

## Концептуальная модель баланса загрязнения российского сектора Каспийского моря на примере свинца

В. О. Татарников , Д. С. Даирова, М. А. Очеретный

*Каспийский морской научно исследовательский центр, Российская Федерация  
(404145, г. Астрахань, ул. Ширяева, 14)*

**Аннотация:** Цель – апробация балансового метода получения фоновых значений концентрации на примере содержания свинца в российском секторе Каспийского моря.

**Материалы и методы.** Информационной базой исследования послужили открытые данные государственных структур России, а также архивные данные Каспийского Морского научно-исследовательского центра Росгидромета. Полученные значения концентраций были переведены в весовые единицы и суммированы по статьям «приход-расход» для получения значения баланса.

**Результаты и обсуждение.** В общей сложности, со всеми источниками, в российский сектор ежегодно поступает около 6 тыс. тонн свинца, а содержание во всех компонентах морской среды составляет 629 тыс. тонн. Удаление из объема российского сектора растворенного свинца оценивается на уровне 3,6-15,4 тыс. тонн. При этом установление равновесия будет наблюдаться при снижении концентрации растворенных форм свинца на границах российского сектора до 16,4 мкг/л.

**Выводы.** Полученные результаты указывают на снижение содержания свинца в российском секторе Каспийского моря, что косвенно подтверждается результатами производственного мониторинга нефтяных компаний, работающих на акватории российского сектора.

**Ключевые слова:** российский сектор Каспийского моря, баланс загрязняющих веществ, концептуальная модель, свинец, водообмен.

**Для цитирования:** Татарников В. О., Даирова Д. С., Очеретный М. А. Концептуальная модель баланса загрязнения российского сектора Каспийского моря на примере свинца // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2022, № 2, с. 111-117. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2022.2/9317>

### ВВЕДЕНИЕ

Одной из насущных проблем контроля загрязнения на современном этапе является определение фоновых концентраций загрязнителя. В нашей работе было принято, что формирование фоновой концентрации обусловлено балансом по данному загрязняющему веществу, т.е. с учетом поступления и удаления загрязнителя и вывода результирующего значения. Одним из методов решения данной проблемы является моделирование процессов, участвующих в балансе. Целью работы является создание концепции модели баланса загрязняющих веществ.

Объектом нашего исследования является российский сектор Каспийского моря. Географически это северо-западная часть Каспийского моря,

включающая западную часть Северного Каспия и северо-западную часть Среднего Каспия. Границей участка по морю являются государственная граница России с Казахстаном и Азербайджаном, промаркированная в соответствии с межгосударственными соглашениями.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Приходной частью баланса загрязняющих веществ в российском секторе Каспийского моря будет сток Волги, Терека, Сулака и Самура, атмосферные осадки, аэрозоли, хозбытовые стоки от Махачкалы, Каспийска и Дербента. При этом следует учитывать, что загрязняющие вещества поступают как в растворенном виде, так и в составе взвешенного вещества. В качестве тестируемого вещества мы решили рассмотреть свинец. Дан-



ный элемент является неэссенциальным металлом с выраженными токсическими свойствами.

По многолетним наблюдениям среднегодовой сток свинца рекой Волгой составляет 0,375 тыс. тонн при концентрации 1,35 мкг/л [11]. Для рек Дагестанского побережья такой оценки не проводилось, поэтому сток свинца был получен исходя из имеющихся и доступных данных. Так, по архивным данным КаспМНИЦ, среднегодовой сток реки Терек за 1965-2018 годы составил 9,75 км<sup>3</sup>, среднегодовой сток реки Сулак за период с 1976 по 2018 год составил 4,6 км<sup>3</sup>. Сток реки Самур оценивался по литературным источникам [12], по которым среднегодовой расход воды составляет 72,4 м<sup>3</sup>/сек, что равно 2,28 км<sup>3</sup> в год. Концентрация свинца в воде рек составила 0,546 мкг/л, 3,164 мкг/л и 1,96 мкг/л соответственно [14]. Таким образом, сток свинца реками Дагестана в Каспийское море не превышает 20 тонн (табл. 1).

С волжским стоком на устьевое взморье поступает 14 млн. тонн взвешенного вещества [13]. Со стоком рек Терек, Сулак и Самур на дагестанское побережье поступает 7,0,6,1 и 3,3 млн. тонн соответственно [7]. Содержание свинца во взвеси волжского стока составляет 37 мкг/г, а в реках дагестанского побережья – 198 мкг/г [13]. Сток свинца реками российского сектора в составе взвеси в Каспийское море оказался значительно больше стока растворенной формы и в общей сумме оценивается нами (см. табл. 1) на уровне 3,8 тыс. тонн.

Для Дагестанской части побережья характерна значительная урбанизация. Основными прибрежными населенными пунктами, вносящими существенный вклад в локальное загрязнение прибрежных морских вод, являются города Махачкала, Каспийск и Дербент. По данным Росстата на 1 января 2019 года, в Махачкале проживало 601286 человек, в Каспийске – 119238, в Дербенте – 124677. Водопотребление в Дагестане, составляет 50,161 м<sup>3</sup>/год. Если предположить, что вся эта вода поступает в городскую канализационную систему, а далее попадает прямо в море, то объем канализационных стоков от прибрежных городов Дагестана составит около 0,004 км<sup>3</sup>/год. В среднем содержание свинца в канализационных водах составляет 4 мкг/л [7], что даёт поступление 0,00017 тыс. тонн в год свинца канализационными водами, поступающими с дагестанского побережья.

Поступление свинца на акваторию российского сектора из атмосферы осуществляется двумя

путями – с атмосферными осадками и с потоком аэрозолей. В среднем за год на площадь Каспийского моря выпадает 76,6 мм атмосферных осадков [6]. Это составляет около 14,5 км<sup>3</sup> воды, получаемой с атмосферными осадками для российского сектора. По данным Астраханского заповедника средняя концентрация свинца за период 2014-2018 годы в атмосферных осадках составила 1,43 мкг/л, что равно 0,020735 тыс. тонн свинца, поступившего с атмосферными осадками. Поступление аэрозолей на площадь Каспийского моря в среднем оценивается на уровне 50 мг/м<sup>2</sup> сутки [15]. Концентрация свинца в аэрозолях в среднем находилась на уровне 290 мг/кг, что составляло 0,38 тыс. тонн в год.

После того, как мы описали все обнаруженные источники поступления свинца в объем российской части моря, можно заметить, что общая сумма свинца, поступающего по акваторию, составляет около 6 тыс. тонн (см. табл. 1). Более половины от всего количества поступает во взвешенном состоянии со стоком рек Терека и Самура. Значимым источником поступления можно назвать атмосферные осадки, на которые приходится около 30% от общего количества.

Для оценки баланса загрязняющего вещества, а также особенностей миграции также необходимо знать, сколько его уже присутствует в компонентах морской среды. Для этого мы рассмотрим содержание свинца в воде, во взвеси и донных отложениях российского сектора, а также в живых организмах.

По нашим гидрографическим расчетам, объем воды российского сектора Каспийского моря равен 8,7 тыс. км<sup>3</sup>. По наблюдениям Росгидромета 2012-2014 годов средняя концентрация свинца в воде российского сектора составила 5,62 мкг/л, что равно 48,9 тыс. тонн.

Для определения количества свинца, находящегося в донных отложениях, мы приняли площадь дна российского сектора Каспийского моря равной 75 тыс. км<sup>2</sup> (19 % от общей площади Каспийского моря, взятой за 396 тыс. км<sup>2</sup>), плотность донных отложений – 1,2 г/см<sup>3</sup> [9]. С другой стороны, содержание загрязняющих веществ оценивается в верхнем 5-сантиметровом слое донных отложений. Следовательно, при концентрации свинца в донных отложениях российского сектора 6,02 мкг/г (по данным наблюдений Росгидромета 2012-2014 года) мы получаем общее содержание его на уровне 27,1 тыс. тонн.

В среднем в российском секторе Каспийского моря (по данным наблюдений Росгидромета

Оценка количества поступающего на акваторию Каспийского моря свинца  
[Table 1. Estimation of the amount of lead entering the Caspian Sea]

Источник / Source		Концентрация / Concentration	Количество, тысяч тонн / Quantity, thousand tons	%
Речной сток / river flow	Волга, мкг/л / Volga, ug/L	1,35	0,37	6,31
	Терек, мкг/л / Terek, ug/L	0,546	0,0039	0,07
	Сулак, мкг/л / Sulak, ug/L	3,164	0,0152	0,26
	Самур, мкг/л / Samur, ug/L	1,96	0,0045	0,08
Сток взвешенных форм / flow of suspended solids	Волга, мкг/л / Volga, ug/L	37	0,52	8,87
	Терек, мкг/л / Terek, ug/L	198	1,39	23,7
	Сулак, мкг/л / Sulak, ug/L	198	1,21	20,6
	Самур, мкг/л / Samur, ug/L	198	0,65	11,1
Атмосфера / atmosphere	осадки, мкг/л / precipitation, ug/L	1,43	1,32	22,5
	аэрозоли, мг/кг / aerosols, ug/L	290	0,38	6,48
Хозяйственные стоки, мкг/л / householdsewage, ug/L		4	0,00017	0,003
<b>Итого / Total</b>			<b>5,86</b>	<b>100</b>

2012-2014 года) концентрация взвешенного вещества составила 3 мг/л, что составляет порядка 26,1 млн. тонн взвешенного вещества в водах сектора. Концентрация свинца в составе взвеси была равна 21,175 мг/кг. Отсюда получаем, что одновременно в составе взвешенного вещества российского сектора находится около 553 тыс. тонн свинца.

Для западной части Северного Каспия, входящей в российский сектор, характерно значительное развитие живых организмов в относительно небольшом объеме воды. В результате обменных процессов организмы могут накапливать неэссенциальные элементы, в том числе и свинец. По исследованиям КаспНИРХа [2], концентрация фитопланктона в западной части Северного Каспия составила 3072,5 мг/м<sup>3</sup>, зоопланктона – 939,1 мг/м<sup>3</sup>, бентоса – 14,3 г/м<sup>2</sup>.

Валовая биомасса фитопланктона при объеме западной части Северного Каспия, равном 250 км<sup>3</sup>, будет составлять 768,1 тыс. тонн, зоопланктона – 234,8 тыс. тонн. Валовая биомасса зообентоса при площади западной части Северного Каспия, равной 45,588 км<sup>2</sup> [7], будет составлять 0,65 тыс. тонн.

Зольность фитопланктона нами принята на уровне 35 % от сухого вещества, в то время как сухое вещество составляет 15-18 % [8], в среднем возьмем 16,5 %, это дает около 5,78 % золы от биомассы фитопланктона. При содержании свинца в золе фитопланктона 0,01 г/кг получаем, что 0,044 тыс. тонн свинца содержится в фитопланктоне. Содержание свинца в зоопланктоне мы рассчитываем, исходя из осреднённых значений для груп-

пы ракообразных, приведенных в монографии [5]. Приняв то, что из живого вещества получается 6,89 % золы, а из сухого – 20,6 % золы, концентрация свинца в золе составит 0,05 мг/г золы. Следовательно, в составе зоопланктона российского сектора содержится около 0,012 тыс. тонн свинца. Содержание свинца в составе моллюсков оценивается на уровне 10<sup>-6</sup> % [4]. Для удобства наших расчётов мы примем данный уровень концентрации характерным для всех групп бентосных организмов. В результате получаем, что в бентосе российского сектора содержится около 0,000000065 тыс. тонн свинца.

Всего в компонентах морской системы содержится около 630 тыс. тонн свинца, более 90 % этого количества находится в связанном состоянии в составе взвешенного вещества и донных отложений (табл. 2). Поступление свинца в российский сектор моря от всех источников составляет около 1,0 % от того количества, которое содержится в системе, т.е. для удвоения концентрации свинца в морской среде потребуется более 100 лет. Если же взять поступление растворенных форм свинца (2,094 тыс. тонн) и его содержание в морской воде, то удвоение концентрации свинца в морской воде произойдет более чем через 20 лет. Достаточно существенное время на удвоение концентрации говорит о том, что воздействие источников поступления на уровень содержания свинца будет иметь локальный характер.

Так как водный баланс российского сектора является положительным (испарение намного ниже речного стока), на границах сектора будут наблю-

Оценка количества находящегося в компонентах морской среды свинца в российском секторе Каспийского моря  
 [Table 2. Assessment of the amount of lead in the marine environment components in the Russian sector of the Caspian Sea]

Компонент среды / The environment component	Количество, тысяч тонн / Quantity, thousand tons	%
Морская вода / Seawater	48,9	7,77
Донные отложения / Sediments	27,1	4,30
Взвешенное вещество / Suspended solids	553	87,9
Фитопланктон / Phytoplankton	0,044	0,0070
Зоопланктон / Zooplankton	0,012	0,0019
Зообентос / Zoobenthos	0,000000065	1,0E-08
<b>Итого / Total</b>	<b>629,06</b>	<b>100</b>

даться течения, направленные из его акватории, а процессы водообмена будут составлять отрицательную часть баланса наравне с испарением.

По расчётам [3] водообмен российского сектора можно оценить следующим образом: поступает воды на акваторию 62,1-146-1 км<sup>3</sup>/год, уходит из акватории – 174,2-536,9 км<sup>3</sup>/год. Итоговый баланс будет характеризоваться удалением из акватории сектора 112,1-390,8 км<sup>3</sup>/год морской воды. По данным Росгидромета в 2013 году среднее содержание свинца в водах на границе российского национального сектора составило 28,1 мкг/л. Учитывая ориентировочные значения водообмена, убыль свинца в сопредельные участки может составлять 3,15-10,98 тыс. тонн в год. Это составляет около 6-20 % от общего содержания свинца в морской воде и может превышать его поступление от всех источников за год (см. табл. 1).

Другим процессом, который способствует удалению свинца с акватории, является испарение. Средняя концентрация свинца в поверхностном слое воды российского сектора за 2012-2014 годы (по данным наблюдений Росгидромета) составила 6,14 мкг/л. За период 1900-1990 годов в среднем объем испарения с поверхности Каспийского моря составлял 376,6 км<sup>3</sup> [6]. В пределах российского сектора это равно 71,5 км<sup>3</sup>. Общее количество свинца, которое может быть удалено с испарением, составляет около 439 тонн, что больше его поступления с волжским стоком. В сумме с акватории российского сектора удаляется около 3,5-11,4 тыс. тонн растворенных форм свинца.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общая схема баланса загрязняющих веществ российского сектора Каспийского моря будет состоять из трех частей: источников поступления,

объема российского сектора и процессов, способствующих удалению загрязняющих веществ (рис.). Для удобства источники загрязняющих веществ были объединены в 2 группы – связанные с атмосферой (А) и с поступлением с поверхностными водами (С). Поступление из атмосферы загрязняющих веществ идет через осадки (О) и с аэрозолями (А), которые также попадают в морскую воду (МВ). Поверхностный сток включает в себя речной и береговой сток и может оказывать воздействие на содержание загрязняющих веществ через поступление растворенных (РС) и взвешенных форм (ВВ). Растворенные формы попадают в морскую воду, а взвешенные в конечном итоге мигрируют в донные отложения (ДО).

В объеме воды российского сектора Каспийского моря (РСН) может наблюдаться перераспределение загрязняющих веществ между различными компонентами среды. В результате процессов поглощения и седиментации (Сд) растворенные формы загрязнителей могут переходить в донные отложения. Биологические сообщества (Б) способны поглощать (П) растворенные формы загрязняющих веществ и накапливать их у себя в организмах, а также переводить взвешенные и растворенные формы из воды в донные отложения в процессе биофильтрации и биоседиментации (Бс).

Транзит загрязняющих веществ в сопредельные участки (ИНС) может идти как вынос организмов (В), содержащих свинец, в результате гидродинамических (ГД) и литодинамических (ЛД) процессов.

Основными источниками поступления растворенных форм свинца являются речной сток, атмосферные осадки и аэрозоли. Более половины свинца, поступающего в российский сектор, поступает с атмосферными осадками. В сумме волжский

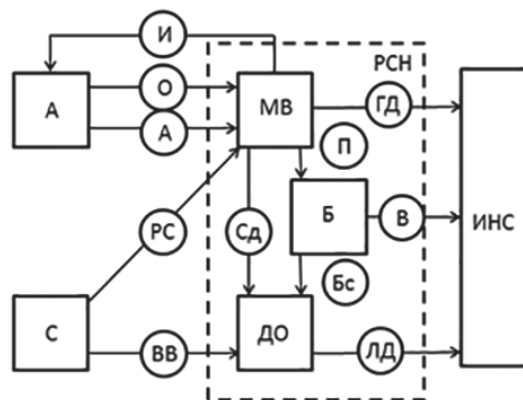


Рис. Концептуальная модель схемы баланса загрязняющих веществ российского сектора Каспийского моря  
 [Fig. Conceptual model of the pollution balance scheme of the Russian sector of the Caspian Sea]

сток, атмосферные осадки и аэрозоли дают более 99 % растворенных форм свинца, для российского сектора – всего 2,1 тыс. тонн в год. С процессами водообмена и испарения с акватории сектора удаляется 3,6-11,4 тыс. тонн в год. В результате мы получаем отрицательный баланс растворенных форм свинца в размере 1,5-9,3 тыс. тонн в год. Это должно приводить к снижению концентрации свинца в морской воде российского сектора. Установление равновесия будет наблюдаться при снижении концентрации растворенных форм свинца на границах российского сектора до 16,4 мкг/л в сравнении с 28,1 мкг/л. Интересно отметить, что, поданным производственного мониторинга ЛУКОЙЛ, в водах российского сектора весной 2020 года содержание свинца оказалось на порядок ниже значений 2013 года. В названный период поступление свинца с волжскими стоками снизилось примерно на одну треть [11], а выпадения атмосферных осадков, по данным климатических архивов, в районе острова Тюлений за последние три года практически не наблюдалось, в то время как в 2013 году составило около 200 мм. Это может свидетельствовать о снижении или стабилизации загрязнения вод российского сектора моря свинцом.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренная схема поступления и миграции свинца позволила выделить значимые источники и процессы, способствующие изменениям уровня концентрации свинца. Большую роль в динамике свинца в морской воде играют факторы, связанные с климатом. В этом смысле современное изменение глобального климата, выражающееся в повышении температуры приземного слоя воздуха, поверхностного слоя морской воды [1] способствует усилению испарения с поверхности моря и удалению части загрязняющих веществ. С другой

стороны, наблюдающаяся аридизация климата региона приводит к снижению количества атмосферных осадков и снижению поступления загрязняющих веществ с атмосферными осадками, т.е. глобальное потепление на данном этапе своего развития способствует снижению загрязненности российского сектора Каспийского моря свинцом.

Уменьшение стока свинца с волжскими водами и резкое снижение количества выпадающих осадков к настоящему времени должно было значительно снизить содержание свинца в морских водах российского сектора Каспийского моря.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аллаhverдиев З.С. Исследование изменчивости многолетних гидрометеорологических характеристик акватории нефтяных камней Каспийского моря // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология, 2018, № 3, с. 13-20.
2. Ардабьева А.Г. Тарасова Л.И., Малиновская Л.В. Кормовая база Северного Каспия в 2005 г. // Рыболовственные исследования на Каспии. Результаты НИР за 2005 год, 2006, с. 123-132
3. Барабашева Ю.М. Бродский Л.И., Девяткова Г.Н. Об оценивании параметров точечной модели водной экосистемы // Сборник статей «Теоретическая экология», 1987, с. 105-110.
4. Виноградов А.П. Химический элементарный состав организмов моря / отв. ред. Э.М. Галимов. Москва: Наука, 2001. 620 с.
5. Виноградова З.А. Роль морского планктона в миграции химических элементов // Гидробиологический журнал, 1965, т. 1, № 4, с. 12-18.
6. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том VI Каспийское море. Вып. 1 Гидрометеорологические условия. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1992. 357 с.
7. Каспийское море: Гидрология и гидрохимия. Москва: Наука, 1986. 261 с.
8. Котелевцев С.В. Экологическая токсикология и биотестирование водных экосистем. Москва: ИНФРА-М, 2015. 250 с.

9. Куприн П. Н., Багиров В. И. К познанию условий формирования донных отложений Среднего и Южного Каспия // *Комплексные исследования Каспийского моря*, 1971, вып. 2, с. 91-114.

10. МДК 3-01.2001 *Методические рекомендации по расчету количества и качества принимаемых сточных вод и загрязняющих веществ в системы канализации населенных пунктов*. Москва, 2001.

11. *Обзор тенденции и динамика загрязнения устьевой области Волги за период 1978-2018 гг.* / отв. ред Е.В. Островская. Астрахань, 2020. 122 с.

12. *Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 9. Закавказье и Дагестан. Вып. 3. Дагестан* / под ред. П.П. Буртовой. Ленинград: Гидрометеоздат, 1964. 76 с.

13. Савенко В.С. *Химический состав взвешенных наносов рек мира*. Москва: ГЕОС, 2006. 175 с.

14. Тяжелые металлы в речных водах Дагестана / А.М. Бутаев, М.А. Гуруев, У.Г. Магомедбеков и др. // *Вестник Дагестанского научного центра*, 2006, № 26, с. 43-50.

15. Aerosols in the Near-Water Surface Layer of the Caspian Sea / A. P. Lisitzin, V. N. Lukashin, A. N. Novigatsky i dr. // *Doklady Earth Sciences*, 2018, vol. 478, part 2, pp. 268–273.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 14.07.2021

Принята к публикации 30.05.2022

UDC 504.064.2.001.18

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2022.2/9317>

## Conceptual Model of the Pollution Balance of the Russian Sector of the Caspian Sea on the Example of Lead

V. O. Tatarnikov✉, D. S. Dairova, M. A. Ocheretny

*Caspian Marine Research Center, Russian Federation  
(14, Shiryayeva str., Astrakhan, 404145)*

**Abstract:** The aim is to validate the balance method for obtaining background concentration values by the example of lead content in the Russian sector of the Caspian Sea.

**Materials and methods.** The information base for the study was open data from Russian state structures, as well as archived data from the Caspian Marine Research Center of Roshydromet. The obtained values of concentrations were converted to weight units and summed up by "input-output" to obtain a balance value.

**Results and Discussion.** In total, with all sources, about 6,000 tons of lead enters the Russian sector annually, and the content in all components of the marine environment is 629,000 tons. The removal of dissolved lead from the volume of the Russian sector is estimated at the level of 3.6-15.4 thousand tons. At the same time, establishment of equilibrium will be observed when concentration of dissolved forms of lead at the boundaries of the Russian sector decreases to 16.4 µg/l.

**Conclusions.** The results indicate a decrease in the content of lead in the Russian sector of the Caspian Sea, which is indirectly confirmed by the results of industrial monitoring of oil companies operating in the water area of the Russian sector.

**Key words:** Russian sector of the Caspian Sea, balance of pollutants, conceptual model, lead, water exchange.

**For citation:** Tatarnikov V.O., Dairova D.S., Ocheretny M.A. Conceptual Model of the Pollution Balance of the Russian Sector of the Caspian Sea on the Example of Lead. *Vestnik Voronezskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2022, no. 2, pp. 111-117 (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2022.2/9317>

### REFERENCES

1. Allahverdiev Z. S. Issledovanie izmenchivosti mnogoletnih gidrometeorologicheskikh harakteristik akvatorii neftnyanyh kamnej Kaspijskogo morya [Study of

the variability of long-term hydrometeorological characteristics of the Caspian Sea oil rock area]. *Vestnik VGU. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2018, no. 3, pp. 13-20. (In Russ.)

© Tatarnikov V.O., Dairova D.S., Ocheretny M.A., 2022

✉ Vitaly O. Tatarnikov, e-mail: [tatarnikov@caspiannonitoring.ru](mailto:tatarnikov@caspiannonitoring.ru)



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

2. Ardabeva A.G., Tarasova L.I., Malinovskaya L.V. Kormovaya baza Severnogo Kaspiya v 2005 g. [The feed base of the Northern Caspian in 2005]. *Rybokhozyaystvennye issledovaniya Kaspii. Rezultaty NIR za 2005 god*, 2006, pp. 123-132. (In Russ.)

3. Barabasheva Yu.M., Brodskiy L.I., Devyatkov G.N. Ob otsenivanii parametrov tochechnoy modeli vodnoy ekosistemy [On the estimation of the parameters of the point model of the aquatic ecosystem]. *Sbornik statey «Teoreticheskaya ekologiya»*, 1987, pp. 105-110. (In Russ.)

4. Vinogradov A.P. *Khimicheskii elementarnyy sostav organizmov moray* [Chemical elementary composition of marine organisms] / otv. red. E.M. Galimov. Moscow: Nauka, 2001. 620 p. (In Russ.)

5. Vinogradova Z.A. Rol morskogo planktona v migratsii khimicheskikh elementov [The role of marine plankton in the migration of chemical elements]. *Gidrobiologicheskii zhurnal*, 1965, v. 1, no. 4, pp. 12-18. (In Russ.)

6. *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morey. Tom VI Kaspiyskoe more. Vyp. 1* [Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas. Volume VI The Caspian Sea. Issue 1 Hydrometeorological conditions]. SPb: Gidrometeoizdat, 1992. 357 p. (In Russ.)

7. *Kaspiyskoe more: Gidrologiya i gidrokhimiya* [Caspian Sea: Hydrology and Hydrochemistry]. Moscow: Nauka, 1986. 261 p. (In Russ.)

8. Kotelevtsev S. V. *Ekologicheskaya toksikologiya i biotestirovanie vodnykh ekosistem* [Ecological toxicology and biotesting of aquatic ecosystems]. Moscow: INFRA-M, 2015. 250 p. (In Russ.)

9. Kuprin P.N., Bagirov V.I. K poznaniyu usloviy formirovaniya donnykh otlozheniy Srednego i Yuzhnogo Kaspiya [To the knowledge of the conditions of formation of bottom sediments of the Middle and Southern Caspian]. *Kompleksnye issledovaniya Kaspiyskogo morya*, 1971, vol. 2, pp. 91-114. (In Russ.)

Татарников Виталий Олегович  
старший научный сотрудник Каспийского морского научно-исследовательского центра», г.Астрахань, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-7734-8740, e-mail: tatarnikov@caspiannonitoring.ru

Даирова Динара Сруровна  
ведущий научный сотрудник Каспийского морского научно-исследовательского центра», г.Астрахань, Российская Федерация, e-mail: dairova3110@mail.ru

Очеретный Максим Александрович  
научный сотрудник Каспийского морского научно-исследовательского центра», г. Астрахань, Российская Федерация, e-mail: netstormmaktatis@gmail.com

10. MDK 3-01.2001 *Metodicheskie rekomendatsii po raschetu kolichestva i kachestva prinimaemykh stochnykh vod i zagryaznyayushchikh veshchestv v sistemy kanalizatsii naseleennykh punktov* [Methodological recommendations for calculating the quantity and quality of wastewater and pollutants received in sewerage systems of settlements]. Moscow, 2001.

11. *Obzor tendentsii i dinamika zagryazneniya ustevoy oblasti Volgi za period 1978-2018 gg.* [Overview of the trends and the dynamics of pollution of the Volga estuary region during the period 1978-2018.] / otv. red E.V. Ostrovskaya. Astrakhan: Izdatel: Sorokin Roman Vasilevich, 2020. 122 p. (In Russ.)

12. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR: Gidrologicheskaya izuchennost'. T. 9. Zakavkaz'e i Dagestan. Vyp. 3. Dagestan* [Surface water resources of the USSR: Hydrological studies. Vol. 9. Transcaucasia and Dagestan. Issue 3. Dagestan] / pod red. P. P. Burtovoy. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1964. 76 p. (In Russ.)

13. Savenko V.S. *Khimicheskii sostav vzveshennykh nanosov rek mira* [Chemical composition of suspended sediments of the world's rivers]. M.: GEOS, 2006. 175 p. (In Russ.)

14. Tyazhelye metally v rechnykh vodakh Dagestana [Heavy Metals in Dagestan River Waters] / A.M. Butaev, M.A. Guruev, U.G. Magomedbekov i dr. *Vestnik Dagestanskogo nauchnogo tsentra*, 2006, no. 26, pp. 43-50. (In Russ.)

15. Aerosols in the Near-Water Surface Layer of the Caspian Sea / A. P. Lisitzin, V. N. Lukashin, A. N. Novigatsky i dr. *Doklady Earth Sciences*, 2018, vol. 478, part 2, pp. 268-273.

**Conflict of interests:** The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 14.07.2021

Accepted: 30.05.2022

Vitaly O. Tatarnikov  
Senior researcher of the Caspian Marine Scientific Research Center, Astrakhan, Russian Federation, ORCID 0000-0001-7734-8740, e-mail: tatarnikov@caspiannonitoring.ru

Dinara S. Dairova  
Leading Researcher of the Caspian Marine Scientific Research Center, Astrakhan, Russian Federation, e-mail: dairova3110@mail.ru

Maksim A. Ocheretnyj  
Researcher of the Caspian Marine Scientific Research Center, Astrakhan, Russian Federation, e-mail: netstormmaktatis@gmail.com