
ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА
ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

УДК: 551.463.8/546.72

DOI: [10.46698/VNC.2021.48.82.009](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.48.82.009)

Оригинальная статья

Особенности распределения взвешенной формы железа в водной толще Каспийского моря

В.В. Ковалев^{1, 2}, К.Ю. Гамбург³

¹Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Седова, д. 8, e-mail: kovalev-45@mail.ru;

²Южный федеральный университет, Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, д. 105/42

³ФГБУН ФИЦ «Южный научный центр РАН», Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: koriellene@yandex.ru

Статья поступила: 21.10.2021, после рецензирования: 22.11.2021, принята к публикации: 27.11.2021

Резюме: Статья посвящена изучению распределения железа в водной взвеси Среднего Каспия. **Актуальность работы** определяется необходимостью оценки естественного состояния морской среды и фиксации ее базового состояния (в том числе различных форм химических элементов) для дальнейшего использования с целью мониторинга экологической ситуации на шельфе Каспийского моря в условиях интенсификации геологоразведочных работ и разработки месторождений нефти. **Цель работы.** Установить характерные особенности поведения взвешенного железа в водах Среднего Каспия. **Материалы и методы работы.** Изучался материал, отобранный в 1989-1990 годах в ходе выполнения рейсов исследовательских судов, принадлежащих Каспийскому НИИ рыбного хозяйства, до начала освоения нефтегазовых месторождений. Он представлен отфильтрованными частицами взвеси из 178 проб воды, взятых из различных слоев водной толщи на 63 станциях. Определение содержания железа проводилось на спектрографе PGS-2 способом испарения. **Результаты работы.** Минимальные концентрации взвешенной формы железа в поверхностном слое водной толщи установлены на участке внутреннего шельфа и подводного склона котловины Среднего Каспия, что связано с выносом твердых частиц дрейфовыми течениями. Концентрации взвешенной формы железа в поверхностном слое возрастают к середине моря, что обусловлено стягиванием взвешенных частиц центростремительными силами циклонального течения. Придонный слой отличается повышенными концентрациями взвешенной формы железа. Возле дельт рек они связаны с оседанием выносимых с суши твердых частиц. Аномально высокие содержания взвешенной формы железа в придонном горизонте центральной части Среднекаспийской котловины, фиксируемые на отдельных станциях, обусловлены поступлением железа с эманациями донных грязевых вулканов и его коагуляцией в условиях щелочной среды. В целом, с увеличением глубины наблюдается последовательный рост концентраций взвешенной формы железа. Это связано с изменением солёности и усилением вертикальной стратификации (уменьшением солёности поверхностного горизонта и увеличением солёности глубоких слоев). Это приводит к коагуляции и флокуляции органических и металлорганических коллоидов и переводу растворенного железа во взвесь.

Ключевые слова: Средний Каспий, взвесь, железо, морская среда, водная толща, поверхностный слой, придонный слой.



Для цитирования: Ковалев В.В., Гамбург К.Ю. Особенности распределения взвешенной формы железа в водной толще Каспийского моря. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11(4): 109-120. DOI: 10.46698/VNC.2021.48.82.009.

GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION
OF SOLID MINERALS, MINERAGENY

DOI: [10.46698/VNC.2021.48.82.009](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.48.82.009)

Original paper

Features of the distribution of the suspended form of iron in the water column of the Caspian Sea

V.V. Kovalev ^{1, 2}, K.Y. Hamburg ³

¹Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, 8 Sedova str., Rostov-on-Don 344006, Russian Federation, e-mail: kovalev-45@mail.ru;

²Southern Federal University, 105/42 Bolshaya Sadovaya str., Rostov-on-Don 344006, Russian Federation;

³Southern Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 41 Chekhov Ave., Rostov-on-Don 344006, Russian Federation, e-mail: koriellene@yandex.ru

Received: 21.10.2021, revised: 22.11.2021, accepted: 27.11.2021

Abstract: The article is devoted to the study of the distribution of iron in the water suspension of the Middle Caspian Sea. **The relevance** of the work is determined by the need to assess the natural state of the marine environment and fix its basic state (including various forms of chemical elements) for further use in order to monitor the environmental situation on the shelf of the Caspian Sea in the conditions of intensification of exploration and development of oil fields. **Aim.** To establish the characteristic features of the behavior of suspended iron in the waters of the Middle Caspian. **Materials and methods.** The material selected in 1989-1990 during the voyages of research vessels was studied. owned by the Caspian Research Institute of Fisheries, before the development of oil and gas fields. It is represented by filtered suspended particles from 178 water samples taken from various layers of the water column at 63 stations. Determination of iron content was carried out on the PGS-2 spectrograph by evaporation. **Results.** The minimum concentrations of the suspended form of iron in the surface layer of the water column were established on the section of the inner shelf and the underwater slope of the Middle Caspian basin, which is associated with the removal of solid particles by drift currents. The concentrations of the suspended form of iron in the surface layer increase towards the middle of the sea, which is caused by the contraction of suspended particles by the centripetal forces of the cyclonic current. The bottom layer is characterized by increased concentrations of the suspended form of iron. Near river deltas, they are associated with the subsidence of solid particles carried out from the land. Abnormally high concentrations of suspended iron in the bottom horizon of the central part of the Middle Caspian basin, recorded at individual stations, are due to the influx of iron with emanations of bottom mud volcanoes and its coagulation in an alkaline environment. In general, with increasing depth, there is a consistent increase in the concentrations of the suspended form of iron. This is due to a change in salinity and an increase in vertical stratification (a decrease in the salinity of the surface horizon and an increase in the salinity of the deep layers). This leads to coagulation and flocculation of organic and organometallic colloids and the transfer of dissolved iron into suspension.

Keywords: Middle Caspian, suspension, iron, marine environment, water column, surface layer, bottom layer.

For citation: Kovalev V.V., Hamburg K.Y. Features of the distribution of the suspended form of iron in the water column of the Caspian Sea. *Geologiya I Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* (in Russ.). 2021. 11(4): 109-120. DOI: 10.46698/VNC.2021.48.82.009.

Введение

Взвесь представляет собой распределенные в водной толще твердые частицы минеральных и органических веществ различного происхождения размером менее 1 мм. Поступление таких частиц из разнообразных источников, предполагает разнообразный химический состав и способность отдавать в водную толщу или собирать на себе загрязняющие вещества, в том числе опасные химические элементы, транспортировать их на значительные расстояния [Лисицын, 2014; Гордеев и др., 2018; Кравчишина и др., 2018 и др.]. Выявление закономерностей поведения взвеси в водной толще, особенностей формирования ее химического состава является необходимым при идентификации источников загрязнения и при организации мониторинга экологического состояния морской среды. Однако, получаемые после начала освоения Каспийского шельфа в 1995 г. данные о распределении взвеси в водной толще Каспийского моря, а также связанных с ней опасных веществ и химических элементов [Лукашин и др., 2010; Klyuvitkin et al., 2015; Kravchishina et al., 2016; Ambrosimov et al., 2017 и др.], предполагают возможность их искажения техногенной компонентой, обусловленной проведением геолого-геофизических исследований и добычей полезных ископаемых на шельфе. Например, отобранные в ходе экспедиционных исследований судов 2015 г. пробы водной взвеси показали признаки загрязнения ее веществами нефтяного происхождения [Klyuvitkin et al., 2015]. Это подтверждает необходимость получения данных о химическом составе и закономерностях распределений отдельных химических элементов водной взвеси Каспийского моря до 1995 г., то есть, до начала геолого-геофизических, разведочных и добычных работ на шельфе Каспийского моря. Получение таких данных является весьма актуальной задачей, решение которой позволит оценить естественное состояние морской среды и зафиксировать его как базовое с целью использования при создании систем экологического мониторинга в связи с интенсификацией геофизических и геологоразведочных работ на нефть и освоением вновь открываемых месторождений [Николаев, 2006; Матишов и др., 2009; Матишов, Парада, 2015; Велиев, 2021].

Ранее нами рассмотрены особенности распределения самой водной взвеси в толще Каспийского моря, основанные на данных рейсов научно-исследовательских судов Каспийского НИИ рыбного хозяйства, осуществленных в 1989-1990 гг. до начала освоения полезных ископаемых шельфа Каспийского моря [Ковалев и др., 2019]. Было показано, что распределение водной взвеси в толще Каспийского моря более всего зависит от климатических различий западной и восточной, северной и южной его частей. В меньшей степени они связаны с особенностями рельефа побережья и дна, гидродинамическим режимом и распространением биоты. Наиболее высокими содержаниями взвеси характеризуются воды мелководного Северного Каспия. В водах Среднего и Южного Каспия концентрации взвеси значительно ниже. Распределение взвеси в этих водах подчиняется циркумконтинентальной зональности. Наименьшие содержания взвеси определены в недостижимой для терригенных частиц пелагиали над Дагестанской впадиной. Повышенными содержаниями взвеси характеризуются воды прибрежной зоны. Наиболее высокие из них установлены в водах у западного побережья, что связано с большим количеством, приносимых реками продуктов разрушения суши. В водах восточной части бассейна отмечаются отдельные участки с повышенными концентрациями взвеси, что, скорее всего, связано с развитием планктона в условиях подъема к поверхности обогащенных питательными веществами глубинных вод. В водной толще глубоководного Среднего Каспия происходит уменьшение концентрации взвеси с глу-

биной, в отличие от мелководного Северного Каспия, где наоборот, наблюдается увеличение содержаний взвеси с глубиной.

Полученные нами результаты распределения водной взвеси в водах Каспия в 1989 – 1990 годах сопоставимы с данными 1962 г. [Гершанович, Грундульс, 1969] и 1972 г. [Хачатурова, 1972]. Это свидетельствует об устойчивости основных параметров распределения взвеси в водной толще Каспийского моря, по крайней мере, до начала освоения нефтегазовых ресурсов шельфа и о правомерности использования этих параметров как базовых в различных моделях мониторинга состояния морской среды.

В настоящей статье приведены результаты определения концентрации железа в образцах водной взвеси. Из изученного круга элементов железо является одним из наиболее распространенных химических элементов во взвешенном веществе Среднего Каспия. При этом железо относится к группе литогенных элементов, высоко коррелируемых с другими литогенными элементами (Al, Si, Mn) в составе водной взвеси [Lukashin et al., 2019] и в поступающих в водоем аэрозолях [Лисицын и др., 2018]. По результатам этих исследований его концентрация практически не зависит от колебаний температуры и режима солености вод. Это значит, режима солености Средней и Южной частей Каспийского моря, характеризующийся вертикальной стратификацией, приводящей к опреснению поверхностного горизонта водной толщи и осолонению ее нижних горизонтов [Матишов и др., 2018], не будет влиять на концентрации железа в водной взвеси. Следовательно, железо может служить индикатором литогенности водной взвеси.

Предполагается, что результаты исследования взвешенной формы железа, вместе с результатами выполненных нами ранее определений его растворенной формы [Ковалев и др., 2019] будут заложены вместе с другими компонентами в базовые параметры мониторинговых моделей, отслеживающих изменения морской среды под воздействием нефтедобывающего комплекса относительно первичного ее состояния.

Материалы и методы

Материал для изучения химического состава водной взвеси получен в рейсах 1989-1990 годов, осуществленных научно-исследовательскими судами Каспийского НИИ рыбного хозяйства. В эти годы был выполнен отбор водных проб из разных горизонтов водной толщи, начиная от поверхностного и заканчивая придонным. Методика отбора проб предполагала использование винипластового батометра, с помощью которого осуществлялся забор морской воды через каждые 50–100 м, с учетом глубины в данном месте. Частицы взвеси извлекались из водной пробы на судне сразу после ее подъема с применением фильтрации в вакууме 0,4 атм. Для этого использовались мембранные фильтры №3 с размером пор 0,7 мкм. Количество взвеси определялось взвешиванием высушенного фильтрата. Состав частиц определялся визуалью с помощью микроскопа.

Для цели настоящего исследования было доступно в необходимых для химического анализа количествах 178 проб взвешенного вещества, отобранных на 63 станциях, расположенных на девяти профилях в пределах Среднего Каспия (рис. 1). Определение содержаний химических элементов проводилось на спектрографе PGS-2 способом испарения. По результатам анализа железо обнаружено в 168 пробах, что составило 94,4% от общего количества проанализированных проб.



Рис. 1. Положение станций отбора проб в Среднем Каспии в 1989-1990 гг. Линии соответствуют траекториям рейсов, римские цифры – номера разрезов по рейсам, точки – станции отбора проб, числа у точек – номера станций, буквы у точек – станции дополнительного отбора проб /

Fig. 1. The position of sampling stations in the Middle Caspian Sea in 1989-1990. The lines correspond to flight trajectories, Roman numerals – section numbers for flights, points – sampling stations, numbers at points – station numbers, letters at points – additional sampling stations

Результаты и их обсуждение

Распределение взвешенной формы железа в пространстве анализировалось на карте отдельно в поверхностном горизонте, и отдельно – в придонном слое водной толщи (рис. 2). Распределение содержаний железа во взвеси в вертикальном разрезе водной толщи осуществлен по линиям рейсов (рис. 3).

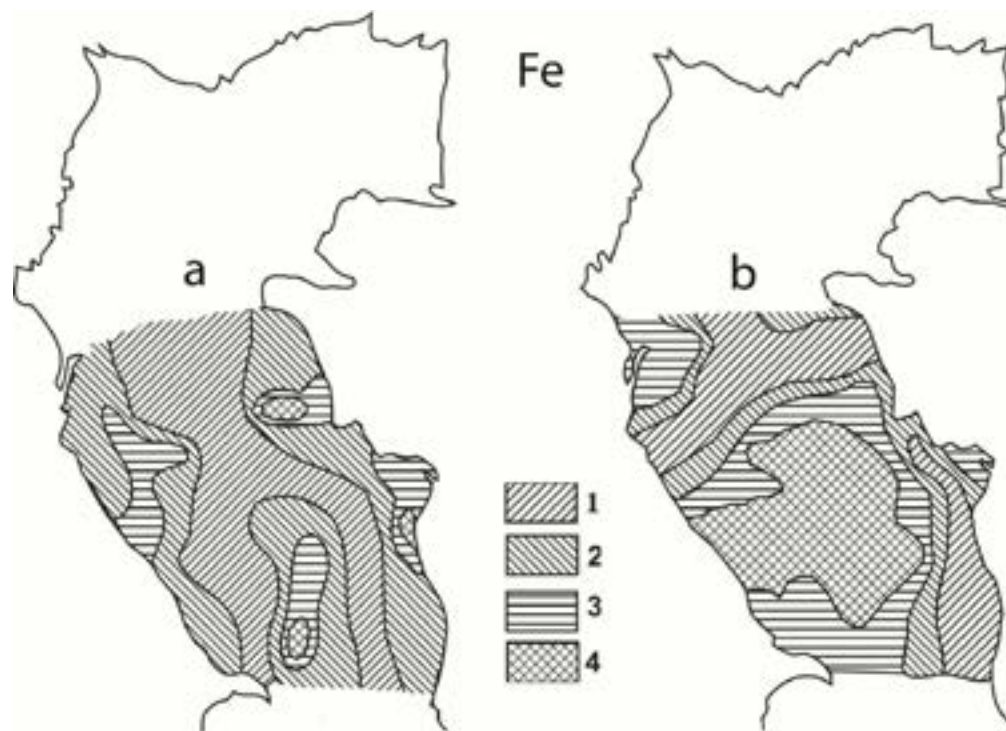


Рис. 2. Схемы распределения концентраций железа в водной взвеси Среднего Каспия (%): а – в поверхностном слое; б – в придонном слое. 1 – менее 0,3; 2 – 0,3-0,5; 3 – 0,5-1,0; 4 – более 1,0 /

Fig. 2. Schemes of distribution of iron concentrations in the water suspension of the Middle Caspian Sea (%):

a – in the surface layer; b – in the bottom layer. 1 – less than 0.3; 2 – 0.3–0.5; 3 – 0.5–1.0; 4 – more than 1.0

Концентрации взвешенной формы железа изменяются в пределах: от следов до 4,73% в среднем горизонте, в поверхностном – 0,37%, в придонном – 0,91%, для всей водной толщи – 0,62%. Для сравнения значение взвешенного железа в водной толще Тихого океана составляет 0,64%, в водах Черного моря – 0,5-1,0%. Поступление взвешенной формы железа на акваторию Среднего Каспия связано, в основном, со стоком рек, с эоловыми наносами и продуктами абразии дна. До 99,86% железа во взвешенном состоянии выносятся горными реками, дренирующими склоны восточного Кавказа. Главная масса железа в речной взвеси входит в пелитовую фракцию. В приустьевых частях моря, где речные воды смешиваются с морской водой происходит резкое уменьшение концентрации взвешенного железа, что связано с коагуляцией и оседанием больших количеств взвеси на дно. На гипотетическом профиле (река – зона смешанных речных и морских вод – море) изменяется соотношение взвешенного и растворенного железа: если в речной воде, преобладающей является взвешенная форма, то в морской она становится подчиненной, так как в процессе трансформации речной взвеси в устьевых зонах изменяется соотношение форм миграции металлов: часть растворенных металлов удаляется из раствора, другая часть, напротив, мобилизуется раствором в результате превращения в подвижные формы [Lukashin et al., 2019; Савенко и др., 2021].

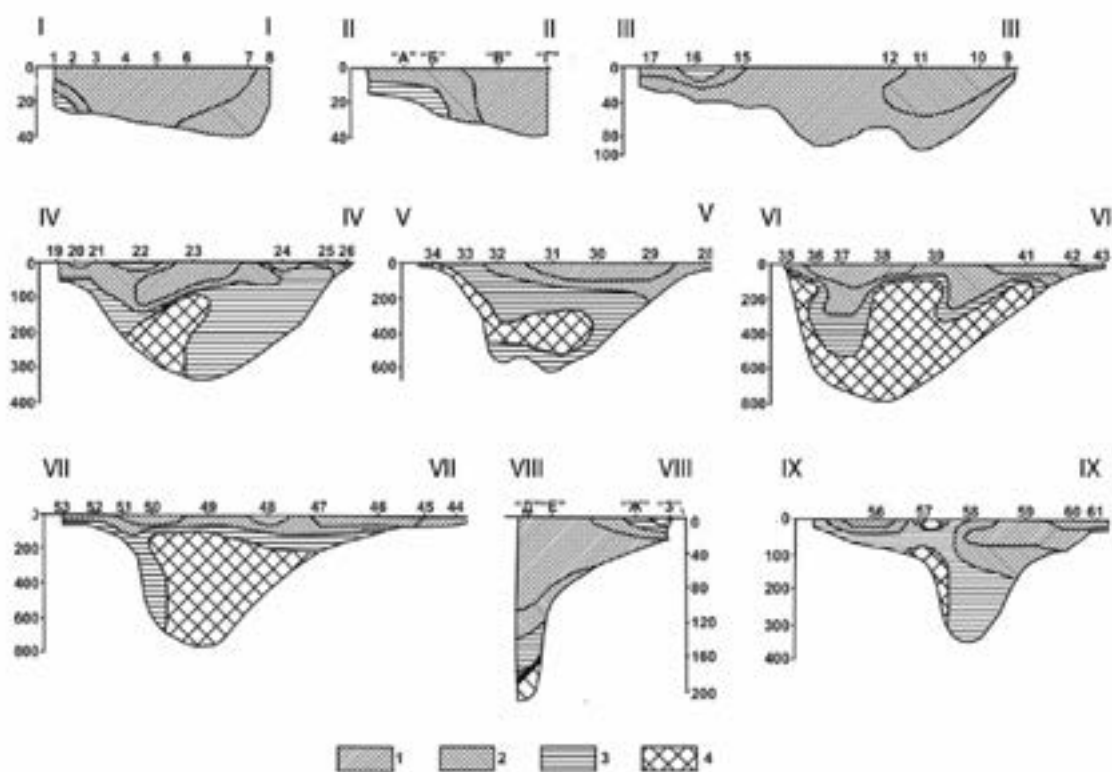


Рис. 3. Схемы распределения взвешенной формы железа по вертикали водной толщи Среднего Каспия по линиям рейсов (мг/л): 1 – менее 0,3; 2 – 0,3–0,5; 3 – 0,5–1,0; 4 – более 1,0. Числа на вертикальных осях – глубина в метрах; Точки и числа на горизонтальных осях – положение станций отбора проб и их номера в соответствии с рисунком 1 /

Fig. 3. Schemes of distribution of the suspended form of iron along the vertical water column of the Middle Caspian Sea along the lines of flights (mg/l): 1 – less than 0.3; 2 – 0.3–0.5; 3 – 0.5–1.0; 4 – more than 1.0. Numbers on vertical axes – depth in meters; Points and numbers on horizontal axes – position of sampling stations and their numbers according to Fig. 1 /

Поступление больших масс взвешенных частиц в составе твердого стока рек и с ветровыми потоками определило повышенные концентрации взвешенного железа (0,3–0,5%) в прибрежной области Среднего Каспия. Железо транспортируется преимущественно в составе лимонитизированных обломков пород, входя в кристаллическую решетку минералов, а также в адсорбированном комплексе — на поверхности мицелл глинистых минералов, в виде зелей и коагулировавшихся сгустков гидроокисей. Вдоль западного и восточного берега, занимая почти всю шельфовую часть моря, протянулись широкие полосы повышенных содержаний взвешенного железа (0,3–0,5%). Внутри каждой из них выделяются районы высоких (0,5–1%) и даже максимальных величин элемента (более 1%). При удалении от береговой линии к центральным открытым областям моря уменьшается доля обломочного материала за счет его оседания и увеличивается примесь биогенного вещества вследствие развития фитопланктона, что незамедлительно сказывается на концентрациях взвешенного железа. Они понижаются до значений, составляющих менее 0,3%. В поверхностном горизонте на участке внутреннего шельфа и подводного склона котловины Среднего Каспия, где активность дрейфовых течений еще достаточно высока, наблюдаются минимальные величины взвешенного железа. Но уже на поверхности халистатической части Среднего Каспия (Дербентская впадина) отмеча-

ется последовательный рост содержаний элемента вследствие стягивания гидроокислов железа и железоорганических частиц под действием центростремительных сил циклонального течения. Такие же высокие концентрации железа во взвеси, обусловленные циркуляцией вод, отмечаются в центральных халистатических областях восточной и западной котловины Черного моря, а также характерны для циклонических круговоротов и районов подъема вод в Балтийском и Средиземном морях.

В придонном горизонте Среднего Каспия распределение железа во взвеси имеет ряд принципиальных различий по сравнению с поверхностными. Отличительной чертой является то, что если в верхних слоях преддельтового пространства рек Сулака и, частично, Терекане выделяется ареал высоких содержаний взвешенного железа, то в глубинных он уже четко выражен. Видимо, основная масса твердых выносов этих рек, а с ними терригенных железосодержащих минералов транспортируется в море с придонными водами. Высокие (0,5-1%) и максимальные (более 1%) концентрации железа в придонном слое больше тяготеют к водам западной части морского бассейна, что связано с привносом твердых частиц горными реками, вместе с которыми поступают гидроокисные образования железа. Высокие содержания в придонном горизонте центральной части Среднекаспийской котловины на отдельных станциях обусловлены его поступлением из грязевых вулканов [Алиев, Етирмишли, 2021].

В прибрежной области от уреза до 50-метровой изобаты, вследствие процесса интенсивного волнового перемешивания вод и значительной удаленности от источников поступления осадочного материала, концентрация взвешенного железа на поверхности (0,45%) слабо отличается от концентрации в придонном горизонте (0,48%). На глубине 50 метров происходит снижение концентраций взвешенного железа до 0,31%, вызванное, прежде всего переходом части взвешенной формы элемента в растворенную за счет разложения органического вещества, а следовательно, и железо-органических соединений в составе взвеси. С увеличением глубины наблюдается последовательный рост концентраций железа во взвеси: 0,45% на горизонте 100 м и 0,54% – у дна. Это связано с изменением режима солёности водной толщи Среднего Каспия в сторону усиления стратификации, распреснением верхнего горизонта и возрастания солёности вод с глубиной [Матишов и др., 2018], что, как установлено в работах [Min-Han Dai, Martin, 1995; Turner, 1996] приводит к коагуляции и флокуляции органических и металлоорганических коллоидов и переводу растворенного железа во взвесь.

В центральной части Среднего Каспия преобладают наименьшие значения элемента, в среднем 0,35%. Уже при заглублении на 50 м содержания железа во взвеси заметно уменьшаются, а с горизонта 100 м и далее с увеличением глубины распределение взвешенной формы металла имеет устойчивый характер с небольшими колебаниями концентраций по вертикали. Слабые понижения содержания железа, вызванные гидродинамическими и геохимическими особенностями глубоководной водной массы, намечаются на глубине 300 м (0,87%) и в батипелагиали на горизонте 500 м (0,80%). У дна центральной впадины происходит резкий скачок содержания элемента до 1,74%. Здесь обычно наблюдается скопление взвешенных высокодисперсных комплексов оксигидратов железа и марганца.

Если проследить изменение концентраций взвешенного железа на гипотетическом профиле прибрежная-шельфовая-глубоководная зоны морей, то можно отме-

тить, что достаточно высокие вследствие постоянного поступления кластических терригенных частиц, содержания металла во взвеси зафиксированы в прибрежной зоне (0,47%); по мере удаления от берега по направлению к области внутреннего шельфа снижаются до 0,44%; далее в сторону центральных открытых районов моря, в основном, за счет повсеместного развития гидроокислов железа в глубинных слоях вод происходит значительный рост концентрации взвешенного железа до 0,91%.

Выводы

Анализ распределения взвешенной формы железа в водной толще Среднего Каспия позволяет сделать следующие выводы:

1. В поверхностном слое водной толщи минимальные содержания взвешенной формы железа наблюдаются на участке внутреннего шельфа и подводного склона котловины Среднего Каспия, что связано с перемещением твердых частиц дрейфовыми течениями. Максимальные концентрации взвешенной формы железа в поверхностном слое возрастают к середине моря и достигают максимума в его халистатической части (в районе Дербентской впадины). Это обусловлено стягиванием гидроокислов железа и железоорганических частиц под действием центростремительных сил циклонального течения.

2. Отличительной чертой распределения взвешенной формы железа в придонном слое Среднего Каспия является его повышенная концентрация. В предельтовых пространствах рек Сулака и, частично, Терека она связана с оседанием выносимых этими реками твердых частиц и их концентрацией в придонных водах. Аномально высокие содержания взвешенной формы железа в придонном горизонте центральной части Среднекаспийской котловины, фиксируемые на отдельных станциях, обусловлены поступлением железа с эманациями донных грязевых вулканов и его коагуляцией в условиях щелочной среды.

3. В целом, с увеличением глубины наблюдается последовательный рост концентраций взвешенной формы железа. Это обусловлено возрастанием солености вод Среднего Каспия с глубиной в связи с вертикальной стратификацией, при распреснении поверхностного горизонта. Все это приводит к коагуляции и флокуляции органических и металлоорганических коллоидов и переводу растворенного железа во взвесь.

Литература

1. Алиев Ад.А., Етирмишли Г.Д. Новые данные об извержениях грязевых вулканов в Азербайджане. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №2. – С. 22–35. DOI: 10.46698/VNC.2021.34.18.002
2. Велиев Г.О. Роль геодинамического напряжения в формировании нефтегазовых структур в Каспийском море (на примере месторождений Шахдениз, Умид, Бабек, Булладениз). // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №2. – С. 36–50. DOI: 10.46698/VNC.2021.68.77.003
3. Гершанович Д.Е., Грундульс З.Е. Взвешенные вещества в водах Северного Каспия. // Труды ВНИРО. – 1969. – №65. – С. 57–84.
4. Гордеев В.В., Маккавеев П.Н., Рейхард Л.Е., Коченкова А.И. Особенности элементного состава взвеси Аральского моря в современных условиях. // Океанология. – 2018. – Т. 58. №4. – С. 629–639.
5. Ковалев В.В., Парада С.Г., Рыбин И.В. Распределение концентраций взвеси в водной

толще Каспийского моря по данным рейсов 1989-1990 гг. // Наука Юга России. – 2019. – Т. 15. №1. – С. 60–70.

6. Кравчишина М.Д., Клювиткин А.А., Лукашин В.Н., Политова Н.В., Новигатский А.Н., Лисицын А.П. Распределение взвешенного вещества в Каспийском море. // Метеорология и гидрология. – 2018. – №10. – С. 96–107.

7. Лисицын А.П. Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер Земли. // Мировой океан. Т. 2. / Ред. Лобковский Л.И., Нигматулин Р.И. – М.: Научный мир, 2014. – С. 331–571.

8. Лисицын А.П., Лукашин В.Н., Новигатский А.Н., Клювиткин А.А., Дара О.М., Политова Н.В. Аэрозоли в придном слое атмосферы Каспийского моря. // Доклады академии наук. – 2018. – Т. 478. №6. – С. 702–708.

9. Лукашин В.Н., Амбросимов А.К., Либина Н.В., Кравчишина М.Д., Гольдин Ю.А., Политова Н.В., Якубов Ш.Х. Комплексные исследования в северной части Каспийского моря в 30-м рейсе НИС «Рифт (17–28 апреля 2009 г.). // Океанология. – 2010. – Т. 50. №3. – С. 472–476.

10. Матишов Г.Г., Парада С.Г. Добыча сланцевого газа методом гидроразрыва пласта: современное состояние, риски и угрозы. // Геология и геофизика Юга России. – 2015. – №1. – С. 42–60.

11. Матишов Д.Г., Яицкая Н.А., Бердников С.В. Изменения температуры и солености вод Каспийского моря в XX веке. // Океанология. – 2018. – Т. 58. №6. – С. 864–874.

12. 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. Разработка инструментария для комплексной оценки воздействия на экосистему Северного Каспия при освоении морских нефтегазовых месторождений. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2009. – №1. – С. 5–20.

13. Николаев Н.М. Нефть чистой воды. // Нефть России. – 2006. – №9. – С. 86–89.

14. Савенко А.В., Савенко В.С., Покровский О.С. Сорбционно-десорбционная трансформация стока растворенных микроэлементов на геохимическом барьере река–море (по данным лабораторного экспериментального моделирования). // Водные ресурсы. – 2021. – Т. 48. №2. – С. 207–212.

15. Хачатурова Т.А. Содержание взвешенных веществ в водах Среднего и Южного Каспия. // Труды ВНИРО. – 1972. – №90. – С. 7–17.

16. Ambrosimov A.K., Klyuvitkina A.A., Filippov A.S., Kozina N.V., et al. Study of the North and Central Caspian on the October 2015 expedition of the R/V Nikifor Shurekov. // Oceanology. – 2017. – Vol. 57. No.5. – pp. 756–758. DOI: 10.1134/S0001437017050010

17. Klyuvitkin A.A., Ambrosimov A.K., Kravchishina M.D., Dukhova L.A., et al. Comprehensive study of the Caspian Sea system during the second cruise of the research vessel Nikifor Shurekov. // Oceanology. – 2015. – Vol. 55. No.2. – pp. 311–314. DOI: 10.1134/S000143701502006X

18. Kravchishina M.D., Lein A.Yu., Pautova L.A., Klyuvitkin A.A., Politova N.V., Novigatsky A.N., Silkin V.A. Vertical distribution of suspended particulate matter in the Caspian Sea in early summer. // Oceanology. – 2016. – Vol. 56. No.6. – pp. 819–836. DOI: 10.1134/S0001437016050064

19. Lukashin V.N., Kravchishina M.D., Klyuvitkin A.A., Novigatsky A.N., Politova N.V. Geochemistry of suspended particulate matter in the volga river marginal filter. // Oceanology. – 2019. – Vol. 59. No.3. – pp. 381–391. DOI: 10.1134/S0001437019030135

20. Min-Han Dai, Martin J.-M. First data on trace metal level and behaviour in two major Arctic river-estuarine systems (Ob and Yenisei) and in the adjacent Kara Sea, Russia. // Earth and Planet. Sci. Lett. – 1995. – Vol. 131. – pp. 127–141.

21. Turner A. Trace metal partitioning in estuaries: importance of salinity and particle concentration. // Marine Chemistry. – 1996. – Vol. 54. – pp. 27–39.

References

1. Aliyev AD. A., Yetirmishli G.D. New data on eruptions of mud volcanoes in Azerbaijan. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. No. 2. pp. 22–35. DOI: 10.46698/VNC.2021.34.18.002 (In Russ.)
2. Veliev G.O. The role of geodynamic stress in the formation of oil and gas structures in the Caspian sea (on the example of The Shah Deniz, Umid, Babek, Bulla Deniz fields). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No.2. pp. 36–50. DOI: 10.46698/VNC.2021.68.77.003 (In Russ.)
3. Gershanovich D.E., Grunduls Z.E. Suspended substances in the waters of the North Caspian. *Proceedings of VNIRO*. 1969. No. 65. pp. 57–84. (In Russ.)
4. Gordeev V.V., Makkaveev P.N., Reikhard L.E., Kochenkova A.I. Features of the elemental composition of suspended matter in the Aral Sea in modern conditions. *Oceanology*. 2018. Vol. 58. No. 4. pp. 629–639. (In Russ.)
5. Kovalev V.V., Parada S.G., Rybin I.V. Distribution of suspended matter concentrations in the water column of the Caspian Sea according to the data of the 1989–1990 cruises. *Science in the South Russia*. 2019. Vol. 15.No.1. pp. 60–70. (In Russ.)
6. Kravchishina M.D., Klyuvitkin A.A., Lukashin V.N., Politova N.V., Novigatskii A.N., Lisitsyn A.P. Distribution of suspended matter in the Caspian Sea. *Meteorology and Hydrology*. 2018. No. 10. pp. 96–107. (In Russ.)
7. Lisitsyn A.P. Modern ideas about sedimentation in oceans and seas. The ocean as a natural recorder of the interaction of the Earth's geospheres. *World Ocean*. Vol. 2. Ed. Lobkovsky L.I., Nigmatulin R.I. Moscow. Nauchnyi mir, 2014. pp. 331–571. (In Russ.)
8. Lisitsyn A.P., Lukashin V.N., Novigatskii A.N., Klyuvitkin A.A., Dara O.M., Politova N.V. Aerosols in the near-water layer of the atmosphere of the Caspian Sea. *Doklady Earth Sciences*. 2018. Vol. 478. No. 6. pp. 702–708. (In Russ.)
9. Lukashin V.N., Ambrosimov A.K., Libina N.V., Kravchishina M.D., Goldin Yu.A., Politova N.V., Yakubov Sh.Kh. Comprehensive research in the northern part of the Caspian Sea during the 30th cruise of the research ship Rift (17–28 April 2009). *Oceanology*. 2010. Vol. 50. No. 3. pp. 472–476. (In Russ.)
10. Matishov G.G., Parada S.G. Shale gas production by hydraulic fracturing: current state, risks and threats. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2015. No. 1. pp. 42–60. (In Russ.)
11. Matishov D.G., Yaitskaya N.A., Berdnikov S.V. Changes in temperature and salinity of the Caspian Sea in the XX century. *Oceanology*. 2018. Vol. 58. No. 6. pp. 864–874. (In Russ.)
12. Matishov G.G., Berdnikov S.V., Stepanyan O.V., Kurapov A.A., et al. Development of tools for a comprehensive assessment of the impact on the ecosystem of the Northern Caspian during the development of offshore oil and gas fields. *Environmental protection in the oil and gas complex*. 2009. No. 1. pp. 5–20. (In Russ.)
13. Nikolaev N.M. Pure water oil. *Oil of Russia*. 2006. No. 9. pp. 86–89. (In Russ.)
14. Savenko A.V., Savenko V.S., Pokrovskii O.S. Sorption-desorption transformation of the runoff of dissolved trace elements at the river-sea geochemical barrier (according to laboratory experimental modeling). *Water resources*. 2021. Vol. 48. No. 2. pp. 207–212. (In Russ.)
15. Khachaturova T.A. The content of suspended solids in the waters of the Middle and South Caspian. *Proceedings of VNIRO*. 1972. No. 90. 7–17. (In Russ.)
16. Ambrosimov A.K., Klyuvitkina A.A., Filippov A.S., Kozina N.V., Serebrennikova E.A., Bondar' A.V., Nemirovskaya I.A., Zolotykh E.O., Budko D.F. Study of the North and Central Caspian on the October 2015 expedition of the R/V NikiforShurekov. *Oceanology*. 2017. Vol. 57. No.5. pp. 756–758. DOI: 10.1134/ S0001437017050010
17. Klyuvitkin A.A., Ambrosimov A.K., Kravchishina M.D., Dukhova L.A., et al. Comprehensive study of the Caspian Sea system during the second cruise of the research vessel Nikifor Shurekov. *Oceanology*. 2015. Vol. 55. No.2. pp. 311–314. DOI: 10.1134/ S000143701502006X

18. Kravchishina M.D., Lein A.Yu., Pautova L.A., Klyuvitkin A.A., Politova N.V., Novigatsky A.N., Silkin V.A. Vertical distribution of suspended particulate matter in the Caspian Sea in early summer. *Oceanology*. 2016. Vol. 56. No.6. pp. 819–836. DOI: 10.1134/S0001437016050064

19. Lukashin V.N., Kravchishina M.D., Klyuvitkin A.A., Novigatsky A.N., Politova N.V. Geochemistry of suspended particulate matter in the Volga river marginal filter. *Oceanology*. 2019. Vol. 59. No.3. pp. 381–391. DOI: 10.1134/S0001437019030135

20. Min-Han Dai, Martin J.-M. First data on trace metal level and behaviour in two major Arctic river-esuarine systems (Ob and Yenisei) and in the adjacent Kara Sea, Russia. *Earth and Planet. Sci. Lett.* 1995. Vol. 131. pp. 127–141.

21. Turner A. Trace metal partitioning in estuaries: importance of salinity and particle concentration. *Marine Chemistry*. 1996. Vol. 54. pp. 27–39.