рифт” станций [1] и установлено 5 новых станций.

Исследование донных осадков. В ходе рейса отобрано 15 проб донных осадков (слой 0–5 см) дночерпателем Океан-10 и 4 керна осадков 0–40 см (на станции в Дербентской котловине) с помощью мульгикорера Mini Muc K/MT 410 производства KUM, Киль, Германия.

В Среднем Каспии на разрезе у восточного берега (ст. 4124–4136, глубина $<100 \text{ м}$) дночерпательные пробы осадков представлены преимущественно ракушечным материалом (содержание $S_{\text{орг}} < 1\%$). По мере увеличения глубины моря, в пределах изобат 200–300 м, мелкозернистые за-

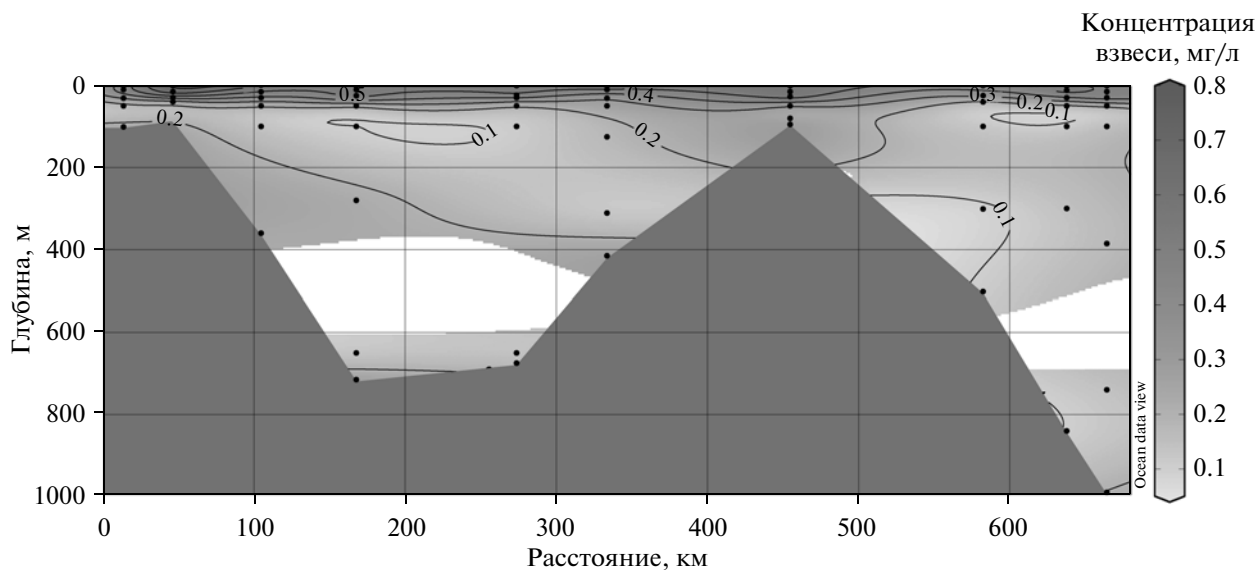


Рис. 3. Распределение водной взвеси на осевом разрезе в Каспийском море.

иленные пески сменяются алевритопелитовыми илами (ст. 4118–4130) с редкими включениями обломков ракуши. Вблизи Апшеронского порога (ст. 4109) в алевритопелитовых илах примесь ракушечного материала достигает 40%. В Дербентской и Южной котловинах в поверхностном слое распространены тонкозернистые пелитовые илы с высоким содержанием $C_{\text{орг}}$ от 3.2 до 2.2% соответственно.

Гидрохимические исследования. Гидрохимический анализ включал определения растворенного кислорода, сероводорода, минерального фосфора, кремния, нитритного, нитратного и аммонийного азота, органических форм азота и фосфора, а также железа.

Анализ распределения гидрохимических характеристик в канале Волга–Каспий показал, что концентрации как минеральных, так и органических форм биогенных элементов были значительно выше наблюдаемых в море. Процентное насыщение кислорода не превышало 90%, а его содержание изменялось от 5.7 до 6.2 мл/л. Наблюдались высокие концентрации растворенного железа (100–180 мкг/л), при этом содержание двухвалентного железа было в два раза выше, чем трехвалентного.

В результате постановки двух суточных станций удалось рассчитать величину чистой продукции на разных горизонтах, которая составила на глубине 0 м – 0.11 гС/м³, 3 м – 0.03 гС/м³, 7 м – 0.00 гС/м³.

Гидрохимические исследования в море выявили резкое обострение гипоксии в Среднем и в Южном Каспии. При этом наблюдалось резкое

обеднение биогенными элементами эвфотического слоя.

Одним из важнейших результатов исследований явилась возможность надежного выделения слоя сероводорода (от дна к поверхности), позволившего выявить в Среднем Каспии мощный (150 м) слой от 650 м до дна, где концентрация сероводорода увеличивалась ко дну до 0.6 мл/л. В Южном Каспии следовые количества сероводорода прослеживались от 750 м до дна. Заметим, что в 1933–1934 гг. при более высоком положении уровня Каспия (–26.5 м) концентрация сероводорода не превышала 0.3 мл/л.

Авторы благодарят академика А.П. Лисицына – руководителя проекта “Система Каспийского моря”, В.Н. Лукашина, И.Г. Пака, капитана и экипаж НИС “Рифт”, а также участников экспедиции: В.А. Артемьева, Д.Ф. Будько, Ю.И. Венцкута, Б.А. Гуреева, А.А. Кондрашова, Н.С. Маторину, С.Д. Облеухова, Р.Б. Полуэктова, М.А. Смирнову, Е.В. Федорова, А.И. Храпко.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 11-05-00456-а и № 12-05-31450-мол_а, Президента РФ № НШ-618.2012.5, программы № 23 Президиума РАН “Трансевропейский меридиональный морской эколого-геохимический разрез” и Программы ОНЗ РАН № 5 “Микро- и наночастицы...”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амбросимов А.К., Кловиткин А.А., Гольдин Ю.А. и др. Комплексные исследования системы Каспийского моря в 39-м рейсе научно-исследова-

- тельского судна “Рифт” // *Океанология*. 2014. Т. 54. № 3. С. 428–432.
2. Амбросимов А.К., Либина Н.В., Корж А.О. Инструментальные наблюдения изменчивости гидрофизического режима Среднего Каспия в июле 2008 года // *Экологические системы и приборы*. 2010. № 9. С. 39–45.
 3. Амбросимов А.К., Лукашин В.Н., Буренков В.И. и др. Комплексные исследования системы Каспийского моря в 32-м рейсе научно-исследовательского судна “Рифт” // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 4. С. 751–757.
 4. Амбросимов А.К., Лукашин В.Н., Либина Н.В. и др. Комплексные исследования системы Каспийского моря в 35-м рейсе научно-исследовательского судна “Рифт” // *Океанология*. 2012. Т. 52. № 1. С. 150–155.
 5. Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н., Политова Н.В. и др. Исследование биогенной и абиогенной частей взвеси дельты реки Волги в период весеннего половодья (май 2008 г.) // *Водные ресурсы*. 2013. Т. 40. № 2. С. 151–164.
 6. Лукашин В.Н., Новигатский А.Н. О химическом составе аэрозолей в приземном слое атмосферы Среднего Каспия зимой и осенью 2005 г. // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 6. С. 813–824.
 7. Duce R.A., Liss P.S., Merrill J.T. et al. The atmospheric input of trace species to the World Ocean // *Global Biogeochemical Cycles*. 1991. V. 5. № 3. P. 193–259.
 8. Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Novigatsky A.N. Distribution of suspended particulate matter and chlorophyll “a” in the Caspian Sea in November 2008 // *International Conference “The Caspian Region: Environmental Consequences of the Climate Change”*. 14–16 October 2010, Moscow, Russia. Proceedings. Moscow: Faculty of Geography, 2010. P. 249–252.
 9. Pol’kin V.V., Kabanov D.M., Panchenko M.V. et al. Results of the investigations of aerosol characteristics over the Caspian Sea during the 29th cruise of the research vessel Rift // *Atmos. Oceanic Opt.* 2009. V. 22. № 6. P. 567–574.

Сдано в набор 24.06.2014 г.	Подписано к печати 09.09.2014 г.	Дата выхода в свет 20 четн.	Формат 60 × 88 ¹ / ₈
Цифровая печать	Усл. печ. л. 18.0	Усл. кр.-отт. 2.7 тыс.	Уч.-изд. л. 18.0
	Тираж 146 экз.	Зак. 605	Цена свободная

Учредители: Российская академия наук,
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Издатель: Российская академия наук. Издательство “Наука”, 117997 Москва, Профсоюзная ул., 90
Оригинал-макет подготовлен МАИК “Наука/Интерпериодика”
Отпечатано в ППП «Типография “Наука”», 121099, Москва, Шубинский пер., 6