

Расчёт ассимиляционной емкости устьевой области реки Волги на примере тяжелых металлов

В. О. Татарников[✉], М. А. Очеретный

*Каспийский морской научно-исследовательский центр, Российская Федерация
(414045, г. Астрахань, ул. Ширяева, 14)*

Аннотация. Цель – получение величины ассимиляционной емкости и оценка состояния экосистемы устьевой области Волги по её значению.

Материалы и методы. Данными для исследования послужили результаты мониторинга, проведенного Росгидрометом в 2012–2014 гг. в российском секторе Каспийского моря. Расчет ассимиляционной емкости осуществлялся с использованием методики предложенной Ю. А. Израэлем. Для расчета коэффициента запаса использовались значения ПДК или средние значения, полученные из открытой базы по токсическому воздействию химических веществ на живые организмы ECOTOX. Оценка количества времени пребывания загрязнения в экосистеме производилась исходя из гидродинамических условий. Скорость течения на начальном участке устьевого взморья бралась из оперативной модели Росгидромета.

Результаты и обсуждение. По результатам расчетов было установлено, что значения ассимиляционной емкости для металлов, относящихся к токсической группе (свинец, кадмий, ртуть) значительно ниже величины ассимиляционной емкости эссенциальных металлов (железо, медь, цинк, никель). Сравнение величины ассимиляционной емкости с величиной среднемноголетнего стока рекой Волгой исследуемых металлов показало, что величина ассимиляционной емкости в большинстве случаев значительно выше величины поступления металлов в Северный Каспий.

Выводы. Полученные значения уровней ассимиляционной емкости устьевого взморья Волги по тяжелым металлам говорят о том, что современное поступление металлов не наносит существенного вреда исследуемой экосистеме.

Ключевые слова: ассимиляционная емкость, Каспийское море, загрязнение, полутетальная концентрация, пороговая концентрация.

Для цитирования: Татарников В. О., Очеретный М. А. Расчет ассимиляционной емкости устьевой области реки Волги на примере тяжелых металлов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2025, № 3, с. 121–126. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/3/121-126>

ВВЕДЕНИЕ

Ассимиляционная емкость – свойство экосистемы без негативных последствий ассимилировать поступающие в неё загрязняющие вещества. Рассчитав уровень ассимиляционной емкости экосистемы, появляется возможность установления предельной величины сброса загрязняющих веществ, основанной на свойствах самой экосистемы. Целью нашей работы было получение величины ассимиляционной емкости и оценка состояния экосистемы устьевой области Волги по её значению.

С начала 2000-х гг. в региональные программы о благоустройстве населенных пунктов включается раздел об ассимиляционной емкости. В нормативных актах под ассимиляционной емкостью понимается самоочищающаяся способность экосистемы, показатель максимальной вместимости количества загрязняющих веществ, которое может быть за единицу времени накоплено, разрушено и выведено за пределы экосистемы без нарушения ее нормальной деятельности [9, 10, 11].

В научной литературе «ассимиляционная емкость» вошла в круг научных понятий в конце 1970-х гг. в свя-

зи с проблемами загрязнения радиоактивными веществами. Бесконтрольный сброс радиоактивных отходов в воды океана в 1960-х гг. вызвал научную дискуссию о том, сколько может вместиться в Мировой океан отходов без негативного влияния на человека и морскую среду [16]. В этих работах отмечалась роль физико-химических и биологических процессов, способствующих снижению содержания радионуклидов в морской среде. Ассимиляционная емкость морского водоема первоначально определялась как количество загрязняющего вещества (или скорость его поступления), содержащееся в объеме морской воды, которое не оказывает неприемлемого биологического воздействия [15]. Было принято, что способность к ассимиляции каждого загрязняющего вещества водами Мирового океана в конечном счете зависит от максимальной концентрации, которая может наблюдаться в водоеме, не вызывая определенных биологических или экологических последствий.

С начала 1980-х гг. концепцию ассимиляционной емкости под руководством Ю. А. Израэля начинают разрабатывать в СССР. Было принято, что ассимиляционная емкость морской экосистемы A по данному загряз-



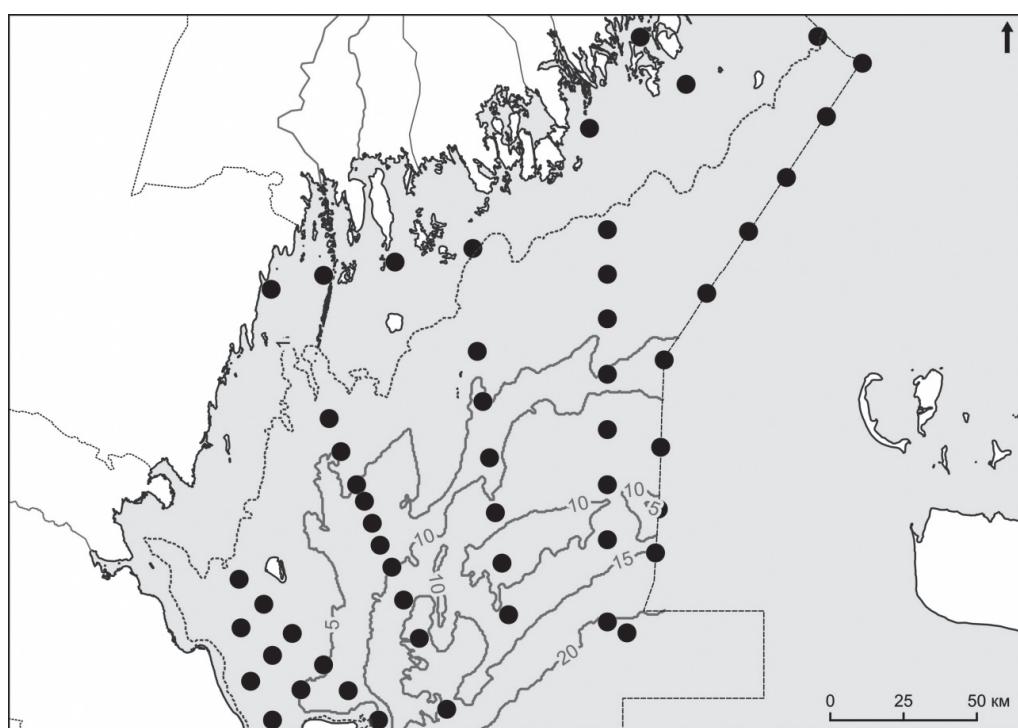
няющему веществу i и для m -й экосистемы есть максимальная динамическая вместимость такого количества загрязняющих веществ, которое может быть за единицу времени накоплено, разрушено, трансформировано и выведено за счет процессов седиментации, диффузии или любого другого переноса за пределы экосистемы без нарушения ее нормального функционирования [4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалами для расчета ассимиляционной емкости устьевого взморья Волги для тяжелых металлов (медь, свинец, кадмий, ртуть, цинк марганец и никель) послужили данные мониторинга, проведенного Росгидрометом в 2012-2014 гг. (всего пять съемок) в

российской части Каспийского моря. Всего в северной части российского сектора наблюдения проводились на 46 станциях (рис.) в поверхностном и придонном слое воды, всего 3780 записей о концентрации тяжелых металлов в морской воде. Значения критических концентраций CL_0 и CL_{50} были взяты из открытой базы ECOTOX (<https://cfpub.epa.gov/ecotox>).

Район, для которого рассчитывается величина ассимиляционной ёмкости, расположен в северо-западной части Каспийского моря и почти полностью совпадает с устьевой областью Волги (см. рис.). Это мелководная часть с максимальными глубинами до 20 м с превалирующим влиянием на химический состав вод речного стока.



*Рис. Устьевая область Волги с расположением станций мониторинга и 1-метровой изобаты (пунктирная линия)
[Fig. The Volga estuary territory with the location of monitoring stations and a 1-meter isobate (dotted line)]*

Для расчёта ассимиляционной емкости устьевой области Волги мы использовали подход, предложенный в [2] и испробованный на примере Балтийского моря с учетом условий устьевых областей. Сам расчёт емкости производился по формуле 1 взятой из [7].

$$A_{mi} = k_i \frac{V}{\tau_i} \bar{C}_i, \quad (1)$$

где k_i – коэффициент запаса, отражающий экологические условия протекания процесса загрязнения в различных зонах экосистем моря, τ_i – время пребывания i -го загрязняющего вещества в морской экосистеме, V – объем рассматриваемой морской экосистемы; \bar{C}_i – средняя концентрация загрязняющего вещества.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для приведенной выше зависимости (формула 1) из данных мониторинга нам известна только величина средней концентрации и объем рассматриваемой экосистемы.

Для получения значений коэффициента запаса и времени пребывания загрязняющего вещества в экосистеме необходимо было провести промежуточные расчёты.

Коэффициент запаса является произведением пространственно-временной (R_{1i}) и экологической частей (R_{2i}). Пространственно-временная часть находится как частное от средней концентрации (C_{cp}) загрязняющего вещества к максимальной (C_{max}). Биологическая часть является экспериментально установленным для вида-«мишени» отношением пороговой концентрации загрязняющего вещества (CL_0) к полулетальной концентрации (CL_{50}) [3], таким образом коэффициент запаса равен:

$$k_i = R_{1i} \times R_{2i} = \frac{C_{cp}}{C_{max}} \times \frac{CL_0}{CL_{50}}, \quad (2)$$

Для Каспийского моря не проводилось исследований на видах-«мишениях» для тяжелых металлов,

поэтому мы ориентировались на данные по видам-аналогам (обитающих в соседних регионах – Черное, Средиземное море и др. водоемы или космополитах – встречающихся как в Каспийском море так и в остальных частях Мирового океана), взятым из литературных источников открытой базы ECOTOX, (табл. 1), при этом полученные значения усреднялись. В литературе чаще освещаются эксперименты по установлению величины CL_{50} , величина CL_0 устанавливается отно-

сительно редко. В тех случаях, когда порог нелетальности не устанавливается, в качестве его аналога мы используем значение ПДК. В таблице 1 представлены средние, максимальные и минимальные значения экологической части коэффициента запаса, рассчитанные с использованием ПДК и без него. Все данные были взяты для организмов-космополитов, обитающих в Европе (Балтийское, Средиземное, Черное, Азовское моря), в эстуариях или солоноватоводных условиях.

Таблица 1

Значение экологической части R_{2i} коэффициента запаса, рассчитанное по литературным данным
[Table 1. The value of the ecological part of the reserve coefficient R_{2i} calculated based on literature data]

ЗВ / ZV	R_{2i} (ПДК/ CL_{50})				R_{2i} (CL_0 / CL_{50})			
	мин. / min	ср. / average	макс. / max	n	мин. / min	ср. / average	макс. / max	n
Cu (мкг/л)	0,0007	0,1551	0,9434	19	0,48	0,6	0,78	2
Pb (мкг/л)	0,0011	0,0079	0,021	3	-	0,57	-	1
Cd (мкг/л)	0,0003	0,0533	0,3448	17	0,143	0,238	0,33	2
Hg (мкг/л)	0,0019	0,0135	0,025	4	-	0,25	-	1
Mn (мкг/л)	-	0,0002	-	1	-	0,1	-	1
Zn (мкг/л)	0,0003	0,1098	0,4202	12	0,5	0,54	0,58	2
Ni (мкг/л)	0,0002	0,0151	0,0483	6	-	0,38	-	1

За объём рассматриваемой морской экосистемы V мы приняли объём западной части Северного Каспия. Так как для Каспийского моря характерны значительные долгопериодные изменения уровня моря, которые влекут за собой изменения объема, особенно в мелководной северной части, объем рассматриваемой экосистемы не будет стационарным. Из предыдущих исследований известна зависимость объема частей моря от уровня [5]. При уровне моря -28 м объем западной части Северного Каспия составляет 249 км³. Эту величину мы примем за объем рассматриваемой морской экосистемы (V).

Значения средней и максимальной концентрации были взяты из экспедиционных исследований, проведенных Росгидрометом в 2012-2014 годах (табл. 2). Для определения средних и максимальных концентраций использовались данные наблюдений на 46 станциях устьевого взморья (см. рис.).

Используя данные из таблиц 1 и 2, по формуле 2 мы рассчитали коэффициент запаса. Результаты этих расчетов представлены в таблице 3.

Для расчета величины мы учитывали, что для рассматриваемого района моря характерно значительное влияние речного стока, что позволяло использовать зависимость пребывания загрязняющего вещества от гидрологических условий для получения величины времени пребывания i-го загрязняющего вещества. Таким образом, время пребывания i-го загрязняющего вещества в морской экосистеме (τ_i) мы рассчитывали по формуле 3, показывающей примерное время, за которое частица смешения пробегает путь от речной до морской границы устьевого взморья Волги [12]:

$$\tau_i = \frac{\Delta x}{v_0} e^{\frac{k \Delta x}{2h(x)}} \quad (3)$$

где τ_i – отрезок времени, за который частица воды пробегает путь (час), равный Δx – расстояние от 1-метровой изобаты до точки (в нашем случае до станции с глубиной 20 м) (км); v_0 – средняя скорость потока на выходном участке рукава (км/час), h – глубина в точке (м), k – удельное сопротивление (константа, равная для Каспийского моря 0,004); e – экспонента.

Таблица 2

Значения средней и максимальной концентрации в морской воде западной части Северного Каспия по данным экспедиционных исследований Росгидромета 2012-2014 гг.
и пространственно-временной части коэффициента запаса (R_{1i})

[Table. 2 Values of average and maximum concentration in the sea water of the western part of the Northern Caspian Sea according to the expeditional studies of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring in 2012-2014 and the spatio-temporal part of the reserve coefficient (R_{1i})]

C / concentration	Cu (мкг/л)	Pb (мкг/л)	Cd (мкг/л)	Hg (мкг/л)	Mn (мкг/л)	Zn (мкг/л)	Ni (мкг/л)
средняя	7,32	5,91	0,21	0,02	3,49	23,1	28,8
макс	24,6	27,0	1,87	0,09	22,8	95,2	93,7
R_{1i}	0,30	0,22	0,11	0,22	0,15	0,24	0,31

Таблица 3

Значение коэффициента запаса (k_i), рассчитанное для максимальных, минимальных и средних значений экологической части коэффициента

[Table 3. Value of the reserve coefficient (k_i) calculated for the maximum, minimum and average values of the environmental part of the coefficient]

Коэффициенты / Coefficients	Cu (мкг/л)	Pb (мкг/л)	Cd (мкг/л)	Hg (мкг/л)	Mn (мкг/л)	Zn (мкг/л)	Ni (мкг/л)
k_i по ПДК	мин	0,0002	0,0002	0,0000	0,0004	-	0,0001
	среднее	0,0462	0,0017	0,0061	0,0029	0,00002	0,0266
	макс	0,2812	0,0046	0,0392	0,0054	-	0,1019
k_i по CL ₀	мин	0,1431	-	0,0163	-	-	0,1212
	среднее	0,1788	0,1249	0,0271	0,0540	0,0153	0,1309
	макс	0,2325	-	0,0375	-	-	0,1406

По литературным данным скорость течений в отмелой зоне устьевой области (глубина до 1,5 м) изменяется в широком диапазоне от 5 до 65 см/с, при этом наибольшая повторяемость скоростей находится в диапазоне 10-15 см/с [13]. По другим данным скорость течения здесь колеблется от 2 до 8 см/с [1]. По данным от оперативной модели Росгидромета в период проведения экспедиционных работ (2012-2014 гг.) на станциях отмелого взморья средняя скорость течения составила 7,84 см/с. Мы приняли значение 7,84 см/с как основное, что равно 0,28 км/час.

Расстояние Δx принято равным 130 км и является расстоянием от 1-метровой изобаты до южной границы устьевого взморья Волги с глубиной (h) 20 м. По формуле 3 было определено среднее время пребывания частицы смешения в объеме устьевого взморья Волги. По результатам расчетов было получено, что частица смешения пройдет путь от 1-метровой изобаты до границы устьевого взморья за 470 часов.

Используя полученные данные по значению коэффициента запаса и времени пребывания загрязняющего вещества на устьевом взморье, по формуле 1 были рассчитаны различные варианты ассимиляционной емкости. Значения ассимиляционной емкости исходно имели размерность тонн/км³/час. Для сравнения со значением стока загрязняющих веществ рекой Волгой значения ассимиляционной емкости были приведены в

единий вид. Для чего исходные значения ассимиляционной емкости были помножены на количество часов в году и величину объема устьевого взморья, выраженную в кубических километрах, в результате были получены величины емкости в размерности тонн/год (используя все варианты коэффициента запаса из таблицы 3) (табл. 4).

Если ориентироваться на средние значения, полученные на основании большего числа экспериментов, то можно заметить, что эссенциальные элементы имеют гораздо более высокие значения емкости по сравнению с токсическими (свинец, кадмий, ртуть). В этом ряду выделяется марганец, значение коэффициента запаса которого рассчитано по одному литературному источнику, что может приводить к ошибкам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сопоставляя полученные данные по ассимиляционной емкости устьевой области с данными по современному стоку Волгой тяжелых металлов (см. табл. 4), видно, что практически по всем металлам ассимиляционная емкость устьевой области, рассчитанная с использованием среднего значения и ПДК, выше их поступления [6]. Исключение составляет марганец, ассимиляционная емкость для которого рассчитывалась с использованием ПДК. Нечто подобное для марганца отмечалось и в других исследованиях [14] на примере Цимлянского водохранилища, для которого отмечалась наименьшая

Таблица 4

Значение ассимиляционной емкости (A_{mi}) тонн/год устьевого взморья Волги, рассчитанное при разных значениях коэффициента запаса (k_i)

[Table 4. The value of the assimilation capacity (A_{mi}) of the Volga estuary, tons/year, calculated at different values of the reserve coefficient (k_i)]

Коэффициенты / Coefficients	Cu, тонн/год	Pb, тонн/год	Cd, тонн/год	Hg, тонн/год	Mn, тонн/год	Zn, тонн/год	Ni, тонн/год
A_{mi} по ПДК	мин	1764	1645	8	9	-	1940
	среднее	390752	11816	1469	67	123	710061
	макс	2376759	31410	9506	125	-	2717372
A_{mi} по CL ₀	мин	1209290	-	3942	-	-	3233427
	среднее	1511613	852568	6562	1248	61699	3492101
	макс	1965096	-	9098	-	-	3750775
Сток, тонн	среднее	1630	373	15	8	1000	6840
							2160

устойчивость процессов самоочищения по марганцу и превышение значений ассимиляционной емкости водохранилища более чем в 100 раз. В заключение можно сказать, что современный уровень поступления контролируемых металлов с речным стоком не должен наносить существенный вред экосистеме устьевого взморья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том VI Каспийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1992. 356 с.
2. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. Изд. 2-е. Москва: Гидрометеоиздат, 1984. 560 с.
3. Израэль Ю. А., Цыбань А. В. Антропогенная экология океана: монография. Москва: Флинта: Наука, 2009. 532 с.
4. Израэль Ю. А., Цыбань А. В. Об ассимиляционной емкости Мирового океана // ДАН СССР, 1983, т. 272, № 3, с. 702-704.
5. Каспийское море: Гидрология и гидрохимия. Москва: Наука, 1986. 261 с.
6. Обзор тенденции и динамики загрязнения устьевой области Волги за период 1978-2018 гг. / отв. ред. Е. В. Островская. Астрахань, 2020. 122 с.
7. Обобщенная модель ассимиляционной емкости морской экосистемы / Ю. А. Израэль, А. В. Цыбань, М. В. Вентцель, В. В. Шигаев // ДАН СССР, 1988, т. 272, вып. 2. с. 459-462.
8. Патин С. А. Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана. Москва: Пищевая промышленность, 1979. 304 с.
9. Постановление Правительства Республики Саха (Якутия) от 3 сентября 2015 г. N 319 «Об утверждении Примерных правил благоустройства территорий населенных пунктов Республики Саха (Якутия)» (с изменениями и дополнениями).
10. Решение Грозненской городской Думы Чеченской Республики от 25 октября 2017 г. N 25 «Об утверждении Правил благоустройства территории города Грозного в новой редакции».
11. Решение Совета города-курорта Ессентуки Ставропольского края от 25 мая 2012 г. N 45 «Об утверждении Правил благоустройства и санитарного содержания территорий, организации уборки и обеспечения чистоты и порядка в городе Ессентуки» (с изменениями и дополнениями).
12. Симонов А. И. Гидрология и гидрохимия вод устьевого взморья в морях без приливов. Москва: Гидрометеоиздат, 1969. 230 с.
13. Устьевая область Волги: гидролого-морфологические процессы, режим загрязняющих веществ и влияние колебаний уровня Каспийского моря. Москва: ГЕОС, 1998. 280 с.
14. Шаврик Е. И. Ассимиляционная емкость Цимлянского водохранилища и устойчивость аккумуляционных процессов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2013, № 2, с. 93-98.
15. Goldberg E. D. The Assimilative Capacity of the Oceans for Wastes. In: Giam, C. S., Dou, H. JM. (eds) Strategies and Advanced Techniques for Marine Pollution Studies. NATO ASI Series, vol. 9. Springer, Berlin, Heidelberg, 1986.
16. National Research Council (U.S.). Panel on Radioactivity in the Marine Environment National Academy of Sciences, 1971. 272 p.

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

Поступила в редакцию: 02.05.2024
Принята к публикации: 01.09.2025

UDC 502.52

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/3/121-126>

ISSN 1609-0683

Calculation of the Assimilation Capacity of the Volga River Estuary Area Using the Example of Heavy Metals

V.O. Tatarnikov[✉], M.A. Ocheretny

Caspian Marine Scientific Research Center, Russian Federation
(14, Shiriaev Str., Astrakhan, 414045)

Abstract. The purpose is to obtain the value of assimilation capacity and assess the state of the ecosystem of the Volga estuary territory by its importance.

Materials and methods. The data for the study were the results of monitoring conducted by the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring in 2012-2014 in the Russian sector of the Caspian Sea. The assimilation capacity was calculated using the method proposed by Yu.A. Israel. To calculate the reserve coefficient, the maximum permissible concentrations values or the average values obtained from the open database on the toxic effects of chemical substances on living organisms ECOTOX were used. The estimation of the amount of pollution time in the ecosystem was carried out based on hydrodynamic conditions. The current velocity at the initial section of the estuarine seaside was taken from the operational model of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring.

Results and discussion. The calculations revealed that the assimilation capacity values for toxic metals (lead, cadmium, mercury) are significantly lower than the assimilation capacity values for essential metals (iron, copper, zinc, nickel). A comparison of the assimilation capacity with the average long-term flow of the studied metals by the Volga showed that the assimilation capacity value in most cases is significantly higher than the value of metals input to the northern part of the Caspian Sea.

© Tatarnikov V.O., Ocheretny M.A., 2025

✉ Vitaly O. Tatarnikov, e-mail: tatarnikov@cospianmonitoring.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

Conclusion The obtained values of the assimilation capacity levels of the Volga estuary for heavy metals indicate that the current influx of metals does not cause significant damage to the ecosystem under study.

Key words: assimilation capacity, Caspian Sea, contamination, semi-lethal concentration, threshold concentration.

For citation: Tatarnikov V.O., Ocheretny M.A. Calculation of the Assimilation Capacity of the Volga River Estuary Area Using the Example of Heavy Metals. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geokologiya*, 2025, no. 3, pp. 121-126 (In Russ) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/3/121-126>

REFERENCES

1. *Gidrometeorologiya i gidrohimija morej*. Tom VI Kaspijskoe more. Vyp. 1. Gidrometeorologicheskie usloviya [Hydrometeorology and marine hydrochemistry]. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992. 356 p. (In Russ.)
2. Izrael' Yu.A. *Ekologiya i kontrol' sostoyaniya prirodnoj sredy* [Ecology and environmental monitoring]. Moscow: Gidrometeoizdat, 1984. 560 p. (In Russ.)
3. Izrael' Yu.A., Cyban' A.V. *Antropogennaya ekologiya okeana: monografiya* [Anthropogenic ocean ecology]. Moscow: Flinta: Nauka, 2009. 532 p. (In Russ.)
4. Izrael' Yu.A., Cyban' A.V. *Ob assimilyacionnoj emkosti Mirovogo okeana* [On the assimilative capacity of the oceans]. DAN SSSR, 1983, vol. 272, no. 3, pp. 702-704. (In Russ.)
5. *Kaspijskoe more: Gidrologiya i gidrohimija* [Caspian Sea: Hydrology and Hydrochemistry]. Moscow: Nauka, 1986. 261 p. (In Russ.)
6. *Obzor tendencii i dinamiki zagryazneniya ust'evoj oblasti Volgi za period 1978-2018 gg.* [Overview of the trend and dynamics of pollution of the estuary region of the Volga during the period 1978-2018] / otv. red. E.V. Ostrovskaya. Astrahan', 2020. 122 p. (In Russ.)
7. Obobshchennaya model' assimilyacionnoj emkosti morskoy ekosistemy [Generalized model of marine ecosystem assimilation capacity] / Yu.A. Izrael', A.V. Cyban', M.V. Venteel', V.V. Shigaev. DAN SSSR, 1988, vol. 272, vyp. 2, pp. 459-462. (In Russ.)
8. Patin S.A. *Vliyanie zagryazneniya na biologicheskie resursy i produktivnost' Mirovogo okeana* [Impact of pollution on biological resources and ocean productivity]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost', 1979. 304 p. (In Russ.)
9. Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Saha (Yakutija) ot 3 sentyabrya 2015 g. N 319 «Ob utverzhdenii Primernyh pravil blagoustrojstva territorij naseleennyh punktov Respubliki Saha (Yakutija)» (s izmenenijami i dopolenijami) [Resolution of the Government of the Republic of Sakha (Yakutia) dated September 3, 2015 No. 319 «On approval of Approximate Rules for landscaping the territories of settlements of the Republic of Sakha (Yakutia)» (with amendments and additions)]. (In Russ.)
10. Reshenie Grozinskoy gorodskoy Dumy Chechenskoj Respubliki ot 25 oktyabrya 2017 g. N 25 «Ob utverzhdenii Pravil blagoustrojstva territorii goroda Grozного v novoj redakcii» [Decision No. 25 of the Grozny City Duma of the Chechen Republic dated October 25, 2017 «On approval of the Rules for Landscaping the territory of the City of Grozny in a new edition】. (In Russ.)
11. Reshenie Soveta goroda-kurorta Essentuki Stavropol'skogo kraja ot 25 maja 2012 g. N 45 «Ob utverzhdenii Pravil blagoustrojstva i sanitarnogo soderzhanija territorij, organizacii uborki i obespechenija chistoty i porjadka v gorode Essentuki» (s izmenenijami i dopolenijami) [Decision of the Council of the Yessentuki Resort City of the Stavropol Territory dated May 25, 2012 No. 45 «On approval of the Rules for landscaping and sanitary maintenance of territories, organization of cleaning and ensuring cleanliness and order in the city of Yessentuki» (with amendments and additions)]. (In Russ.)
12. Simonov A.I. *Gidrologiya i hidrohimija vod ust'evogo vzmorya v moryah bez prilivov* [Hydrology and hydrochemistry of estuarine seawater in tidal-free seas]. Moscow: Gidrometeoizdat, 1969. 230 p. (In Russ.)
13. *Ust'evaya oblast' Volgi: hidrologo-morfologicheskie processy, rezhim zagryaznyayushchih veshchestv i vliyanie kolebanij urovnya Kaspijskogo morja* [Estuarine region of the Volga: hydrological and morphological processes, the regime of pollutants and the influence of fluctuations in the level of the Caspian Sea]. Moscow: GEOS, 1998. 280 p. (In Russ.)
14. Shavrik E.I. *Assimilyacionnaya emkost' Tsimlyanskogo vodohranilishcha i ustojchivost' akkumulyacionnyh processov* [Assimilation capacity of the Tsimlyansk reservoir and stability of accumulation processes]. *Vestnik voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologiya*, 2013, no. 2, pp. 93-98. (In Russ.)
15. Goldberg E.D. The Assimilative Capacity of the Oceans for Wastes. In: Giam, C.S., Dou, H.J.M. (eds) *Strategies and Advanced Techniques for Marine Pollution Studies*. NATO ASI Series, vol. 9. Springer, Berlin, Heidelberg, 1986.
16. National Research Council (U.S.). *Panel on Radioactivity in the Marine Environment* National Academy of Sciences, 1971. 272 p.

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

Received: 02.05.2024

Accepted: 01.09.2025

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

Очеретный Максим Александрович
Научный сотрудник Каспийского морского научно-исследовательского центра, г. Астрахань, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-7734-8740, e-mail: netstormmaktatis@gmail.com

Vitaly O. Tatarnikov
Senior Researcher at the Caspian Marine Scientific Research Centre, Astrakhan, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-7734-8740, e-mail: tatarnikov@cospianmonitoring.ru

Maksim Ocheretny A.
Researcher at the Caspian Marine Scientific Research Centre, Astrakhan, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-7734-8740, e-mail: netstormmaktatis@gmail.com