

О ВОЗМОЖНОМ ВЛИЯНИИ СРЕДНЕГО КАСПИЯ НА КАЧЕСТВО ВОДЫ В СЕВЕРНОМ КАСПИИ

Исследовано распределение тяжелых металлов в воде, донных отложениях и поровых водах Северного и Среднего Каспия. Показано, что восстановительные процессы на границе донные осадки – придонная вода в районе континентального склона Среднего Каспия могут приводить к выносу тяжелых металлов в водную толщу и являться источником вторичного загрязнения Северного Каспия. Это подтверждается распределением Mn в свободных и поровых водах Северного и Среднего Каспия в 1994-1995 гг.

Введение

Тяжелые металлы – один из важных компонентов загрязняющих веществ для вод Северного Каспия. Основным источником поступления тяжелых металлов (ТМ) в Северный Каспий является речной (в первую очередь волжский) сток. Однако при изучении процессов, формирующих химический состав Северного Каспия (в том числе содержание ТМ), необходимо иметь в виду, что циркуляция вод Каспийского моря способствует поступлению вод из Среднего Каспия в Северный. Для Каспийского моря характерна циклоническая циркуляция вод (рис. 1) [1]. Под влиянием преобладающих ветров северных румбов создается дрейфовый поток вод из северной части моря вдоль его западного берега на юг. Апшеронский полуостров делит это течение на две ветви. Одна из них огибает Апшерон и движется на юг до Иранских берегов, где поворачивает на восток, а вблизи шельфа восточного берега – на север, проникая в среднюю и восточную часть моря. Другая ветвь отклоняется Апшеронским полуостровом на восток и у восточных берегов соединяется с водами, идущими на север. У полуострова Мангышлак эти воды частично отклоняются на запад и замыкают циклонический круговорот в Среднем Каспии, частично уходят в северную часть

В.С. Брезгунов,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт водных проблем Российской академии наук

В.Ф. Бреховских*,
доктор технических наук, профессор, руководитель группы, ФГБУН Институт водных проблем Российской академии наук

С.К. Монахов,
кандидат географических наук, директор, Каспийский морской научно-исследовательский центр (КаспМНИЦ)

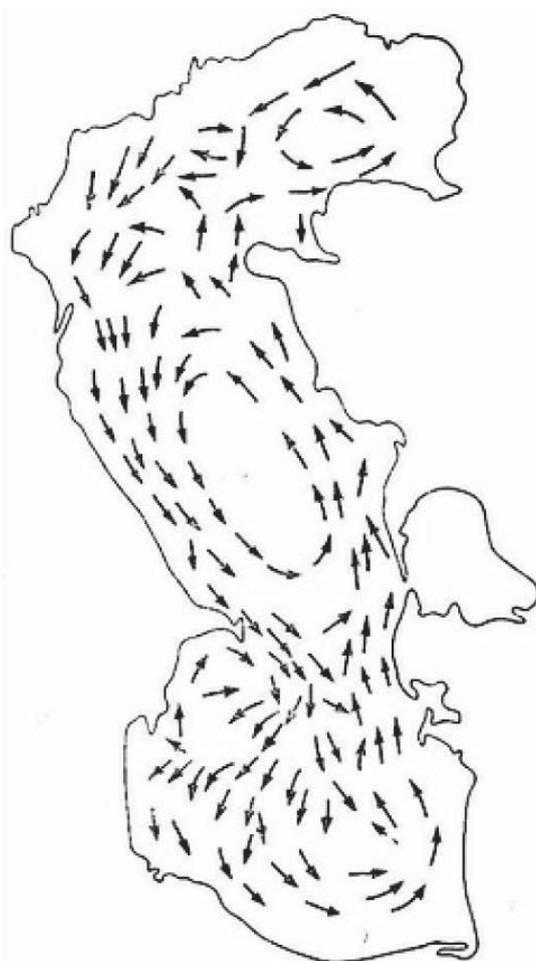


Рис. 1. Циркуляция вод Каспийского моря [1].

моря, оказывая влияние на гидрохимические процессы Северного Каспия. Для районов смешения речных и морских вод в устьевых зонах окраинных морей Мирового океана предполагается относительное постоянство элементного состава океана, отражающее большую инерцион-

* Адрес для корреспонденции: vadim@aqua.laser.ru

ность океана [2]. Однако подобные процессы нельзя априорно перенести на устьевые системы Каспийского моря, к одной из которых можно отнести Северный Каспий. Микрокомпонентный состав вод Каспийского моря может существенно отличаться от вод Мирового океана. Кроме того, вследствие гораздо меньшей инерционности моря его элементный состав может быть весьма неоднородным в пространстве и во времени. Эта неоднородность в большей мере должна проявляться в Среднем Каспии по сравнению с Южным из-за меньшего объема и повышенного влияния материкового стока.

Известно, что в зоне смешения пресной (речной) и морской воды происходят активные физико-химические процессы, которые очищают речные воды естественным путем – работает т.н. «маргинальный фильтр», препятствующий загрязнению морских вод. Эти процессы приводят к тому, что в устьевых зонах рек происходит осаждение более 90 % взвешенных частиц и около 40 % растворенных веществ. Следует ожидать, что для замкнутого бассейна, каковым является Каспийское море, «маргинальный фильтр» не будет столь же эффективен в очистке морских вод от поступающих с речным стоком загрязняющих веществ (**ЗВ**), как это имеет место для прибрежных морей океана. Как отмечено в [3], в работе «маргинального фильтра» важную роль играют процессы, которые развиваются под дном эстуария в системе донные осадки – иловая вода - придонная вода, названная авторами нижним этажом «маргинального фильтра». Приведенные в этой работе детальные исследования макро- и микросостава иловых вод в Днепровско-Бугском лимане Черного моря показали, что в зоне смешения морских и речных вод концентрации ряда элементов, в том числе Mn, Fe, Cu, Zn, в иловой воде на 1–3 порядка превышает их содержание в придонной воде. Геохимические и гидродинамические процессы, происходящие на нижних этажах «маргинального фильтра», как отмечают авторы [3], могут явиться источником вторичного загрязнения водоемов.

Баланс ЗВ в Северном Каспии включает в себя водообмен между Средним и Северным Каспием, а также баланс взвешенных веществ. Важной расходной составляющей баланса взвешенных веществ является регулярный вынос мелкодисперсной фракции, имеющей повышенные концентрации ТМ, в Средний Каспий. Приведенные в [4] оценки показывают, что из Северного в Средний Каспий поступает взвеси на 25,5 млн.тонн/год больше, чем в обратном направлении.

З.В. Волкова,
кандидат
географических наук,
старший научный
сотрудник, ФГБУН
Институт водных
проблем Российской
академии наук

Для надежной оценки факторов, влияющих на перенос и накопление ТМ в Северном Каспии необходимо иметь представление об уровнях содержания и пространственно-временной изменчивости концентраций этих элементов в водных массах и осадочных отложениях Среднего Каспия.

В настоящее время, благодаря реализации программы производственного экологического мониторинга ОАО «Лукойл» в северной части Каспийского моря, накоплен и опубликован обширный экспериментальный материал, позволяющий оценить пространственно-временную изменчивость содержания ТМ в воде и донных отложениях Северного Каспия и выявить определенные закономерности в их распределении. В данной работе кроме опубликованных результатов, полученных в ходе реализации этой программы [4, 5], приведены ранее не публиковавшиеся данные.

Следует отметить, что доступных представительных данных о содержании ТМ в водных массах и осадках Среднего Каспия очень мало. На странице сайта ЕСИМО (Единая система информации об обстановке в мировом океане) [6] представлены результаты экспедиционных исследований в районе «Ялама-Самур» на Среднем Каспии в 2004 г., включающие определение концентраций ТМ в воде и донных отложениях в августе и октябре 2004 г. Площадь «Ялама-Самур» лежит в области, приблизительно характеризующейся координатами 42° с.ш. и 49° в.д.

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 представлены диапазоны вариаций и средние значения концентраций ряда ТМ на площади «Ялама-Самур» в сопоставлении с аналогичными результатами определений на двух участках Северного Каспия. Оба северокаспийских участка расположены вблизи границы между Северным и Средним Каспием, в районе, где происходит интенсивный водо- и солеобмен между этими бассейнами. В этом же районе происходит транспортировка взвешенного материала из Северного в Средний Каспий.

Из таблицы видно, что для трех из шести представленных в ней элементов (Mn, Cu, Ni) диапазоны вариаций и средние концентрации их в воде Северного и Среднего Каспия практически совпадают. Изменчивость концентраций Zn в августе 2004 г. на площадке «Ялама-Самур» в Среднем Каспии существенно превышает соответствующие значения в воде Северного Каспия в течение всего достаточно продолжительного

Таблица 1

Сопоставление изменчивости и средних концентраций тяжелых металлов в воде Северного и Среднего Каспия (мкг/л)

		Средн. Касп., Ялама-Самур 08.2004	Средн. Касп., Ялама-Самур 10.2004	Сев. Касп., Хвалынское 1997-98	Сев. Касп., Хвалынское 2000	Сев. Касп., Хвалынское 2001	Сев. Касп. Участок Северный 1998-2003	Сев. Касп. Участок Северный 2006-2008
Mn	max	1,9	5,3			6	10,65	2,06
	min	1,0	1,5			2	0	0,09
	midl	1,42	2,77	2,6	3,5	4	2,5	1,1
Cu	max	4,9	3,0			7	14,1	5,1
	min	3,0	1,4			3	0,1	0,8
	midl	3,75	1,82	2,6	4,0	4	2,16	2,35
Zn	max	245	17,1			33	26,73	7,1
	min	0,5	0,5			2	0	2
	midl	24,3	3,23	3,3	15	12	4,5	3,75
Ni	max	3,2	3,1			9	6,56	3,1
	min	0,5	1,1			3	0	0,5
	midl	1,31	1,96	1,5	2,1	6	1,84	1,5
Pb	max	0,58	0,13			8	16,08	2
	min	0,01	0,02			3	0	0,8
	midl	0,14	0,067	1,4	2,75	5	2,65	1,45
Cd	max	0,28	0,1				4,05	0,3
	min	0,01	0,01				0	0
	midl	0,06	0,043	0,18	0,65		0,5	0,1

Примечание – пустые графы – отсутствие данных

периода наблюдений. Для двух элементов (Pb, Cd) диапазоны вариаций средних концентраций в воде Среднего Каспия существенно ниже, чем в Северном.

При всей скудности материалов по Среднему Каспию данные таблицы свидетельствуют, что процессы водо- и солеобмена между Северным и Средним Каспием следует учитывать при оценке уровней загрязненности некоторыми ТМ южных районов Северного Каспия.

Источниками поступления ТМ в Средний Каспий, помимо выноса их в растворенной форме из Северного, могут являться хозяйственная деятельность на берегах, шельфах и в бассейнах рек, впадающих в Средний Каспий, а также поступление ТМ из донных отложений, накопившихся в результате непрерывного выноса взвешенных веществ из Северного Каспия.

На рис. 2 представлены результаты определения концентраций Cu, Zn, Mn, Ni в донных осадках ряда площадей Северного Каспия и площади «Ялама-Самур» (Средний Каспий). Расположение площадок Северного Каспия по оси абсцисс весьма условно соответствует направлению с севера на юг. Максимальные концентрации ТМ в Северном Каспии

наблюдались в 2000 г. в зоне выхода из Волго-Каспийского канала. По мере удаления от устья р. Волга содержание ТМ в донных отложениях в этот период заметно снизилось до уровня, который характерен для многолетних средних значений на уже известных полигонах Хвалынское и Северный. В донных отложениях Среднего Каспия концентрации Cu, Zn, Mn, Ni существенно возрастают. Менее представительные данные

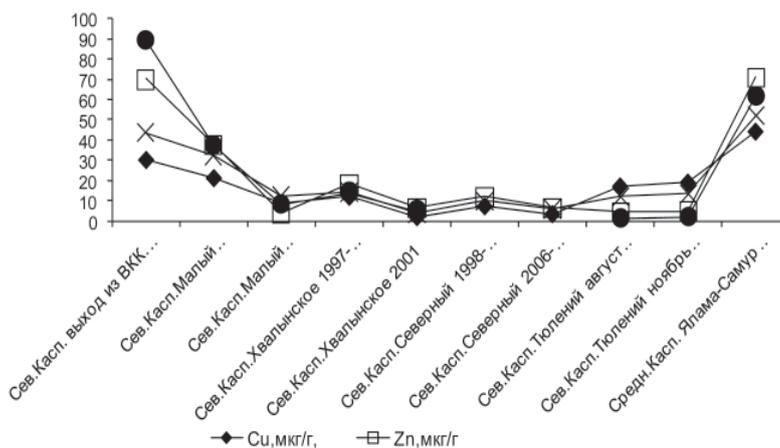


Рис. 2. Cu, Zn, Mn, Ni в донных отложениях Северного и Среднего Каспия.

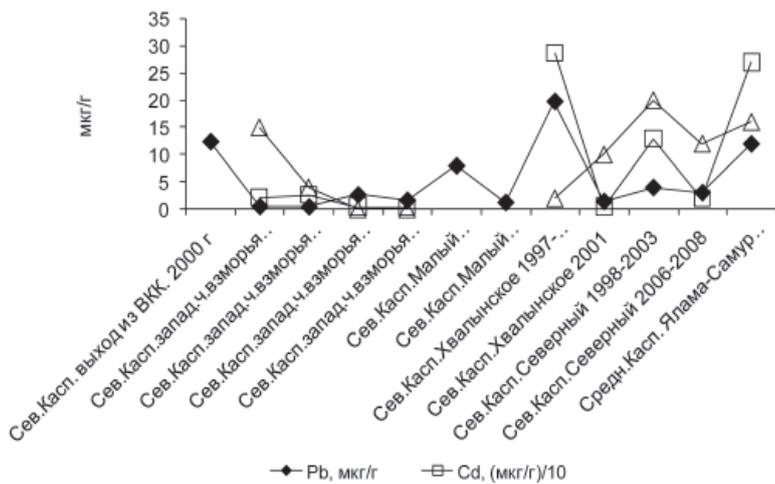


Рис. 3. Pb, Cd, Hg в донных отложениях Северного и Среднего Каспия.

о содержании Pb, Cd, Hg в донных отложениях на этих полигонах характеризуются существенной изменчивостью в Северном Каспии, при этом концентрации этих элементов в донных отложениях на площади «Ялама-Самур» в Среднем Каспии соответствует среднему уровню содержания их в Северном (рис. 3).

То, что донные отложения могут вносить существенный вклад в содержание ТМ в водных массах Среднего Каспия, подтверждается данными о распределении Mn в 1994–95 гг. в водных массах Каспийского моря и поровых водах донных отложений, отобранных в глубинных областях Среднего и Южного Каспия (рис. 3) [7, 9, 10].

На рис. 3. представлено распределение Mn в свободной воде Каспийского моря в 1995 г. Содержание Mn в водных массах Среднего и Южного Каспия в этот период значительно превышает его содержание в Северном, при этом максимальные концентрации Mn наблюдаются в глубинных водах Среднего Каспия. Этот факт находит свое объяснение при рассмотрении распределения этого элемента в поровых водах из колонок осадочных отложений, отобранных в 1994 г. в глубоководных частях Среднего и Южного Каспия (рис. 4) [10].

Во всех образцах поровых вод содержание Mn существенно выше, чем в свободной воде Каспийского моря. Отметим, что поровые воды среднекаспийских колонок имеют более высокие концентрации Mn, чем южнокаспийские. Особенно велико содержание Mn в колонке 9421, расположенной в северной части Среднего Каспия (координаты станции 42°50'31'' с.ш., 49°51'17'' в.д., глубина отбора 463 м). Здесь концентрации Mn более чем на два порядка превышают его

содержание в свободной воде моря. Это позволяет утверждать, что источником повышенного содержания Mn в глубинных горизонтах среднекаспийских вод являются донные отложения. Следует отметить, что эта станция расположена у основания континентального склона Среднего Каспия, где происходит интенсивное осаждение мелкозернистых осадков, выносимых из Северного Каспия и с западного берега Среднего Каспия. Помимо аномально высоких концентраций Mn для поровых вод колонки 9421 характерно существенно более высокое содержание Sr и U по сравнению с другими глубоководными колонками Среднего и Южного Каспия [10].

Можно полагать, что наряду с наблюдаемыми пространственными вариациями в водной толще Каспийского моря для Mn характерны и временные вариации его содержания, связанные с изменением гидрологической структуры вод моря. Устойчивая вертикальная гидрологическая структура моря уменьшает поступление растворенного кислорода в глубинные горизонты и способствует развитию восстановительных условий на границе придонная вода – донные осадки, что, в свою очередь, способствует поступлению Mn из осадков в водную толщу. 1994–95 гг. соответствуют максимальному подъему уровня Каспийского моря, начавшемуся с середины 70-х годов прошлого столетия, которое сопровождалось формированием устойчивой вертикальной гидрологической структуры моря [8, 11]. Вполне возможно, что в этот период донные отложения являлись более активным донором Mn в водную толщу моря, и уровни содержания Mn после перестройки вертикальной структуры вод могут быть заметно

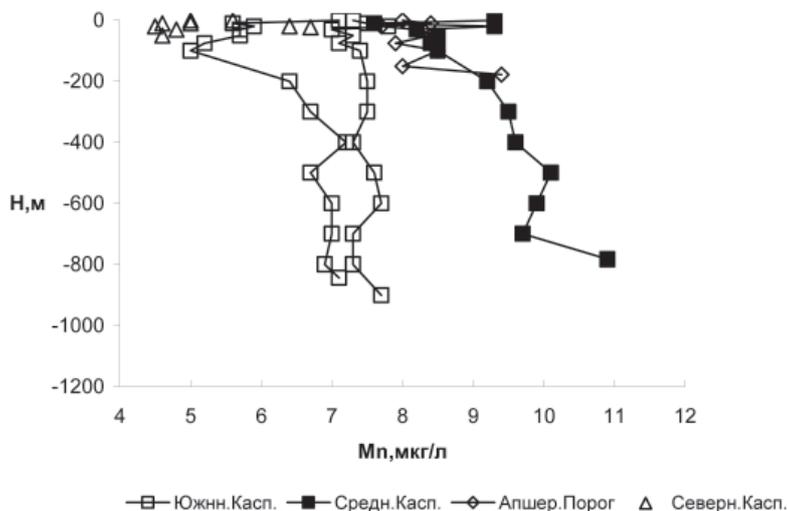


Рис. 4. Распределение Mn в водной толще Каспийского моря [9].

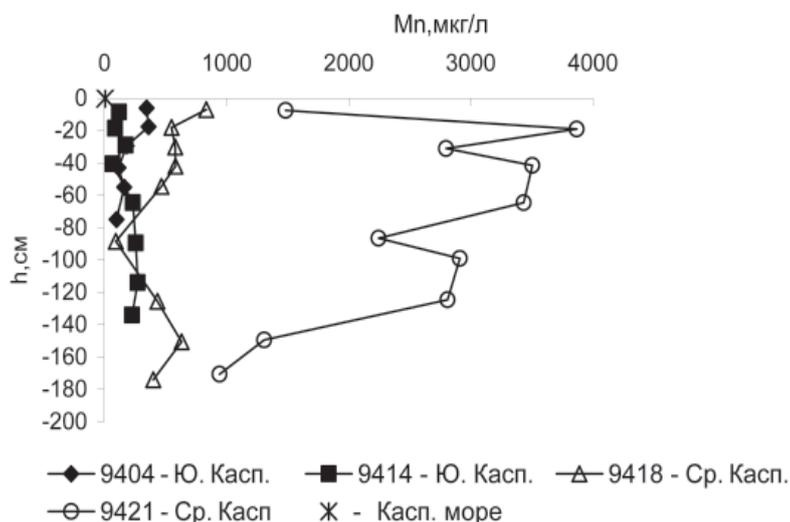


Рис. 5. Содержание Mn в поровых водах колонок донных отложений, отобранных в глубоководных областях Среднего и Южного Каспия [10].

снижены. Показательно сравнение распределения концентраций Mn в поровых водах в верхнем 20-см слое четырех глубоководных колонок донных отложений Среднего и Южного Каспия (рис. 5). В этом слое на всех колонках было отобрано по две пробы. Самый верхний слой поровых вод был опробован на глубине 7 см от поверхности, второй слой – на 10–11 см ниже. В Южном Каспии концентрация Mn на обоих горизонтах меняется незначительно. В самой южной колонке 9404 концентрация Mn в верхнем слое на 17 мкг/л меньше, чем в нижнем; в колонке 9414, расположенной в северной части Южного Каспия, – на 33 мкг/л больше. Прямой и обратный градиенты концентраций здесь составляют 2 и 3 мкг/л/см. В колонке 9418, расположенной на широте 41°30' в глубинной области Среднего Каспия, концентрация Mn в верхнем слое почти на 300 мкг/л больше, чем в нижнем. Совсем иная картина в распределении Mn наблюдается в колонке 9421, где отмечено максимальное содержание этого элемента в поровых водах. Здесь концентрация Mn в поровых водах на глубине 7,5 см от поверхности дна на 2380 мкг/л меньше, чем в слое на глубине 19 см. Градиент концентраций составляет 207 мкг/л/см, что отражает существование направленного вверх вертикального потока растворенного Mn в самом верхнем слое донных отложений колонки. Этот вертикальный поток из глубоководных донных отложений северной части Среднего Каспия ответственен за наблюдаемые значительные превышения содержания Mn в воде глубинных горизонтов Среднего Каспия по сравнению Южным (рис. 5).

Приведенные данные о распределении Mn в свободной воде, донных отложениях и поровых водах Северного и Среднего Каспия позволяют предложить следующую картину переноса этого элемента в системе Северный – Средний Каспий. Выносимый реками в растворенной форме и во взвеси Mn, в результате работы «маргинального фильтра» осаждается на дно в зоне смешения морских и речных вод. Гидрологические условия в Северном Каспии способствуют взмучиванию донных осадков и выносу мелкозернистой фракции, содержащей повышенные концентрации тяжелых металлов, в Средний Каспий. Эта фракция накапливается в донных отложениях в Среднем Каспии в основании континентального склона. Восстановительные процессы, развивающиеся в этих донных отложениях, способствуют переходу Mn в поровые воды в растворенной форме. Возникающие значительные градиенты концентраций растворенного Mn на границе донные отложения – придонная вода увеличивают концентрацию Mn в водной толще Среднего Каспия до уровней, превышающих его содержание в воде Северного Каспия, что, в конечном счете, приводит в результате водообмена между этими водоемами к возвращению Mn в Северный Каспий. Имея в виду сходное с Mn распределение Cu, Zn, Ni в донных отложениях Северного и Среднего Каспия (рис. 2), нельзя исключать вероятности в какой-то мере сходного переноса других тяжелых металлов в системе Северный – Средний Каспий.

Заключение

Приведенные результаты показывают, что при оценке экологического состояния Северного Каспия необходимо иметь представление о распределении ЗВ в Среднем Каспии и процессах, контролирующих его в пространстве и во времени.

Литература

1. Порохнин А.П. Экологическая среда нефтегазового комплекса Каспийского моря А.П. Порохнин, А.А. Курапов, В.В. Андреев и др. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2009. № 9. С. 8-14. <http://caspiy.net/images/stories/ecologicheskaya-sreda-neftegazovogo-kompleksa-ka...>
2. Шулькин В.М. Металлы в экосистемах морских мелководий. Владивосток: Дальнаука. 2004. 278 с.
3. Гурский Ю.Н., Лисицын А.П. Геохимические особенности процессов на нижнем

этаже маргинального фильтра река – море / Ю.Н. Гурский, А.П. Лисицын // ДАН. 2011. Т. 436. № 3. С. 368-376.

4. Экологическая политика ОАО «ЛУКОЙЛ» на Каспийском море. Т. 1. Состояние окружающей природной среды при проведении изыскательских и геологоразведочных работ на структуре «Хвалынская» в 1997-2000 гг. Астрахань: Издательско полиграфический комплекс «Волга». 2000. 130 с.

5. Экологическая политика ОАО «ЛУКОЙЛ» на Каспийском море. Т. 2. Охрана окружающей среды при поиске, разведке и добычи углеводородного сырья в северной части Каспийского моря. Астрахань.: Издательско полиграфический комплекс «Волга» Изд-во?. 2003. 256 с.

6. http://esimo.oceanography.ru/esp1/index.php?sea_code=2§ion=8&menu_code=3481

7. Брезгунов В.С. Содержание ряда микроэлементов в Каспийском море в связи с различными типами распределения растворенных элементов в морской среде (по результатам экспедиционных работ 1995 г.) / В.С. Брезгунов, В.И. Ферронский // Вод. ресурсы. 2004. Т. 31. № 1. С. 73-77.

Ключевые слова:

вторичное загрязнение, свободные и поровые воды, тяжелые металлы, потоки загрязняющих веществ, Каспийское море

8. Брезгунов В.С. Природный тритий как индикатор перестройки вертикальной структуры водных масс Каспийского моря при колебаниях его уровня / В.С. Брезгунов, В.И. Ферронский // Вод. ресурсы. 2005. Т. 32. № 4. С. 406-409.

9. Брезгунов В.С. Закономерности пространственного распределения ряда макро- и микроэлементов в водных массах Каспийского моря / В.С. Брезгунов, В.И. Ферронский // Вод. ресурсы. 2006. Т. 33. № 5. С. 630-636.

10. Брезгунов В.С. Макро- и микроэлементы в поровых водах глубинных областей Южного и Среднего Каспия / В.С. Брезгунов, В.И. Ферронский // Вод. Ресурсы. 2010. Т. 37. № 6. С. 700-708.

11. Тужилкин В.С. Многолетняя изменчивость вертикальной термохалинной структуры вод глубоководных частей Каспийского моря / В.С. Тужилкин, А.Н. Косарев // Вод. ресурсы. 2004. Т. 31. № 4. С. 414-421.



V.S.Brezgunov, V.F.Brekhovskikh, S.K. Monakhov, Z.V.Volkova

MIDDLE CASPIAN INFLUENCE ON WATER QUALITY OF NORTH CASPIAN

The distribution of heavy metals in water, sediments and pore waters of the North and Middle Caspian has been analyzed. It is shown that the development of recovery processes at border bottom sediments - bottom water near the continental slope of the Middle Caspian Sea could lead to removal of heavy metals in the water body and may cause secondary pollution of the North Caspian. This is confirmed by the distribution of Mn in free and pore waters of the Northern and Middle Caspian within the period 1994-1995.

Key words: Secondary pollution, pore and gravitational water, heavy metals, Caspian Sea