

УДК: 551.464.6/.7(262.81)
DOI: 10.7868/S25000640190107

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВЗВЕСИ В ВОДНОЙ ТОЛЩЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ РЕЙСОВ 1989–1990 гг.

© 2019 г. В.В. Ковалев¹, С.Г. Парада², И.В. Рыбин²

Аннотация. Рассмотрено распределение взвеси в водной толще Каспийского моря на основе данных, полученных в рейсах научно-исследовательских судов Каспийского НИИ рыбного хозяйства, выполненных в 1989–1990 гг. до начала геологоразведочных работ и эксплуатации нефтяных месторождений на шельфе Северного Каспия. Установлено, что основные особенности распределения концентраций взвеси в водной толще Каспийского моря коррелируют с климатическими различиями западной и восточной, северной и южной его частей, геоморфологическими особенностями дна и береговой зоны, гидродинамикой и биопродуктивностью водной толщи. Максимальные концентрации взвеси характерны для мелководного Северного Каспия. Здесь наблюдается увеличение абсолютных содержаний взвеси на участках, приуроченных к устьям рек Волга и Урал, и постепенное уменьшение по направлению от прибрежных районов к центральным пространствам этой части моря и в сторону Среднего Каспия. Эти закономерности прослеживаются как в поверхностном, так и в наддонном горизонте. В вертикальном разрезе водной толщи Северного Каспия наблюдается увеличение содержания взвеси от поверхностных к наддонным слоям, что связано с дополнительным поступлением взвеси из донных осадков при их взмучивании. Концентрации взвеси в водной толще Среднего и Южного Каспия заметно ниже, чем в водах Северного Каспия. Отличается и характер распределения взвеси, подчиняющийся циркумконтинентальной зональности. Минимальные концентрации зафиксированы в пелагиали над Дагестанской (Дербентской) глубоководной котловиной, где основным источником взвешенных частиц является фито- и зоопланктон. Повышенные концентрации взвеси сосредоточены в прибрежной зоне. При этом максимальные количества взвеси отмечены у западного побережья, куда с твердым стоком рек поступает большое количество терригенного материала. Отдельные участки с повышенным содержанием взвеси у восточного побережья наблюдаются там, где в условиях подъема к поверхности глубинных вод обычно развивается фитопланктон. В глубоководном Среднем Каспии, в отличие от мелководного Северного, отмечается уменьшение содержания взвеси от поверхностного к наддонному слою водной толщи. Сравнение полученных результатов с данными 1962 г. и 1972 г. показало, что основные закономерности пространственного распределения концентраций водной взвеси Каспийского моря с тех пор в основном сохранились. Предполагается, что полученные результаты могут быть использованы в качестве одного из базовых параметров первичного состояния морской среды для оценки степени воздействия нефтедобывающего комплекса на экосистему Каспийского моря.

Ключевые слова: Каспийское море, водная взвесь, водная толща, нефтедобыча, производственный экологический мониторинг.

DISTRIBUTION OF THE SUSPENSION CONCENTRATION IN THE WATER MASS OF THE CASPIAN SEA BY THE SAILING DATA OF 1989–1990

V.V. Kovalev¹, S.G. Parada², I.V. Rybin²

Abstract. The distribution of suspension in the water mass of the Caspian Sea on the base of data obtained in passages of science-research ships of the Caspian Science-Research Institute of Fishing Management, carried out in 1989–1990, before beginning of geological-prospecting works and exploitation of oil deposits

¹ Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, Институт водного транспорта им. Г.Я. Седова (Sedov Water Transport Institute – the branch of Admiral Ushakov State Maritime University, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Седова, 8

² Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН (Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: parada@ssc-ras.ru

at the North-Caspian shelf has been considered. It was revealed that main peculiarities of distribution of the suspension concentration in the water mass of the Caspian Sea are correlated with climatic distinctions of its Western and Eastern, Northern and Southern parts, geomorphological features of bottom and shore zone, hydrodynamics and bioproductivity of the water mass. Maximal suspension concentrations are typical for the shallow Northern Caspian. There is an increase of absolute contents of suspension at the areas related to the mouths of the rivers Volga and Ural, and gradual decrease in direction from coastal regions to the central areas of this part of the sea, and to the side of the Middle Caspian. These regularities are fixed both in superficial and in over-bottom horizons. In vertical section of the North-Caspian water mass, the increase of suspension contents from superficial to over-bottom seams is observed, what is connected with additional income of suspension from the bottom sediments at their stirring up. The suspension concentrations in the water mass of the Middle and Southern Caspian are noticeably lower than in the waters of the Northern Caspian. The character of suspension distribution, submitted to the circumcontinental zoning is also different. Minimal concentrations are located in the pelagic zone over the Dagestan (Derbent) deep-water trough, where the main source of suspended particles is phyto- and zooplankton. Increased concentrations of suspension are concentrated in the coastal zone. Herewith, the maximal amounts of suspension are marked at the Western shore, where enters great amount of terrigenous material with the flow of solid matter. Separate areas of increased contents of suspension at the Eastern shore are observed in the regions where the phytoplankton usually develops in the condition of the depth waters raising to the surface. In the deep Middle Caspian, in contradiction to the shallow Northern one, the decrease of suspension contents from superficial to over-bottom seam of the water mass is observed. The comparison of the obtained results with the data of 1962 and 1972 has shown that main regularities of spatial distribution of the Caspian Sea aqueous suspension from these times remained basically constant. It is supposed that the obtained results can be used as one of the basic parameters of primary conditions of the marine environment for estimation of the impact degree of the oil-recovery complex on the Caspian Sea ecosystem.

Keywords: Caspian Sea, water suspension, water mass, oil recovery, environmental monitoring.

ВВЕДЕНИЕ

Каспийское море является уникальной экологической системой. В связи с этим в Российской Федерации действовал полный запрет на проведение каких-либо геологоразведочных работ на примыкающем к России шельфе Каспия. Одним из главных условий допуска к работе на шельфе было требование государства по жесткому соблюдению экологических норм и постоянный мониторинг состояния морской среды. Выполнение таких требований гарантировала нефтедобывающая компания «ЛУКОЙЛ» (НК «ЛУКОЙЛ»). С 1995 г. она приступила к геолого-геофизическим исследованиям на шельфе Северного Каспия. Это привело к открытию восьми месторождений, в том числе шести крупнейших по запасам нефти. С 2005 г. НК «ЛУКОЙЛ» приступила к освоению месторождения им. Ю. Корчагина, а с 2016 г. – месторождения им. В. Филановского.

Для соблюдения природоохранных норм НК «ЛУКОЙЛ» разработала систему производственного экологического мониторинга (ПЭМ) для всех этапов своей деятельности на Каспии – от геолого-геофизических исследований до буровых работ, добычи и транспортировки нефти [1]. В качестве одной из подсистем ПЭМ включает комплексную оценку техногенного воздействия

нефтегазодобывающего комплекса на элементы природной среды Северного Каспия, в том числе на основе ГИС-технологий и математического моделирования [2]. При этом для оценки степени влияния техногенного воздействия нефтегазодобывающего комплекса на объекты морской среды необходимо знание параметров их первичного (до появления техногенного фактора) состояния.

Одним из факторов, определяющих пространственно-временную изменчивость контролируемых в процессе ПЭМ показателей, является концентрация взвешенного в морской воде вещества (взвеси). Взвесь представляет важное звено в цепи глобального переноса минеральных и органических частиц размером от 0,1 мкм до 1 мм, имеющих разнообразное происхождение. Эти частицы, поступая из различных источников, содержат различные наборы химических элементов, могут накапливать на себе загрязняющие вещества и переносить их на большие расстояния. Знание особенностей пространственного распределения концентраций взвеси и закономерностей ее поведения в водной толще является необходимым при седиментологических исследованиях, оценке источников загрязнения и экологическом мониторинге морской среды. Однако данные о пространственном распределении взвеси (и связанных с ней химических элементов и загрязняющих веществ) в водной

толще Каспийского моря, получаемые после начала освоения шельфа в 1995 г. [3–5 и др.] могут нести в себе техногенную компоненту, связанную с возможным влиянием геологоразведочных и эксплуатационных работ на шельфе Северного Каспия. Так, например, на основе данных экспедиции 2015 г. по компонентам водной взвеси установлены признаки нефтяного загрязнения [6]. Таким образом, изучение пространственного распределения взвеси в водной толще Каспийского моря до начала геологоразведочных и эксплуатационных работ (до 1995 г.) является актуальной задачей, решение которой необходимо для оценки базового состояния морской среды и дальнейшего экологического мониторинга в связи с расширением геологоразведочных работ и вовлечением в освоение нефтяных месторождений.

Наиболее известные работы по изучению распределения взвеси в водной толще Каспийского моря в прошлом веке были выполнены Д.Е. Гершановичем и З.Е. Грундюльсом по данным научно-исследовательских рейсов 1959 г. (для Северного Каспия) [7] и Е.А. Яблонской по данным научно-исследовательских рейсов 1962 г. (для Среднего и Южного Каспия) [8]. Эти исследования были нацелены в основном на выявление закономерностей распределения органических веществ как пищевого материала для бентосных организмов, способных составить кормовую базу многих промысловых рыб.

Следующая работа подобного типа выполнена Т.А. Хачатуровой [9] по результатам рейса 1971 г. в Средний и Южный Каспий. При этом только на 15 из 34 станций пробы были отобраны из различных горизонтов водной толщи. На 29 станциях пробы отобраны только из поверхностного горизонта. Установлено, что содержание взвеси уменьшается по мере удаления от прибрежных районов в открытое море. Минимальные концентрации взвеси отмечены в водах глубоководных впадин при некотором увеличении в придонном горизонте. Воды над западными склонами впадин содержали больше взвеси, чем воды над восточными склонами.

Позже изучение распределения взвеси для всего Каспия проведено А.Б. Зинковским по данным научно-исследовательских рейсов 1981–1983 гг. [10]. Полученные с помощью усовершенствованной аппаратуры натурные данные позволили по-новому представить количественное распределение взвешенных веществ в Каспийском море, включая его глубоководную часть. Согласно оценкам

А.Б. Зинковского [10] основным источником взвеси в водах Каспийского моря являлась первичная продукция фитопланктона (138 млн т в год), хемогенное образование частиц карбоната кальция (32 млн т в год), речной сток (44 млн т в год), эоловое поступление (42 млн т в год), вулканический материал (6 млн т в год), абразионный материал (2 млн т в год), что составляет в сумме 264 млн т в год. Из них, по данным рейсов 1983 г., в водах Каспия оставалось во взвешенном состоянии 73 млн т, то есть менее 1/3 от поступающего извне и продуцируемого в водоеме количества, что свидетельствует о высокой интенсивности обновления взвеси [11]. Однако частные значения концентраций взвеси оказались заниженными по сравнению с данными предыдущих исследований. Возможно, это связано с систематической погрешностью при отборе проб с помощью «усовершенствованной аппаратуры».

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В настоящей статье приведены результаты изучения распределения взвеси в водной толще Северного, Среднего и частично Южного Каспия на основе данных, полученных в рейсах научно-исследовательских судов Каспийского НИИ рыбного хозяйства в 1989–1990 гг. За указанный период было отобрано 514 проб воды из поверхностного, придонного и промежуточных слоев водной толщи (рис. 1). Отбор проб производили по стандартной методике с помощью винипластового батометра послойно через 50–100 м, в зависимости от глубины дна в данном месте. Концентрацию взвеси определяли непосредственно на судне методом фильтрации под вакуумом 0,4 атм. с помощью мембранных фильтров № 3 с размером пор 0,7 мкм с дальнейшим взвешиванием собранного на фильтре сухого остатка. Выделены четыре класса концентрации взвеси в водах Каспийского моря: 1 – менее 5 мг/л; 2 – 5–10 мг/л; 3 – 10–30 мг/л и 4 – более 30 мг/л. Анализ пространственного распределения произведен путем нанесения на карту этих результатов отдельно по поверхностному слою водной толщи, и отдельно – по наддонному слою. Анализ распределения содержаний взвеси по вертикали водной толщи осуществлен на разрезах по линиям рейсов. Качественный состав взвеси определяли под микроскопом.

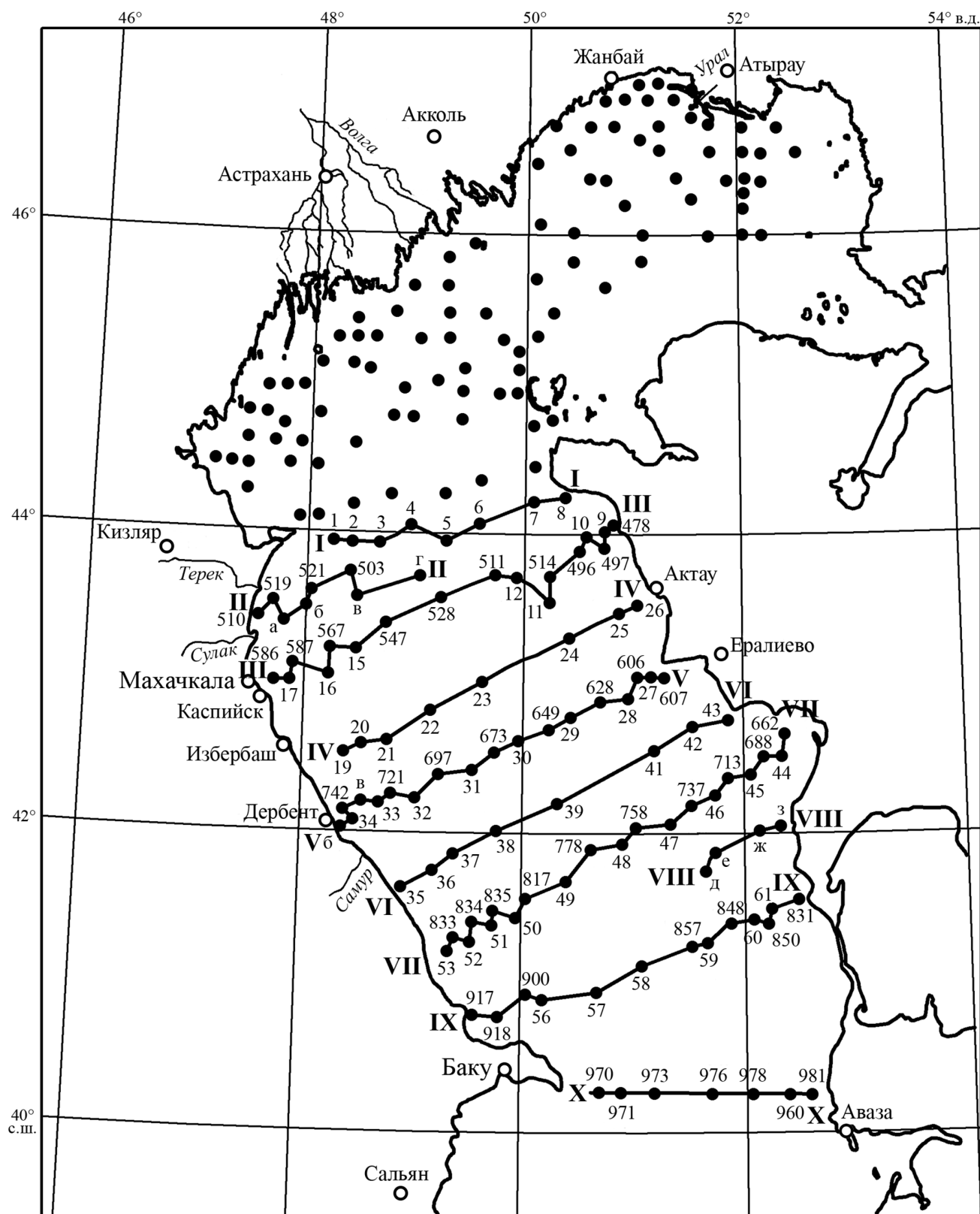


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб в Каспийском море в 1989–1990 гг. Линии обозначают положение разрезов, римские цифры – номера разрезов, точки – положение станций отбора проб, числа у точек – номера станций, буквы у точек – станции дополнительного отбора проб.

Fig. 1. Scheme of location of the sampling points in the Caspian Sea in 1989–1990. Lines indicate the position of the sections, Roman numerals – section numbers, points – position of sampling stations, numbers at the points – numbers of stations, the letters at the points – additional sampling stations.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В состав взвеси помимо минеральных частиц, выносимых с территории суши, входят аллохтонные и автохтонные планктонные организмы, их фрагменты, органно-минеральные агрегаты, а также хемогенные образования, возникшие в специфических физико-химических условиях морской среды. Основная масса взвешенного вещества представлена аморфными детритными комками размером 0,2–0,5 мм. С глубиной они уменьшаются из-за интенсивного растворения и частичного разложения. Минеральная часть проб состоит из терригенных частиц и карбонатов с преобладанием алевроитовой и пелитовой фракций. Минеральный состав частиц взвеси представлен кварцем, полевыми шпатами, обломками горных пород, аутигенным кальцитом, глинистыми минералами. Значительную роль в составе взвешенного материала играют органические компоненты, среди которых преобладает планктоногенный детрит. В различных частях исследуемой акватории моря соотношения слагаемых форм взвешенного материала меняются в зависимости от близости того или иного типа источника и гидродинамической активности.

Результаты количественного определения взвеси в воде Каспийского моря по гидродинамическим зонам приведены в таблице 1.

В соответствии с таблицей 1 заметно обособленной является мелководная зона Северного Каспия с глубинами не более 20 м. Здесь концентрации взвеси в морской воде колеблются в широких пределах и достигают самых больших для каспийских вод значений – 172,4 мг/л.

Для Среднего Каспия выделяются три гидродинамические зоны. Первая – прибрежная (от береговой линии до изобаты 50 м) – является зоной интенсивного волнового воздействия на берег и донные осадки. Сюда поступает наибольшее количество терригенного материала с твердым стоком рек и эоловыми наносами. Здесь отмечены самые высокие для Среднего Каспия концентрации взвеси, достигающие 43,6 мг/л. В этой зоне происходит уменьшение среднего содержания взвешенного вещества от 6,5 мг/л на поверхности до 4,1 мг/л у дна. Это связано с поступлением сюда наибольшего количества кластического материала реками и ветром, коагуляции коллоидов и образованием хемогенных частиц при впадении кислых и нейтральных речных вод в щелочную среду морской

воды. В вертикальном разрезе водной толщи максимальные концентрации взвешенного вещества наблюдаются до слоя скачка температур. Примерно с глубины 15–20 м намечается переход к снижению количества взвеси.

Вторая зона переходная, представлена областью внутреннего шельфа (изобаты от 50 до 200 м). Гидродинамическая активность обусловлена в основном господствующими течениями и конвергенцией по периферии исследуемой части моря. Концентрации взвеси достигают максимальных значений в поверхностном (20,0 мг/л) слое водной толщи при достаточно высоком среднем – 4,3 мг/л. Это связано с тем, что на верхние горизонты водной толщи в этой зоне все еще сильное влияние оказывает поступление терригенного материала с суши. Но постепенно, по мере удаления от прибрежных районов в сторону открытых пространств моря, начинает возрастать процент органической составляющей во взвеси. В процессе отмирания планктонных организмов и опускания в глубинные слои под влиянием конвергенции происходит распад и минерализация органического вещества, что приводит к снижению общего содержания взвеси. Уже на глубине 50 м содержание составляет 3,1 мг/л, а на глубине 100 м – 2,3 мг/л. Увеличение концентрации взвеси в наддонном горизонте (в среднем до 4,1 мг/л) может быть связано с постоянным взмучиванием пелитовых и алевроитовых частиц осадков придонными течениями.

Третья зона – это область глубоководной впадины (от 200 м до дна, расположенного ниже изобаты 700 м). Здесь концентрации взвешенного вещества определяются интенсивностью развития автохтонного фито- и зоопланктона и дивергенции вод из глубоководных слоев. Еще более сложным представляется поведение взвеси в центральной глубоководной области Среднего Каспия. В верхнем горизонте этой зоны роль фитопланктона значительно возрастает по сравнению с минеральной составляющей взвешенного материала. Это главным образом автохтонные частицы фито- и зоопланктона. Среднее значение концентрации всего взвешенного материала равно 4,2 мг/л. На глубине 50 м происходит уменьшение концентрации взвеси до 3,3 мг/л за счет деструкции органического вещества. В промежуточном слое от 100 до 400 м общее содержание взвеси увеличивается. Максимум приходится на глубины 100–200 м и составляет в среднем на различных горизонтах от 3,4 до 3,9 мг/л. Это

Таблица 1. Содержание взвеси по гидродинамическим зонам и горизонтам Северного и Среднего Каспия (мг/л) по результатам рейсов 1989–1990 гг. В числителе пределы колебания содержаний, в знаменателе – среднее значение
Table 1. Suspension contents at hydrodynamic zones and horizons of the Northern and Middle Caspian (mg/l) according to the results of passages August-September, 1989–1990. Numerator – limits of fluctuation, denominator – mean value

Зона Zone	Горизонт Horizon	Количество определений Number of definitions	Концентрация взвеси, мг/л Suspension concentration, mg/l
Северный Каспий. Мелководная зона / The Northern Caspian. Shallow water zone	поверхностный superficial	99	$\frac{2,4-06,8}{19,4}$
	наддонный over-bottom	102	$\frac{2,4-172,4}{22,9}$
	Среднее по зоне Mean by zone	201	21,2
Средний Каспий. Прибрежная, гидродинамически активная (до 50 м) / The Middle Caspian. Coastal, hydrodynamically active (up to 50 m)	поверхностный superficial	54	$\frac{0,6-43,6}{6,5}$
	наддонный over-bottom	49	$\frac{0,2-17,2}{4,1}$
	Среднее по зоне / Mean by zone	103	5,3
Средний Каспий. Шельфовая (изобаты от 50 до 200 м) / The Middle Caspian. Shelf (isobaths from 50 to 200 m)	поверхностный superficial	31	$\frac{0,4-20,0}{4,3}$
	50 м / 50 m	24	$\frac{1,0-16,4}{3,1}$
	100 м / 100 m	7	$\frac{1,4-3,2}{2,3}$
	наддонный over-bottom	22	$\frac{0,8-18,8}{4,1}$
	Среднее по зоне Mean by zone	84	3,45
Средний Каспий. Центральная, халистатическая (от изобаты 200 м до дна глубоководной впадины) / The Middle Caspian. Central, chalistatic (from the isobath 200 m up to the bottom of deep-water cavity)	поверхностный superficial	25	$\frac{0,6-10,6}{4,2}$
	50 м / 50 m	21	$\frac{1,8-12,8}{3,3}$
	100 м / 100 m	21	$\frac{1,2-18,7}{3,9}$
	200 м / 200 m	14	$\frac{1,1-13,0}{3,8}$
	300 м / 300 m	14	$\frac{0,9-28,3}{3,5}$
	400 м / 400 m	7	$\frac{1,4-16,0}{3,4}$
	500 м / 500 m	9	$\frac{1,6-4,3}{2,6}$
	600 м / 600 m	3	$\frac{2,0-2,6}{2,4}$
	700 м / 700 m	4	$\frac{2,2-4,2}{3,4}$
	наддонный over-bottom	8	$\frac{0,8-12,8}{4,0}$
Среднее по зоне Mean by zone		126	3,45

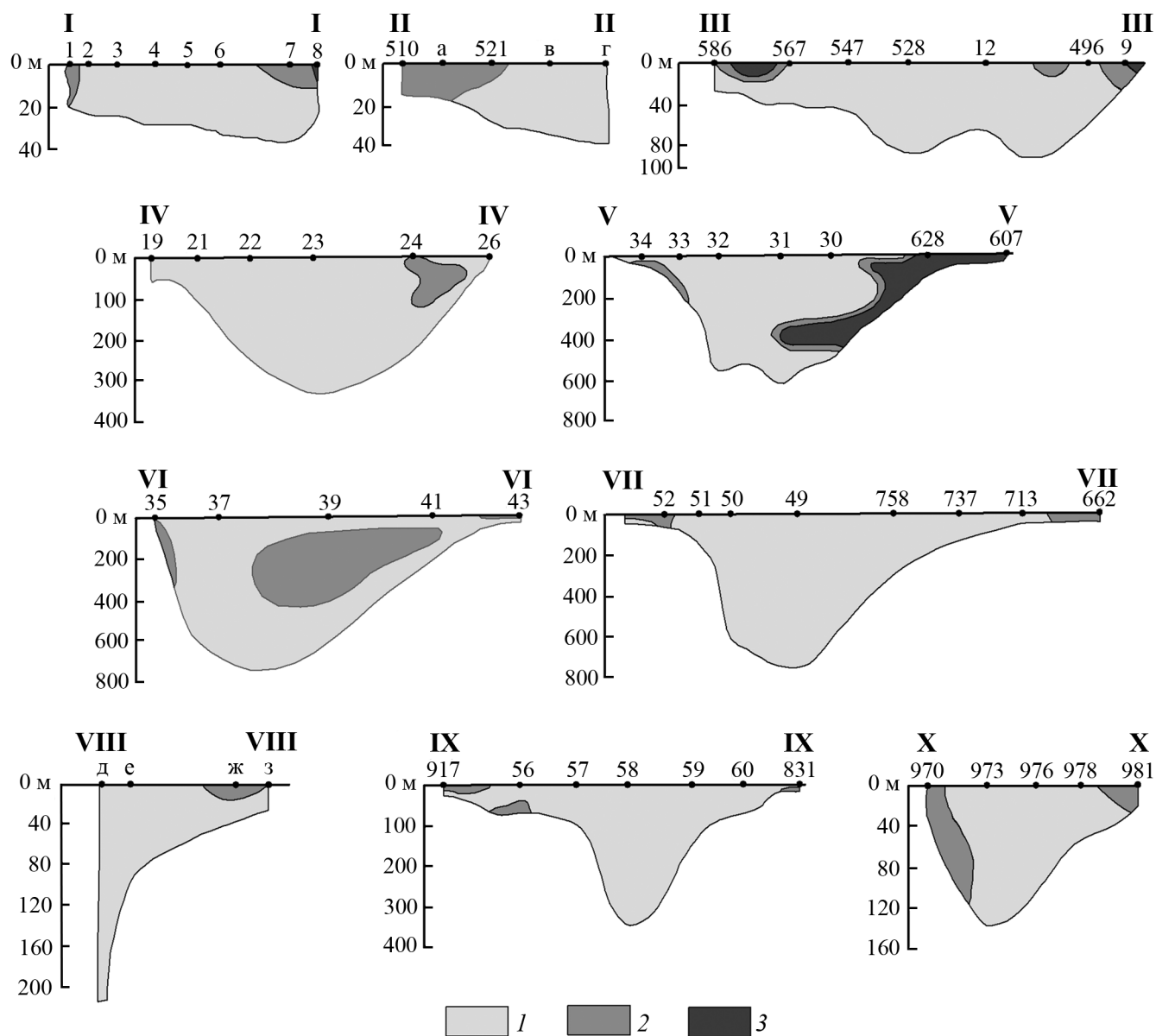


Рис. 2. Распределение взвеси в вертикальных разрезах водной толщи Каспийского моря по обозначенным на рисунке 1 линиям, мг/л: 1 – менее 5; 2 – 5–10; 3 – 10–30.

Fig. 2. Distribution of suspension in the vertical sections of the water mass of the Caspian Sea by marked at the Fig. 1 lines, mg/l: 1 – less than 5; 2 – 5–10; 3 – 10–30.

увеличение связано с образованием гидроокислов железа и марганца, а также с развитием некоторых глубоководных видов зоопланктона (веслоногих рачков и мизид). Благоприятными факторами, обусловившими их распространение на данных глубинах, являются, с одной стороны, детрит фитопланктона, опускающийся в нижние горизонты моря, с другой стороны – дивергенция глубинных вод, несущих в верхние слои питательные биогенные вещества. В батипелагиали (от 500 до 700 м) происходит уменьшение средних концентраций взвешенного материала (до 2,6–3,4 мг/л) из-за ча-

стичного разрушения гидроокислов железа и марганца, отмирания и разложения зоопланктона. В наддонном горизонте среднее содержание взвеси возрастает до 4,0 мг/л.

В соответствии с рисунком 2 для подавляющей части водной толщи Среднего Каспия преобладающей является концентрация взвеси менее 5 мг/л. Только на разрезе по линии VI–VI в промежуточном слое от 100 до 400 м выделяется относительно большой ареал повышенных содержаний взвешенного вещества (5–10 мг/л). Происхождение этого ареала можно объяснить дивергенцией в процессе

циклональной циркуляции, расслоением и подтоком обогащенных взвесью водных масс с периферии исследуемой акватории. С другой стороны, причиной появления такого ареала могло стать развитие некоторых глубоководных видов зоопланктона (копепод и мизид).

Если в водной толще Северного Каспия от поверхностного к наддонному слою намечается увеличение количества взвеси (от 19,4 до 22,2 мг/л), что обеспечивается в основном взмучиванием на мелководье донных осадков, то в глубоководной части Среднего Каспия распределение взвеси в вертикальном разрезе характеризуется противоположной тенденцией. Здесь уменьшение средних концентраций взвеси от 5 мг/л в поверхностном слое до 4,1 мг/л в наддонном горизонте обусловлено общим ее снижением по мере выпадения в осадок взвешенного материала.

В соответствии с рисунком 3 Северный Каспий выделяется повышенными содержаниями взвеси в поверхностном слое, превышающем 5 мг/л, что связано с преобладанием дельтового типа берегов. Наиболее высокие концентрации взвеси, превышающие 30 мг/л, связаны с обширным участком предустьевое пространства р. Волги в пределах Волго-Каспийской аккумулятивной равнины и небольшому по площади участку предустьевой части р. Урал, приуроченному к началу Уральской бороздины. Очевидно, что такие высокие концентрации взвеси связаны с огромными массами терригенного материала, поступающего с речным стоком Волги и Урала в акваторию Северного Каспия. Далее в южном направлении концентрации взвеси постепенно уменьшаются. В районе Кулагинской террасы и Мангышлакского порога они составляют 5–10 мг/л, и далее, в районе Аграханской террасы, в пределах уже Среднего Каспия, становятся менее 5 мг/л.

Концентрации менее 5 мг/л характерны для большей части акватории Среднего и изученной нами части Южного Каспия над его глубоководными котловинами. Более высокие концентрации (5–10 мг/л) приурочены к водам шельфовой зоны террас западной части Среднего Каспия – Сегендыкской, Казахской, Красноводской. В восточной его части такие концентрации характерны для вод поверхностного горизонта над Самурской террасой и Апшерон-Прибалханским порогом, для восточной части Аграханской террасы.

В водах поверхностного горизонта Среднего Каспия частные значения концентрации взвеси уста-

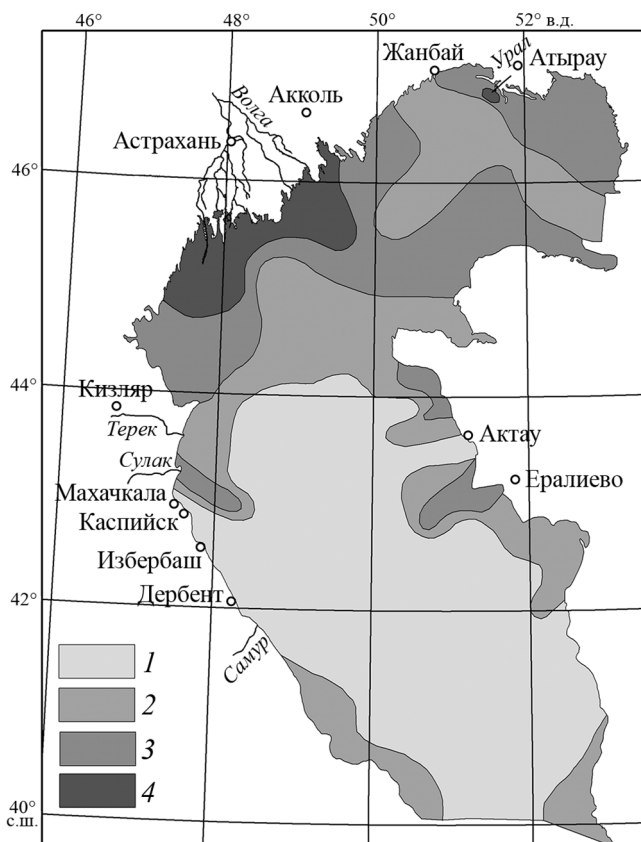


Рис. 3. Распределение взвеси в поверхностном слое Каспийского моря, мг/л: 1 – менее 5; 2 – 5–10; 3 – 10–30; 4 – более 30.

Fig. 3. Distribution of suspension in the superficial seam of the water mass of the Caspian Sea, mg/l: 1 – less than 5; 2 – 5–10; 3 – 10–30; 4 – more than 30.

новлены в пределах 0,4–21,2 мг/л. В соответствии с рисунком 2 выделяются три относительно небольших участка с максимальными концентрациями взвеси (10–30 мг/л). Один приурочен к приустьевой части рек Терек и Сулак. Второй располагается над северной частью Сегендыкской террасы, примыкающей к побережью полуострова Тюб-Караган (от мыса Урдюк до мыса Сагындык). Третий приурочен к возвышенности Апшеронского архипелага.

Высокие содержания взвешенного вещества в поверхностном горизонте на участке от Аграханского полуострова до Махачкалы связаны с влиянием Северо-Каспийского течения и р. Сулак, поставляющей терригенный материал. Максимальные значения взвеси для данного района достигают 21,2 мг/л. По-видимому, основной причиной обогащения взвесью морских вод, омывающих западное побережье Среднего Каспия, является течение, приносящее тонкий кластический материал из Северного Каспия, а также поступление продуктов разрушения горных пород с речным стоком и абразией берегов Дагестана и Азербайджана. Считает-

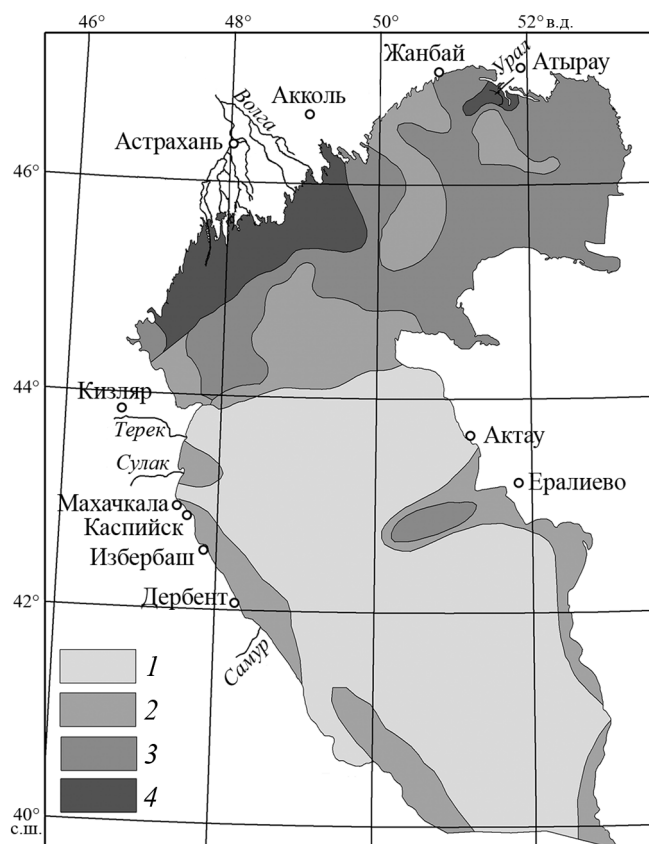


Рис. 4. Распределение взвеси в наддонном слое Каспийского моря, мг/л: 1 – менее 5; 2 – 5–10; 3 – 10–30; 4 – более 30.

Fig. 4. Distribution of suspension in the over-bottom seam of the water mass of the Caspian Sea, mg/l: 1 – less than 5; 2 – 5–10; 3 – 10–30; 4 – more than 30.

ся, что роль абразии в седиментационном балансе моря невелика и в прибрежной зоне основным источником взвеси является взмученный с глубин до 40–50 м материал современных переотложенных осадков [11; 12]. Однако периодические изменения уровня Каспийского моря могли приводить к интенсификации абразии и увеличению объемов поступления взвешенного материала [13], что следует учитывать в расчетах баланса взвеси. Повышенные концентрации взвеси в водах над Самурской террасой и Апшерон-Прибалханским порогом связаны, скорее всего, с выносом малыми реками терригенных частиц и развитием некоторых видов планктонных организмов.

Увеличение количества взвеси у восточного побережья Среднего Каспия связано с поступлением эолового материала из прилегающих песчаных пустынь. Немаловажная роль принадлежит развитию зоопланктона в районах подъема холодных глубинных вод, а также поступлению взвеси с Южно-Каспийским течением.

В соответствии с рисунком 4 характер площадного распределения концентраций взвеси в наддонном слое вод Каспийского моря в общих чертах соответствует распределению концентраций взвеси в поверхностном слое.

Максимальные содержания взвеси (более 30 мг/л) приурочены к предустьевым пространствам р. Волги и р. Урал в Северном Каспии. При этом в приустьевой зоне р. Урал площадь их больше, чем в поверхностном горизонте. В этой зоне также увеличивается область распространения концентраций взвеси 10–30 мг/л.

Как в поверхностном, так и в наддонном горизонте Среднего Каспия размещение основных ареалов повышенных концентраций взвеси фактически приурочено к одним и тем же местам прибрежной зоны. Вдоль западного и восточного берегов прослеживается узкая полоса повышенных значений взвешенного вещества – 5–10 мг/л. Только в единственном месте, приуроченном к возвышенности Апшеронского архипелага, далеко в центральную часть моря вдается ареал относительно высоких содержаний взвеси (10–30 мг/л). Происхождение этого ареала больше связано с процессом взмучивания современных осадков на мелководье, чем с эоловым поступлением минеральных частиц. Западное направление переноса в данном месте определяется одной из придонных ветвей циклонического течения. В основном же большую часть пространства наддонного горизонта Среднего Каспия занимают воды с минимальными концентрациями взвешенного вещества (менее 5 мг/л).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные особенности распределения концентраций взвеси в водной толще Каспийского моря коррелируют с климатическими различиями западной и восточной, северной и южной его частей, геоморфологическими особенностями дна и береговой зоны, гидродинамикой и биопродуктивностью водной толщи.

Максимальные концентрации взвеси характерны для мелководного Северного Каспия. Здесь наблюдается увеличение абсолютных концентраций взвеси на участках, приуроченных к главным источникам поступления осадочного материала – рекам (прежде всего р. Волги), и постепенное уменьшение по направлению от прибрежных районов к центральным пространствам этой части моря

и в сторону Среднего Каспия. Эти закономерности прослеживаются как в поверхностном, так и в наддонном горизонте. В вертикальном разрезе наблюдается увеличение содержания взвеси от поверхностных к наддонным слоям водной толщи, что связано с дополнительным поступлением взвеси из донных осадков при их взмучивании.

Концентрации взвеси в водной толще Среднего Каспия заметно ниже, чем в водах Северного Каспия. Отличается и характер распределения взвеси, подчиняющийся циркумконтинентальной зональности. Минимальные концентрации характерны для пелагиали над Дагестанской (Дербентской) глубоководной котловиной, где основным источником взвешенных частиц является фито- и зоопланктон. Повышенные концентрации взвеси сосредотачива-

ются в прибрежной зоне. При этом максимальные количества взвеси отмечены у западного побережья, куда с твердым стоком рек поступает большое количество терригенного материала. Отдельные участки с повышенными содержаниями взвеси у восточного побережья наблюдаются там, где в условиях подъема к поверхности глубинных вод обычно развивается фитопланктон. В глубоководном Среднем Каспии, в отличие от мелководного Северного, отмечается уменьшение содержания взвеси от поверхностного к наддонному слою водной толщи.

Сравнение полученных результатов с данными 1962 г. и 1972 г. показало, что основные закономерности пространственного распределения концентраций водной взвеси Каспийского моря с тех пор в основном сохранились.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев Н.М. 2006. Нефть чистой воды. *Нефть России*. 9: 86–89.
2. Матишов Г.Г., Бердников С.В., Степаньян О.В., Курапов А.А., Архипова О.Е., Сорокина В.В., Цыганкова А.Е., Дашкевич Л.В., Поважный В.В., Бирюкова С.В., Кулыгин В.В., Сапрыгин В.В., Яицкая Н.А. 2009. Разработка инструментария для комплексной оценки воздействия на экосистему Северного Каспия при освоении морских нефтегазовых месторождений. *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 1: 5–20.
3. Klyuvitkin A.A., Ambrosimov A.K., Kravchishina M.D., Dukhova L.A., Kozina N.V., Korzh A.O., Serebrennikova E.A., Budko D.F. 2015. Comprehensive study of the Caspian Sea system during the second cruise of the research vessel *Nikifor Shurekov*. *Oceanology*. 55(2): 311–314. doi: 10.1134/S000143701502006X
4. Kravchishina M.D., Lein A.Yu., Pautova L.A., Klyuvitkin A.A., Politova N.V., Novigatsky A.N., Silkin V.A. 2016. Vertical distribution of suspended particulate matter in the Caspian Sea in early summer. *Oceanology*. 56(6): 819–836. doi: 10.1134/S0001437016050064
5. Кравчишина М.Д., Клювиткин А.А., Лукашин В.Н., Политова Н.В., Новигатский А.Н., Лисицын А.П. 2018. Распределение взвешенного вещества в Каспийском море. *Метеорология и гидрология*. 10: 96–107.
6. Ambrosimov A.K., Klyuvitkina A.A., Filippov A.S., Kozina N.V., Serebrennikova E.A., Bondar' A.V., Nemirovskaya I.A., Zolotykh E.O., Bud'ko D.F. 2017. Study of the North and Central Caspian on the October 2015 expedition of the R/V *Nikifor Shurekov*. *Oceanology*. 57(5): 756–758. doi: 10.1134/S0001437017050010
7. Гершанович Д.Е., Грундульс З.Е. 1969. Взвешенные вещества в водах Северного Каспия. *Труды ВНИРО*. 65: 57–84.
8. Яблонская Е.А. 1969. Водная взвесь как пищевой материал для организмов бентоса Каспийского моря. *Труды ВНИРО*. 65: 85–147.

9. Хачатурова Т.А. 1972. Содержание взвешенных веществ в водах Среднего и Южного Каспия. *Труды ВНИРО*. 90: 7–17.
10. Зинковский А.Б. 1985. К вопросу об изменчивости взвешенных веществ Северного Каспия. В кн.: *Гидрофизика Северного Каспия*. М., Наука: 80–91.
11. Гершанович Д.Е., Зинковский А.Б. 1987. Новые данные о взвешенных веществах Каспийского моря. *Океанология*. 27(1): 100–107.
12. Хрусталев Ю.П. 1978. *Закономерности современного осадконакопления в Северном Каспии*. Ростов н/Д, изд-во РГУ: 208 с.
13. Ковалев В.В., Парада С.Г. 2013. Геологические аспекты современных изменений уровня Каспийского моря. *Вестник Южного научного центра*. 9(2): 38–46.

REFERENCES

1. Nikolaev N.M. 2006. [Clean water oil]. *Neft' Rossii*. 9: 86–89. (In Russian).
2. Matishov G., Berdnikov S., Stepan'yan O., Kurapov A., Arkhipova O., Sorokina V., Tsygankova A., Dashkevitch L., Povazhny V., Biryukova S., Kulyghin V., Sapryghin V., Yaitskaya N. 2009. [Software tools designing for integrated assessment of impact on the ecosystem of the North Caspy under the development of offshore oil and gas fields]. *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse*. 1: 5–20. (In Russian).
3. Klyuvitkin A.A., Ambrosimov A.K., Kravchishina M.D., Dukhova L.A., Kozina N.V., Korzh A.O., Serebrennikova E.A., Budko D.F. 2015. Comprehensive study of the Caspian Sea system during the second cruise of the research vessel *Nikifor Shurekov*. *Oceanology*. 55(2): 311–314. doi: 10.1134/S000143701502006X
4. Kravchishina M.D., Lein A.Yu., Pautova L.A., Klyuvitkin A.A., Politova N.V., Novigatsky A.N., Silkin V.A. 2016. Vertical distribution of suspended particulate matter in the Caspian Sea in early summer. *Oceanology*. 56(6): 819–836. doi: 10.1134/S0001437016050064

5. Kravchishina M.D., Klyuvitkin A.A., Lukashin V.N., Politova N.V., Novigatsky A.N., Lisitsyn A.P. 2018. Distribution of suspended particulate matter in the Caspian Sea. *Russian Meteorology and Hydrology*. 43(10): 697–705. doi: 10.3103/S1068373918100096
6. Ambrosimov A.K., Klyuvitkina A.A., Filippov A.S., Kozina N.V., Serebrennikova E.A., Bondar' A.V., Nemirovskaya I.A., Zolotikh E.O., Bud'ko D.F. 2017. Study of the North and Central Caspian on the October 2015 expedition of the R/V *Nikifor Shurekov*. *Oceanology*. 57(5): 756–758. doi: 10.1134/S0001437017050010
7. Gershanovich D.E., Grundul's Z.E. 1969. [Suspended solids in the waters of the Northern Caspian]. *Trudy VNIRO*. 65: 57–84. (In Russian).
8. Yablonskaya E.A. 1969. [Water suspension as food material for benthic organisms of the Caspian Sea]. *Trudy VNIRO*. 65: 85–147. (In Russian).
9. Hachaturova T.A. 1972. [Suspended solids content in the waters of the Middle and Southern Caspian]. *Trudy VNIRO*. 90: 7–17. (In Russian).
10. Zinkovskiy A.B. 1985. [On the question of variability of suspended substances of the Northern Caspian]. In: *Gidrofizika Severnogo Kaspiya*. [Hydrophysics of the Northern Caspian Sea]. Moscow, Nauka: 80–91. (In Russian).
11. Gershanovich D.E., Zinkovskiy A.B. 1987. [New data on suspended substances of the Caspian Sea]. *Okeanologiya*. 27(1): 100–107. (In Russian).
12. Khrustalev Yu.P. 1978. *Zakonomernosti sovremennogo osadkonakopleniya v Severnom Kaspii*. [Patterns of modern sedimentation in the Northern Caspian]. Rostov-on-Don, Rostov State University: 208 p. (In Russian).
13. Kovalev V.V., Parada S.G. 2013. [Geological aspects of the current changes of the Caspian Sea level]. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra*. 9(2): 38–46. (In Russian).

Поступила 10.01.2019