

УДК 551.464.541.132.3

DOI: 10.23671/VNC.2016.3.20832

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТВОРЕННЫХ ФОРМ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА В ВОДНОЙ ТОЛЩЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

© 2016 вв. Ковалев к.г.-м.н, С.И. Фелицин, к.т.н.

Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, институт водного транспорта, Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Седова, 8; e-mail: kovalev-45@mail.ru; fsi1956@mail.ru

По результатам химических анализов 518 проб воды Северного, Среднего Каспия и, частично, Южного Каспия определено содержание растворенных форм наиболее распространенных элементов – железа и марганца. Приведены карты пространственного распределения этих элементов в поверхностном и наддонном водных горизонтах, а также по вертикальным разрезам водной толщи. Для каждого из изученных элементов выявлены факторы, определяющие его концентрацию и закономерности распространения в морской воде.

Ключевые слова: Каспийское море, водная толща, вертикальные разрезы, растворенные формы, железо, марганец, концентрации.

Анализ распределения тяжелых металлов в Каспийском море встречается во многих работах, но, в основном, по единичным пробам. Исследований, касающихся площадного и вертикального размещения микроэлементов в воде Каспийского моря, практически нет. Последние публикации посвящены, в основном, определению форм микроэлементов в воде, влиянию физико-химической обстановки среды на их термодинамические равновесия, выяснению механизма поступления с речным стоком. Целью настоящей работы является изучение распределения растворенных микроэлементов по всей водной толще Каспийского моря.

Отбор проб производился с помощью винипластового батометра послойно через определенное количество метров. Отобранные пробы воды, объемом 1 литр, фильтровались через мембранные фильтры № 3 и фиксировались азотной кислотой для обеспечения рН от 1,5 до 2,0. Подготовка проб воды к анализам проводилась по методике Гидрохимического института. Определение металлов в воде выполнялось эмиссионным спектральным анализом. Метод основан на концентрации металлов 8-миоксинолином и NN-диэтилдикарбонатом натрия, извлечении образовавшихся металлоорганических комплексов хлороформом и дальнейшим спектрографическим определением. При этом использовались искусственные или природные препараты, в которых содержание определяемых элементов достоверно известно. При исследованиях использовались стандартные образцы для анализа вод: ГСО 12938001, 1759–80, 1760–80, 1761–80, СОВ-2, СОВ-3, СОВ-4, СОВ-5. На их основе готовилась серия рабочих градуировочных графиков. В качестве буферной смеси был использован графитовый порошок марки «осч» 7–4 с введенным элементом сравнения – палладий 0,5%, близкий по испаряемости в дуге ко всем определяемым элементам. Введение пробы, смешанной с буферной смесью, в разряд осуществлялось из канала анодного электрода, имеющего диаметр 3 мм, глубину 4 мм, толщину стенок 1 мм. Возбуждение спектра проходило в активизированной дуге

переменного тока. Сила тока от 12 до 14 ампер. Регистрация спектров проводилась на спектрографе PGS-2, 650 штр/мм. Спектры регистрировались до полного испарения. Измерения почернения аналитических линий на фотопластинках выполнялись на микрофотометре МФ-2. В результате проанализировано 518 проб воды Северного, Среднего Каспия и, частично, Южного Каспия на десять химических элементов (Fe, Mn, Ni, Ti, V, Cu, Pb, Bi, Sn, Mo), отобранных по точке, указанных на рисунке 1. В настоящей статье приведены результаты исследований двух наиболее распространенных элементов – Fe и Mn, для них построены схемы распределения в поверхностном и наддонном горизонтах, а также по вертикальным разрезам.

Распределение растворенного железа. Железо – один из наиболее изученных элементов. Основная масса железа поставляется на акваторию Каспийского моря во взвешенной форме (в среднем 99,76% от суммы растворенного и взвешенного). Равнинными реками – Волга, Урал, Эмба, во взвешенном состоянии в море выносятся несколько меньше железа, в среднем 95,1%, против 99,86%, поступающего в этой же форме с горными реками – Терек, Самур, Сулак [Усенова, Дильмаганбетов, 2010]. В растворе речных вод элемент мигрирует в суммарном и ионном, частично коллоидном (в виде коллоидных гидратов окисей, комплексных гуматов) и органически связанном (в виде комплексов с гуминовыми веществами и органическими кислотами). В реках Каспийского бассейна в растворенном состоянии переносится незначительное количество Fe, в среднем 0,25%. Железо относится к группе микроэлементов, содержание которых в речной воде больше чем в морской. Fe раств. интенсивно удаляется вместе с гуминовыми кислотами на начальной стадии смешения речных вод с морскими, при этом потери элемента могут достигать до 80% [Демина и др., 1978]. Процессы, происходящие на границе «река – море»: флокуляция, адсорбция и биологическое извлечение металлов из растворов, резко сокращают их содержание, так что в конечном итоге уже геохимически трансформированные речные воды определяют концентрации микроэлементов непосредственно в морских водах. По данным разных авторов средняя концентрация растворенного железа в воде морей и океанов колеблется в пределах от 1,5 до 10 мкг/л в среднем, составляя величину 5 мкг/л. Среди определенных элементов в водной толще Каспийского моря железо является наиболее распространенным металлом. Концентрация железа изменяется в широком диапазоне значений от 1,7 до более 40 мкг/л. В поверхностном горизонте средние содержания металла (27,5 мкг/л) немного выше, чем в наддонной воде (26,8 мкг/л). В поверхностных водах распределение растворенных форм железа имеет неравномерный характер (рис. 2). Аналогичная «пятнистость» обнаружена и в других морях – Азовском, Черном, Северном, Балтийском, Японском [Виноградова и др., 1971]. Как и следовало ожидать, наибольшие значения растворенного железа (более 40 мкг/л) обнаружены в северо-западной части Каспия, которая находится под влиянием речного стока Волги и Терека. Область высоких концентраций протянулась неширокой полосой вдоль побережья от Бахтемирского рукава до границы со Средним Каспием. Такие же концентрации элемента сосредоточены в центральной части Среднего и Северного Каспия. В наддонном горизонте по сравнению с поверхностным характер распределения растворенной формы железа несколько изменяется. К северо-западному району Каспия по-прежнему приурочены максимальные концентрации элемента (более 40 мкг/л), но они занимают меньшую площадь, чем на поверхности моря. Зато увеличивается ареал Fe раств. в районе влияния рек Терека, Сулака. Эти две

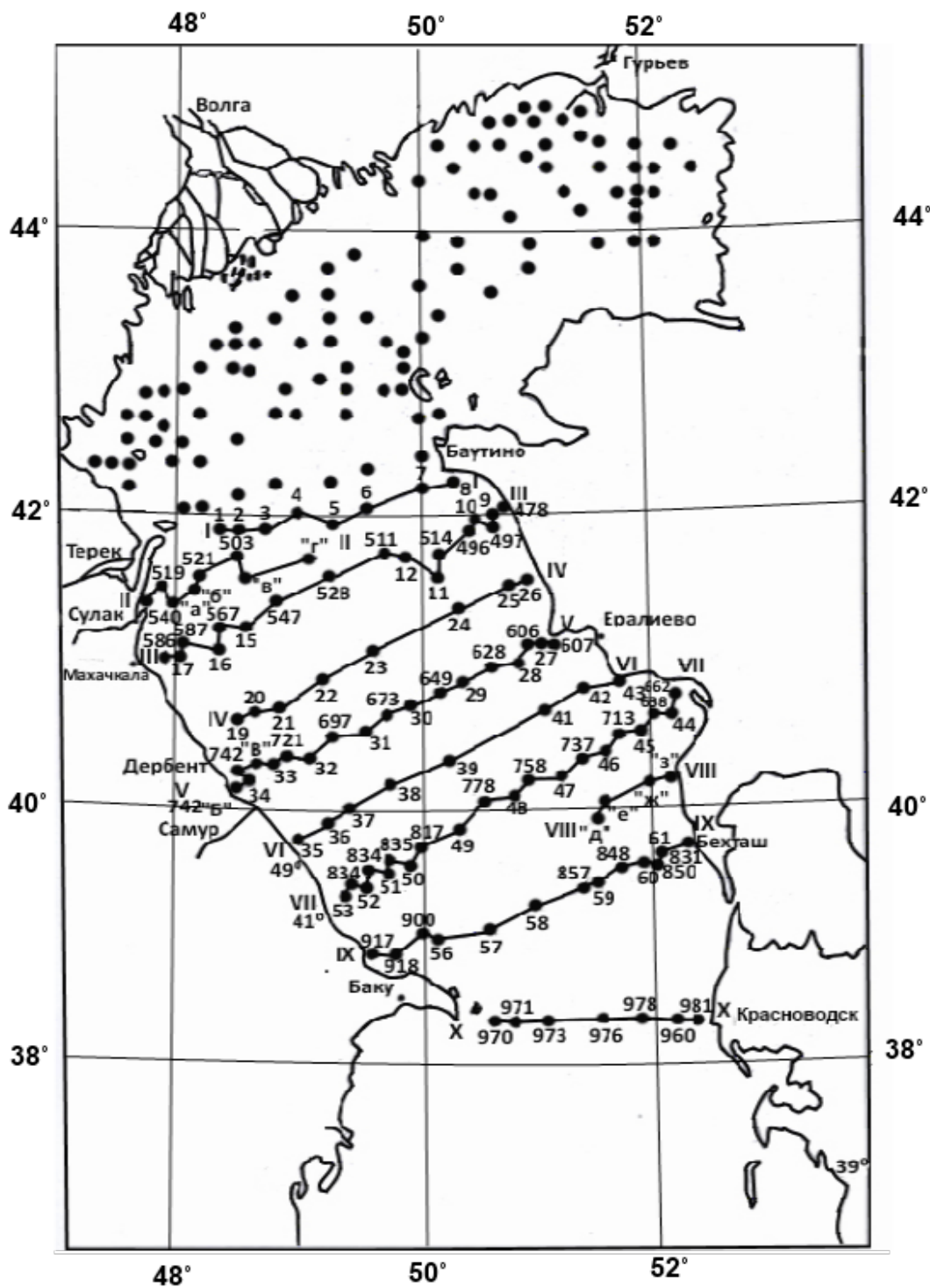


Рис. 1. Схема размещения станций отбора проб

области не соединяются между собой и, видимо, относятся к отдельным провинциям поступления микроэлементов. Изолиния значения железа менее 20 мкг/л четко оконтуривает авандельтовое пространство реки Волги, тем самым, вероятно, опре-

деляя границу влияния волжских вод на содержание элемента. В глубоководной впадине Среднего Каспия содержания металла достигают максимальных величин более 40 мкг/л. Возможно, это связано с проявлением грязевого вулканизма, активизирующегося в период трансгрессивной фазы развития моря [Ковалев, 2003]. Как в центральной части Северного Каспия, так и в Дербентской впадине, дно которых заполнены мелкоалевритовыми и глинистыми илами, обогащение наддонных вод растворенной формой железа происходит за счет перехода рекреационной части элемента (Fe^{2+} , Fe^{3+}) из иловых вод в придонные горизонты в процессе массообмена в системе «осадок-вода». Южнее Среднекаспийской котловины наблюдается постепенное понижение концентраций растворенного железа до меньших значений (менее 20 мкг/л). Геохимической особенностью мелководного Северного Каспия является то, что водные массы довольно быстро реагируют на те изменения в содержании железа, которые вызваны огромными поступлениями Fe раств. 24,2 тыс. т/год с речным стоком [Коновалов, Коренева, 1979].

В глубоководном Среднем Каспии выделяются три характерные зоны по степени гидродинамической активности, количеству поступающего растворенного и обломочного вещества, степени развития фито- и зоопланктона. Первая зона (от уреза до изобаты 50 м) прибрежная, наиболее подвержена волновому и дрейфовому движению водных масс, сюда выносятся значительные количества растворенных и взвешенных микроэлементов, здесь во всем деятельном слое фотосинтеза интен-

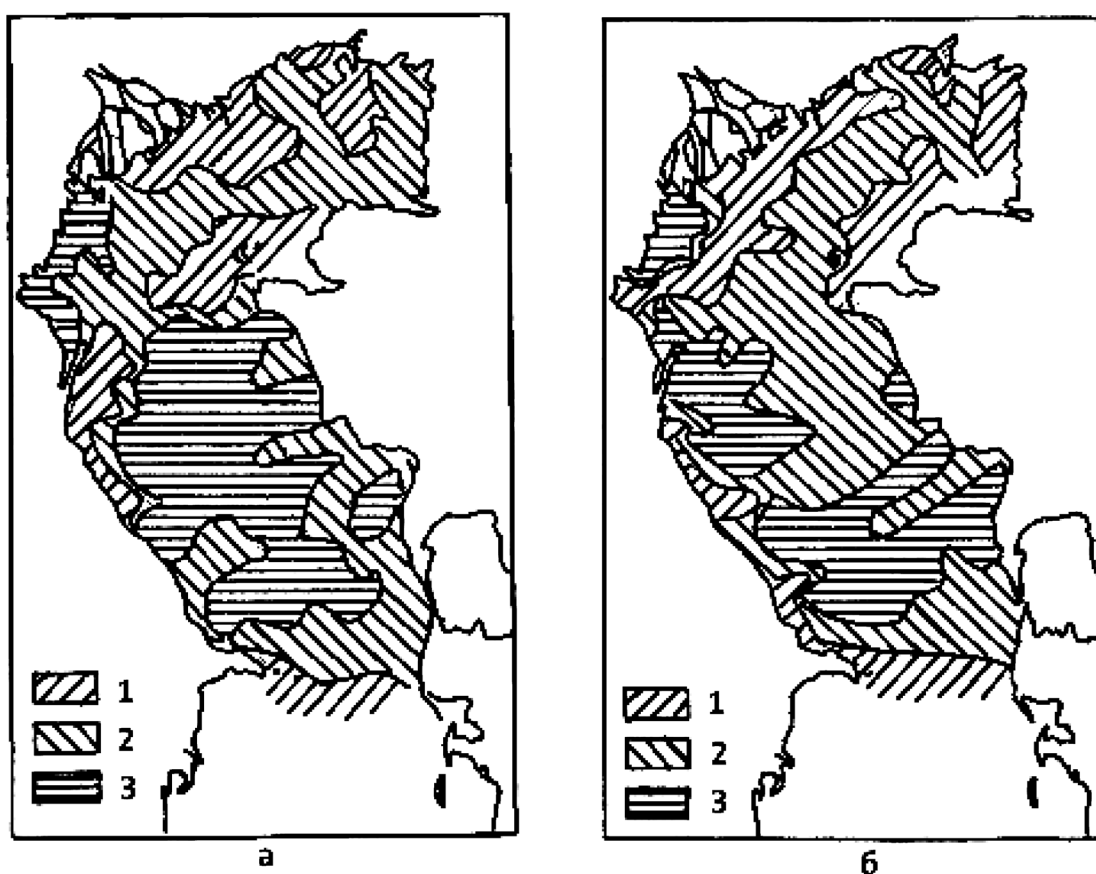


Рис. 2. Распределение растворенного железа, мг/л: а – в поверхностном слое; б – в наддонном слое. 1 – менее 20; 2 – 20–40; 3 – более 40.

сивно развивается планктон. Главным образом, эти вышеперечисленные факторы способствовали некоторому увеличению содержания Fe раств. в поверхностном слое (29,0 мкг/л) по сравнению с наддонным (28,7 мкг/л). Вторая зона (от 50 до 200 м изобаты) – шельфовая, находится в пределах основного циклонального течения Каспийского моря. На поверхности происходит снижение содержания железа по сравнению с первой зоной. Видимо, она является областью трансформации элемента, по мере его прохождения от прибрежных к центральным районам моря. Наибольшие концентрации железа сосредоточены в промежуточных слоях на глубине от 50 до 100 м, к наддонному горизонту содержания уменьшаются. В слое максимального градиента плотности, расположенного на глубине 25–28 м, происходит еще большее увеличение содержания железа (микроэлементов). Немаловажную роль на распределение Fe раст. во второй зоне оказывает фитопланктон. В процессе фотосинтеза он способен связывать растворенные элементы в протоплазму и скелетные образования, т.е. в органическую взвесь. Некоторые виды фито организмов могут даже усваивать железо в виде коллоидных соединений типа Fe (ОН₃). Учитывая, что вторая зона в основном находится в пределах циклонального течения, несущего большие количества биогенных элементов, здесь следует ожидать интенсивное развитие планктона. В западную часть Среднего Каспия биогенные вещества поступают с течением, направленным из пределов Северного Каспия, на востоке – в результате подъема вод из глубинных горизонтов.

Третья зона (от 200 м изобаты до максимальных глубин) занимает глубоководную, центральную, халистатическую часть Среднего Каспия. Здесь наблюдаются незначительные, но более частые изменения в содержании железа по вертикали. Отмечаются отдельные пики с повышенными (в поверхностном горизонте, в слое 200–500 м и у самого дна) и пониженными концентрациями элемента (в слое 100–300 м и 500–600 м).

Анализ распределения растворенного железа по разрезам Среднего Каспия (рис. 3) показал, что основные изменения концентрации элемента происходят в первой (прибрежной) и второй (шельфовой) зонах. Особенно сильные колебания величин зафиксированы в первых трех разрезах, приуроченных к области влияния речного стока Терека и Сулака. Приустьевые районы, как было отмечено, отличаются многообразием факторов, способствующих как увеличению, так и уменьшению содержания микроэлементов. Снижение концентрации Fe раст. вызваны флокуляцией, адсорбцией, разбавлением речной и морской воде и потреблением фитопланктоном. Увеличение железа определяется поступлением с речным стоком растворенных форм, десорбцией минералов-носителей, разложением остатков фито- и зоопланктона. Незначительные колебания железа наблюдаются в крайней восточной части почти всех разрезов Среднего Каспия, вследствие поступления сюда из пустынных областей суши только взвешенных терригенных частиц. Значения растворенного железа, превышающих ПДК, в периоды исследований обнаружены не были.

Распределение растворенного марганца. По степени насыщения вод Каспийского моря, это второй элемент семейства железа. Минимальные и максимальные концентрации марганца варьируют в пределах чувствительности метода его определения Среднее значение на поверхности Каспия составляет 7,3 мкг/л, у дна немного меньше – 6,3 мкг/л. Марганец, как и железо, в основном поступает в Каспийское море во взвешенном состоянии, весовые соотношения между растворенными и взвешенными частями элемента имеют следующие пропорции: Волга 1:45–1:50,

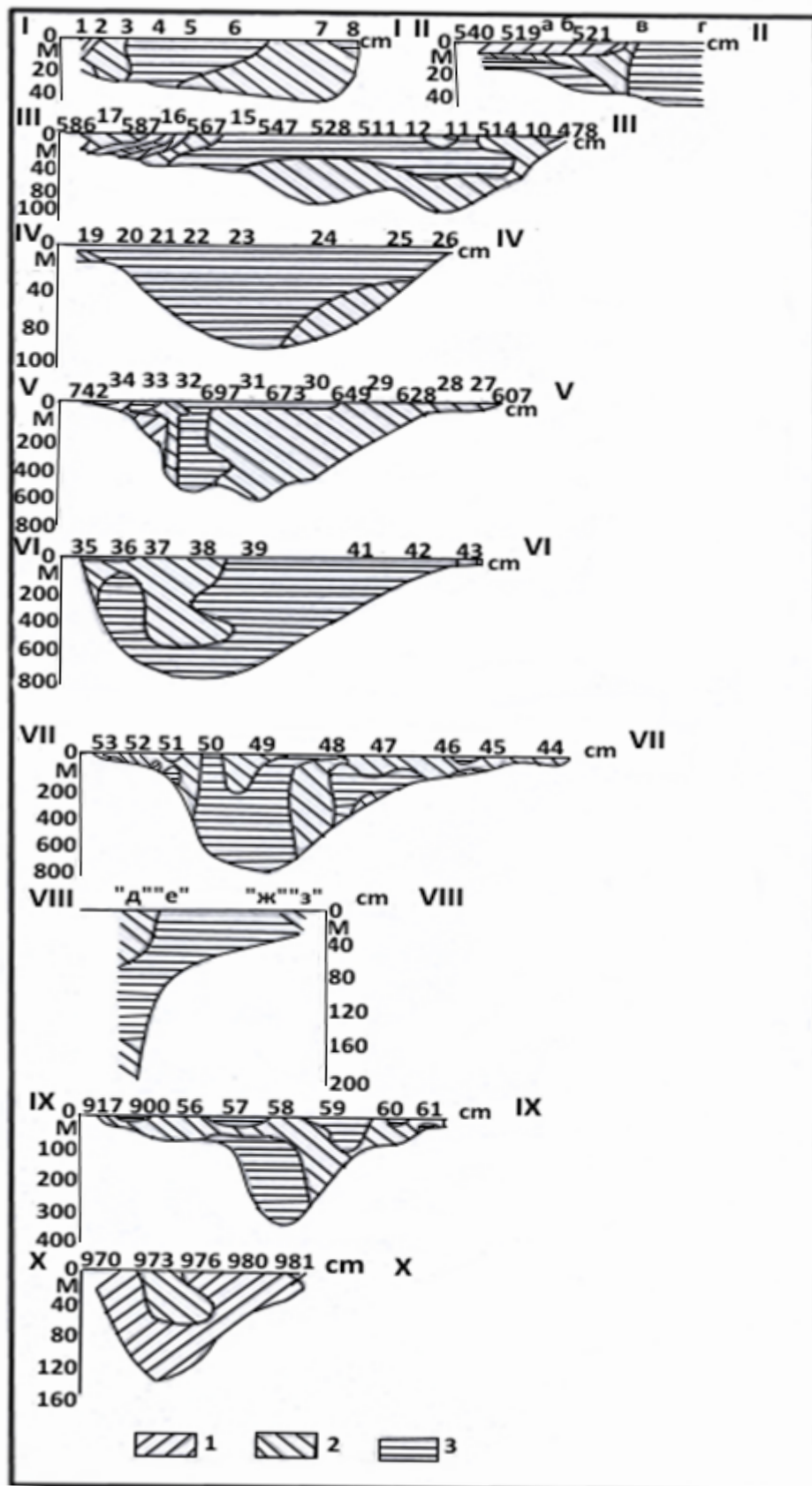


Рис. 3. Распределение растворенного железа по разрезам, мг/л: 1 – менее 20; 2 – 20–40; 3 – более 40.

Терек и Урал 1:99. В растворе речных вод марганец мигрирует в виде ионов, нерастворимых и органических комплексов [Коновалов, Коренева, 1979]. В реках Каспийского бассейна (Волга, Урал, Кура, Терек) в растворенном состоянии переносится в среднем 1,7% марганца, что в 6–7 раз больше, чем железа. Растворенный марганец, попадая с речной водой в морскую среду, не так активно флокулирует, как, например, органическая форма железа [Закруткин и др., 2002]. Это объясняется тем, что уже с речным стоком значительное количество марганца поступает, главным образом, в виде коагулированных коллоидных гелей гидроокисей, которые в аэробных условиях состоят из гидратированной двуокиси марганца $MnO(OH)_2$. Вместо процессов коагуляции в геохимическом барьере «река-море» на передний план выступает простое разбавление речной водой. Здесь же происходит изменение соотношения форм Mn взв./ Mn раств. в сторону увеличения последней в среднем до 3,4%. В зоне смешения пресных и соленых вод растворенный марганец, примерно в равных количествах, находится как в неорганической, так и в органической связанной формах [Лисицын и др. 1985]. В водной толще Каспийского моря растворенный марганец распределен еще более неравномерно по сравнению с железом. На поверхности сохраняется приуроченность средних значений (5–10 мкг/л) элемента к приустьевым районам равнинных рек, вследствие его больших поступлений с речным стоком. В жидком слое река Волга выносит 3,49, Терек – 0,081 и Урал – 0,021 тыс. т/год марганца [Коновалов, Коренева, 1979]. В Среднем Каспии,

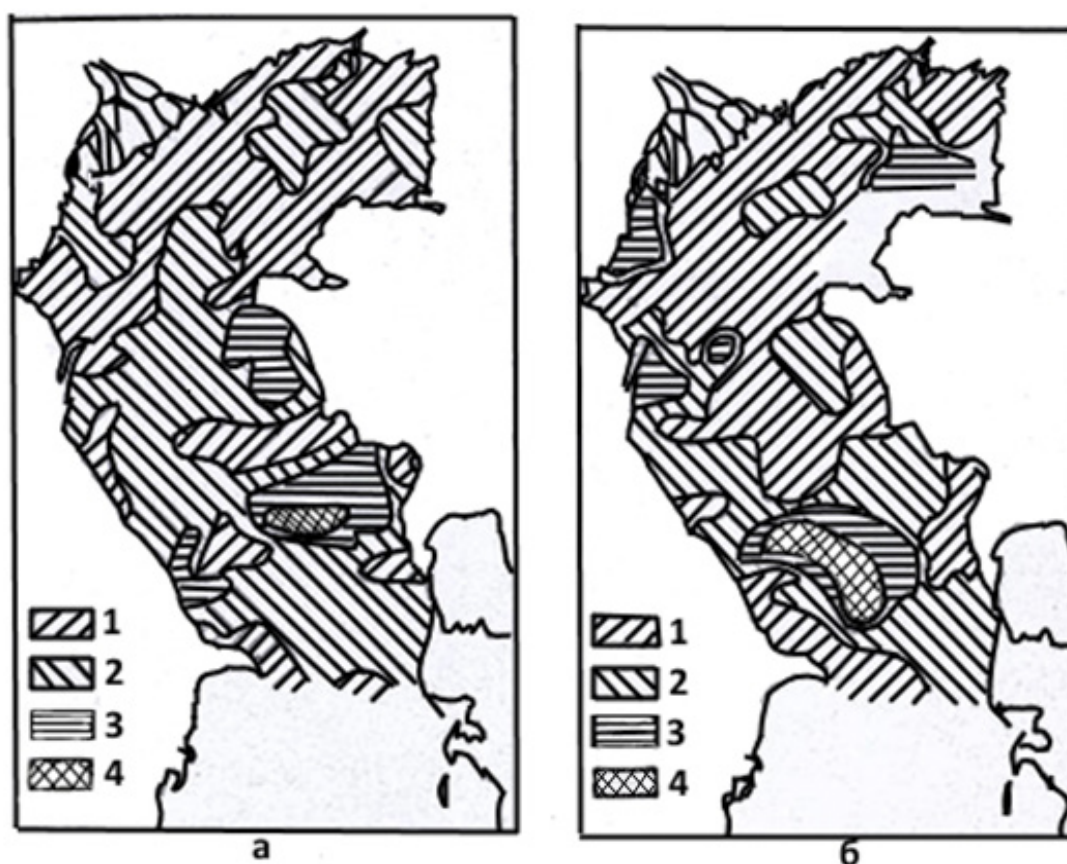


Рис. 4. Распределение растворенного марганца, мкг/л: а – в поверхностном слое; б – в наддонном слое. 1 – менее 5; 2 – 5–10; 3 – 10–20; 4 – более 20.

по сравнению с Северным, основную площадь, (главным образом, в его центральных частях) занимают средние значения марганца (5–10 мкг/л). Минимальные содержания элемента (менее 5 мкг/л) рассредоточены отдельными небольшими ареалами, тяготеющими как к западному, так и восточному берегу. На участке выхода обогащенных металлом глубинных вод у восточного побережья наблюдаются высокие (10–20 мкг/л) и максимальные (более 20 мкг/л) концентрации марганца, превышающие ПДК по рыбохозяйственному критерию в 1,5–2 раза. В наддонном горизонте Каспийского моря характер распределения растворенного марганца несколько меняется (рис. 4). Более значительным становится влияние речных вод на концентрацию элемента в приустьевых областях. Но не только за счет прямого поступления марганца с речным стоком обуславливается рост значений металла.

Он определяется и через косвенные факторы: во-первых, развитием в поверхностных слоях фитопланктона, активно потребляющего растворенные формы микроэлементов (Mn раств.), и зоопланктона, усваивающего как взвешенные формы металлов (Mn взв.), так и сами водоросли. В результате отмирания и частичного разложения, фито- и зоопланктона в глубинных слоях вод, происходит увеличение минеральных и растворенных органических форм элементов, к ним, в первую очередь, принадлежит марганец. Во-вторых, мягкие (алевро-пелитовые) грунты приустьевых пространств рек обогащены марганцем: 0,071% в авандельте Волги, 0,078% – Урала, 0,074% – Терека и 0,109% – Самура [Закруткин и др., 2002]. В процессе диффузионного обмена, направленного в основном из донных осадков, наблюдается увеличение содержания марганца в придонных слоях вод. Наглядным примером проявления такой зависимости являются авандельты рек Терека и Сулака. Если в поверхностном горизонте вод здесь преобладали минимальные (менее 5 мкг/л) и средние значения элемента (5–10 мкг/л), то в наддонных слоях основными становятся повышенные концентрации (10–20 мкг/л). Увеличение содержания марганца до 20,0 мкг/л происходит также у устья Волги и Урала. В целом для водной толщи Северного Каспия наблюдается незначительная тенденция увеличения содержания марганца от поверхностного к наддонному горизонту, главным образом, за счет образования высоких концентраций элемента у дна.

В Среднем Каспии на поверхности, сохраняются повышенные содержания марганца, что указывает не только на апвеллинг глубинных вод, но и на развитие здесь планктонных организмов. Эти два процесса (гидродинамические и биологические) обычно действуют последовательно. Высокая продуктивность фитопланктона восточных прибрежных районов Среднего Каспия обеспечивается существованием циклонической циркуляции, приводящей к подъему глубинных вод, несущих биогенные элементы для потребления фитоорганизмами. Наибольшие значения марганца (более 20 мкг/л) приурочены к придонным слоям глубоководной Дербентской впадины. Определяющими факторами максимального содержания элемента послужили, во-первых, процессы массообмена в системе «донные осадки – иловая вода – придонная вода». Как правило, при смене физико-химической обстановки в придонных слоях вод, на границе раздела «твердая–жидкая фаза» (при непосредственном участии органического вещества и микроорганизмов) происходит переход металлов из осадков в иловую воду ($Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$, $Mn^{4+} \rightarrow Mn^{2+}$). В результате диффузионного обмена, направленного из иловых вод, наблюдается увеличение содержания микроэлементов в придонных слоях вод. Во-вторых, другим источником обогащения марганца является фито- и зоопланктонные организмы, способные после

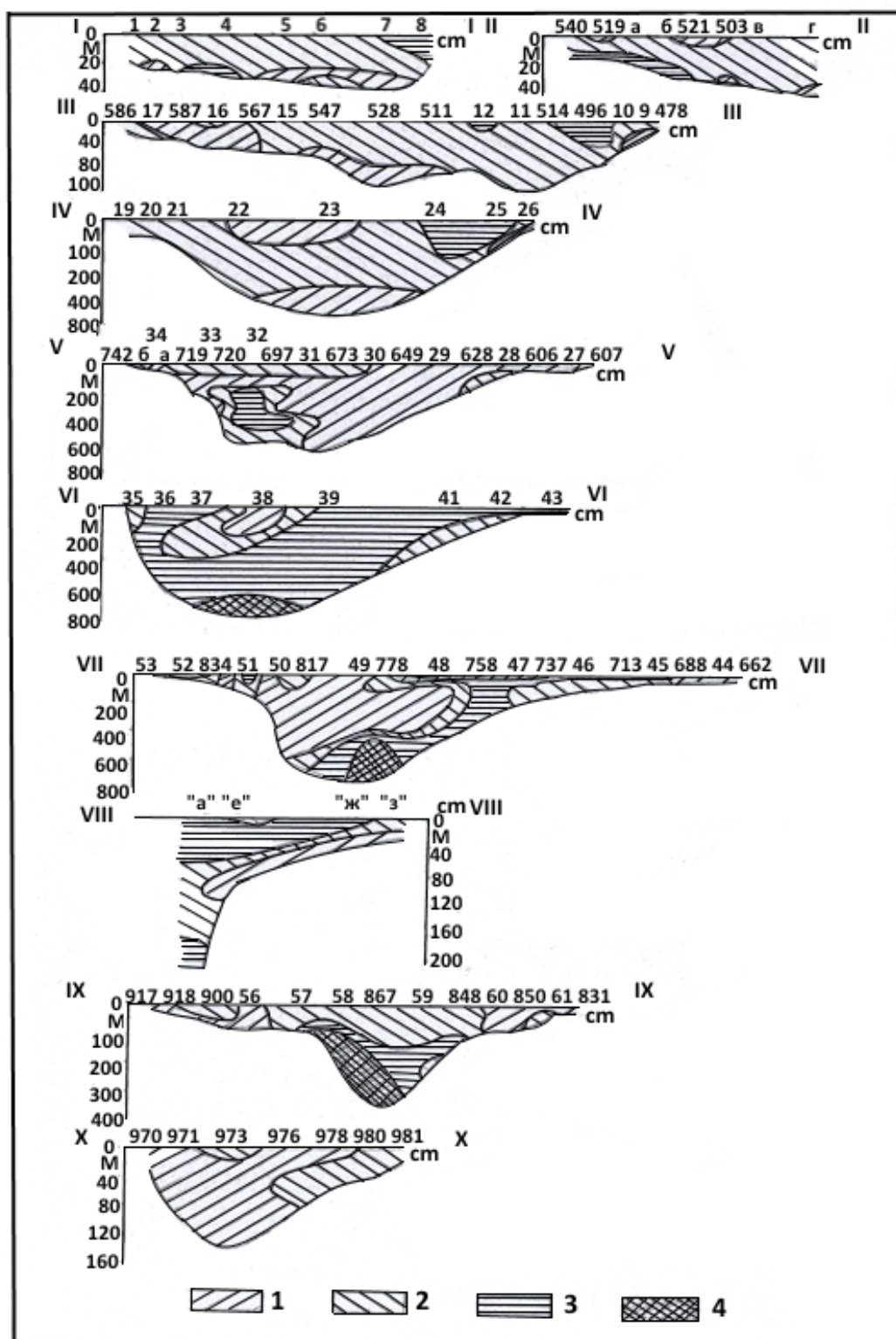


Рис. 5. Распределение растворенного марганца по разрезам, мкг/л. 1 – 5; 2 – 5–10; 3 – 10–20; 4 – более 20

отмирания и дальнейшего разложения остатков, отдавать в водную среду элементы, сконцентрированные в процессе жизнедеятельности. Большая роль в накоплении металлов в глубоководной котловине Среднего Каспия принадлежит некоторым

видам зоопланктона. В общем для всей водной толщи Каспийского моря за счет действия гидробиологических, гидродинамических и геохимических процессов характерно постепенное уменьшение растворенного марганца от поверхностного (7,3 мкг/л) к наддонному (6,3 мкг/л) горизонту. В Среднем Каспии прослеживается тенденция увеличения разницы между содержанием марганца в поверхностном и наддонном слое вод по направлению от прибрежной зоны (1 мкг/л), через шельфовую (1,3 мкг/л) к глубоководной (1,7 мкг/л). То есть, по мере увеличения глубины моря и, следовательно, длительности пребывания элемента в водной среде возрастает вероятность адсорбции и биологического поглощения марганца. Процесс уменьшения концентрации марганца, как было уже отмечено, во всех трех зонах определяется адсорбцией растворенных форм элемента на гидроокислах железа, глинистых и пелитаморфных частиц, а также вследствие увеличения в аэробных условиях среды коллоидных гелей гидроокислов и образования взвешенных, аутигенных форм $MnCO_3$. В первой прибрежной зоне «нормальное» распределение нарушается на приустьевых пространствах рек, где глубинные горизонты обогащены марганцем, за счет диагенетических и биохимических факторов. Во второй переходной зоне на глубине 50, иногда 100 м, наблюдается некоторое увеличение содержания марганца, обусловленное, главным образом, преобладанием процессов деструкции над продукцией фито- и зоопланктона. По сравнению с первой зоной, здесь намечается некоторое снижение растворенных форм марганца, как на поверхности, так и у дна. В третьей халистатической зоне Среднего Каспия из-за биохимических и физико-химических причин, которые уже подробно рассмотрены при описании распространения железа, от поверхностного к наддонному горизонту прослеживается несколько разнонаправленных пиков в колебании средних значений элемента. Верхний деятельный слой фотосинтеза (от поверхности до 50 м) обогащен растворенным марганцем, на глубине, примерно, 100 м наблюдается снижение, а в инфрапелагиали (200–500 м) увеличение содержания металла, потом опять (с 600 м до дна) происходит уменьшение концентрации элемента. Исключение составляют придонные слои самой глубоководной впадины Среднего Каспия, где идет процесс повышения растворенных форм марганца до самых высоких величин (более 20 мкг/л). В целом для всего центрального района водной толщи третьей зоны Среднего Каспия характерны повышенные содержания марганца по сравнению с прибрежной и шельфовой областями. Почти на всех разрезах из-за сорбции и адсорбции, наблюдается понижение концентраций марганца в наддонных слоях вод. Только на профиле II–II, западная часть которого находится на авандельте реки Самур, в наддонном слое содержания элемента достигают 20 мкг/л. На разрезах, имеющих незначительные глубины, преобладают средние концентрации марганца (5,0–10,0 мкг/л), понижающиеся у самого дна до значения менее 5,0 мкг/л. С ростом глубины, на разрезах V–V; VI–VI; VII–VII; IX–IX, происходит увеличение концентраций растворенного марганца до 20 мкг/л и более в наддонных слоях среднекаспийской глубоководной впадины, что, как уже выяснено, вызвано диагенетическими преобразованиями в илах и деструкцией некоторых видов зоо- и фитопланктона. Дополнительным источником обогащения придонных слоев и грунтовых растворов марганцем и другими микроэлементами может являться разгрузка подземных минерализованных вод [Ковалев, Парада, 2013]. Поступающие с субмаринной водой двухвалентные формы железа и марганца, попадая в окислительную обстановку, из растворенного состояния переходят во взвесь, оседают и тем самым увеличивают свою концентрацию

донных осадков. Вот почему марганца в каспийских осадках содержится больше, чем в черноморских по всем литологическим разностям. В восточной части моря на разрезе VII–VII хорошо вырисовывается апвеллинг глубинных вод. В Среднем Каспии по сравнению с Северным наблюдается увеличение содержания растворенной формы марганца в поверхностном и наддонном горизонтах (вероятно, и в промежуточных водах) почти в два раза. Вероятность нахождения значений растворенного марганца выше ПДК (10 мкг/л) возрастает на приустьевых участках рек, особенно в наддонном горизонте, на востоке Среднего Каспия в местах подъема глубинных вод и наддонном слое Дербентской котловины.

Анализ распределения растворенных железа и марганца в водной толще Каспия позволяет, во-первых, проследить закономерности, свойственные этим элементам и, во-вторых, выявить специфические особенности каждого. На характер размещения микроэлементов оказывают влияние многочисленные факторы: близость источников поступления (речной сток, эоловый вынос, атмосферные осадки, диффузия из иловых растворов, субмаринная разгрузка грунтовых вод), физико-химические и термодинамические различия (комплексобразование, адсорбция, десорбция, растворение, флокуляция), биогеохимические преобразования (связывание растворенных форм элементов во взвешенные под действием органического вещества и обратный переход из взвеси в раствор), образование плохо растворимых гидроокислов железа и марганца, диагенез в донных осадках. Все эти перечисленные процессы приводят к неравномерному распределению микроэлементов по горизонтали и вертикали исследуемого водоема. На приустьевых пространствах рек наблюдается увеличение площадей, занятых высокими концентрациями элементов. С учетом того, что равнинными реками на акваторию моря поставляется больше растворенной формы металлов, чем с горными реками, в которых преобладает взвешенная форма, следует, что ареалы распространения максимальных величин на авандельте Волги и Урала на значительное расстояние вдаются в открытое пространство Северного Каспия, на авандельтах Терека, Сулака, Самура они не так явно выражены и приурочены ближе к берегу. В поверхностном горизонте повышение содержания железа, отчасти марганца занимают центральные части моря. В наддонном горизонте железо и марганец сохраняют тенденцию повышения концентраций к центральным областям моря. В глубоководном Среднем Каспии эти величины смещаются к центральной котловине. Вследствие процессов массообмена на границе «осадок – водная толща», деструкции планктона, частичного растворения гидроокислов железа и марганца, а также некоторых минеральных соединений, поступления подземных вод за счет субмаринной разгрузки в придонном слое Среднекаспийской впадины наблюдаются максимальные концентрации микроэлементов.

В общем, для всей водной толщи мелководного Северного Каспия происходит незначительное увеличение содержания микроэлементов от поверхностного к придонному слою вод. Эта закономерность справедлива и для глубоководного Среднего Каспия. Однако, здесь распределение металлов по вертикали имеет более сложный характер, чем в Северном Каспии, вследствие, во-первых, продукции и деструкции фито-зоопланктона, способного концентрировать, а после отмирания отдавать в водную среду металлы; во-вторых, связывания микроэлементов в коллоидные окисные и гидроокисные образования (взвесь) и растворение при появлении локальных восстановительных условий; в третьих – сорбционных и адсорбционных процессах на взвешенных гидроокислах и органическом детрите; в четвертых,

гидродинамических особенностей глубоководной части моря (апвеллинг, склоновые течения и т. д.). Большинство этих факторов способствуют увеличению времени пребывания каждого элемента в водной среде от момента его поступления, до времени его мобилизации, седиментации и захоронения в донных осадках. Можно указать еще ряд причин, но главный механизм, способный вызвать сильные флуктуации концентраций микроэлементов, остается один – развитие и отмирание планктонных организмов. Конечно, и в Северном Каспии действуют приведенные причины, но из-за его мелководности, они сnivelированы. В прибрежной шельфовой зоне Среднего Каспия, вследствие близости источников поступления растворенных форм элементов, на поверхности отмечаются более высокие их содержания, чем у дна. В переходной зоне (на шельфе от 50 до 200 м) с ростом глубины, концентрации увеличиваются за счет разложения планктона, опустившегося из верхних слоев. В третьей глубоководной халистатической зоне намечается три пика экстремальных (максимальных) значений металлов: первый – на поверхности деятельного фотосинтетического слоя, второй – в инфрапелагиали (200–500 м) и третий – в наддонном горизонте (700 м).

Литература

1. Виноградова Э.А., Еремина Н.Э., Коган Г.М. О вертикальном распределении микроэлементов, растворенных в воде Черного моря // ДАН СССР, 1971. – Т. 204, № 3. – С. 704–706.
2. Демина Л.Л., Гордеев В.В., Фомина Л.С. Формы железа, марганца, цинка и меди в речной воде и взвеси и их изменения в зоне смешения речных вод с морскими (на примере рек бассейнов Черного, Азовского и Каспийского морей) // Геохимия, 1978. – № 7. – С. 1211–1229.
3. Закруткин В.Е., Бессонов О. А, Ковалев В.В. Колебание уровня Каспийского моря: геологические и социально-экологические последствия на Российском побережье // Известия СКНЦ ВШ, 2002. – № 3. – С. 72–79.
4. Ковалев В.В., Парада С.Г. Геологические аспекты современных изменений уровня Каспийского моря. Вестник Южного научного центра РАН, 2013. – Т. 9, № 2. – С. 38–46.
5. Ковалев В.В. Причины эвстазии Каспийского моря // Известия СКНЦ ВШ. Естественные науки. 2003. – № 2. – С. 1–9.
6. Коновалов Г.С., Коренева В.И. Вынос микроэлементов речным стоком с территории СССР в моря в современный период. Гидрохим. матер. 1979. – Т. XXV. – С. 11–21.
7. Лисицын А.П., Гордеев В.В., Демина Л.Л., Лукашин В.Н. Геохимия марганца в океане // Изв. АН СССР. Серия геол., 1985. – № 3. – С. 18–26.
8. Усенова Н.А., Дильмаганбетов С.Н. О содержании некоторых микроэлементов в воде р. Эмбы Актюбинской области // Геология, география, и глобальная энергия. 2010. – № 2 (37). С. 148–152.

DOI: 10.23671/VNC.2016.3.20832

THE DISTRIBUTION OF DISSOLVED FORMS OF IRON AND MANGANESE IN THE WATER COLUMN OF THE CASPIAN SEA

© 2016 V.V. Kovalev, Sc. Cand. (Geol.-Min.), S.I. Felitsin, Sc. Cand. (Tech.)

State Maritime University named after Admiral F.F. Ushakov, Institute of water transport, Russia, 344006, Rostov-na-Donu, Sedova str., 8; e-mail: kovalev-45@mail.ru; fsi1956@mail.ru

Based on the results of chemical analyses of water samples 518 North Caspian, middle and southern Caspian Sea, partially, the contents of soluble forms of the most common elements of iron and manganese. Provides maps of the spatial distribution of these elements in the surface and aquifers, as well as on vertical sections of the water column. For each of the studied elements identified factors that determine its concentration and patterns of distribution in seawater.

Keywords: Caspian Sea water column, vertical cuts, the dissolved form, iron, manganese, concentration.