СПОСОБНОСТЬ МОРСКИХ ВЗВЕСЕЙ КОНЦЕНТРИРОВАТЬ РТУТЬ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕЕ СОДЕРЖАНИЯ В АКВАТОРИЯХ ШЕЛЬФА

А.П. Стецюк, В.Н. Егоров

Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН (ИМБИ),
РФ, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2

E-mail: Alex-ra-777@mail.ru; egorov.ibss@yandex.ru

По результатам измерений концентрации ртути в пробах воды, отобранных в весенний период в 2012–2017 гг. в акватории Крымского шельфа Чёрного моря, были определены зависимости концентрирования ртути взвешенным веществом. Зарегистрирован тренд насыщения взвесей ртутью при повышении ее концентрации в воде. Определены коэффициенты накопления ртути взвесями и установлено, что зависимость коэффициентов накопления от изменения концентрации ртути в воде Крымского шельфа Чёрного моря описывается уравнением Фрейндлиха, а также с меньшей степенью достоверности уравнением Ленгмюра. Определено, что преобладающим фактором седиментационного самоочищения вод в интервале низких концентраций ртути в воде является концентрирующая способность взвесей, с повышением загрязнения вод ртутью относительное влияние концентрирующей способности взвесей снижается.

Ключевые слова: взвешенное вещество, ртуть, концентрирующая способность взвесей, Крымский шельф Чёрного моря, уравнения Фрейндлиха и Ленгмюра.

Поступила в редакцию: 22.06.2018. После доработки: 13.07.2018.

Введение. По заключению экспертов ГЕСАМП [1] ртуть относится к первому классу токсичности химических веществ. По современным оценкам она является одним из наиболее экологически значимых загрязнителей Чёрного моря [2]. В результате сорбционных и трофодинамических процессов ртуть может аккумулироваться гидробионтами до уровней, превышающих предельно допустимые санитарные нормы, и оказывать экотоксикологическое воздействие на биотические компоненты экосистем [3]. Поэтому практически во всех странах ртуть входит в «чёрные списки» химических веществ, подлежащих особому экологическому и гигиеническому контролю.

Баланс содержания ртути в Чёрном море определяется соотношением потоков её поступления и элиминации из водной среды. Источники поступления ртути в морские акватории могут быть природного и антропогенного происхождения. К основным природным источникам относятся верхняя мантия земной коры (извержение вулканов, выветривание горных пород) и крупные месторождения ртутьсодержащих пород (рудные пояса). В течение последних десятилетий также было установлено,

что ртуть поступает в черноморские воды в районах локализации полей струйных метановых газовыделений [4]. Основными антропогенными источниками загрязнения ртутью являются морской транспорт, речные и промышленно – коммунальные стоки, судоремонтные и нефтеперерабатывающие предприятия, муниципальные очистные сооружения, сельское хозяйство, дампинг.

Определено, что с водами реки Дунай поступление ртути в Чёрное море составляет $48,7\text{--}58,9\text{ т}\cdot\text{год}^{-1}$ [5], а во всю акваторию моря оценивается в $80\text{ т}\cdot\text{год}^{-1}$ [6]. В его водах содержится около 14 тыс. тонн ртути, в том числе 840 тонн находится в наиболее биологически продуктивном 0–50 м слое водной толщи [7]. По химическим характеристикам ртуть является консервативным загрязнителем морской среды. Поэтому основным биогеохимическим механизмом самоочищения Чёрного моря от ртути является седиментационное самоочищение его вод взвешенным веществом [7]. Взвешенное вещество морской воды представляет собой частицы живой и неживой материи размером от 0,1 до 100 мкм [8]. Обладая большой удельной поверхностью, взвешенное вещество может концентрировать химические за-

грязнения до высоких уровней. Опускаясь в результате гравитации, взвешенные частицы выносят загрязнения из поверхностного биологически активного слоя Чёрного моря и, в конечном итоге, могут депонировать их в толще донных отложений, участвуя, тем самым, в процессах самоочищения морской среды от загрязняющих веществ [9].

Цель наших исследований – изучение закономерностей концентрирования ртути взвешенным веществом Чёрного моря и изучение его роли в седимента-

ционном самоочищении ртутного загрязнения вод.

Материалы и методы. Определения концентрации ртути в воде и взвеси, были выполнены в период 2012–2017 гг. Для данной работы выбраны результаты наблюдений за весенний сезон. Карта районов работ представлена на рис. 1.

На карте, выполненной с помощью программы «Гидролог» [10], кружками отмечены районы работ, а на врезке справа вверху показаны станции в Севастопольских бухтах.

Рис. 1. Карта районов работ

Всего было выполнено 34 станции. Пробы воды отбирались металлической ёмкостью с поверхностного горизонта. Подготовку проб к измерению проводили по методам мониторинга фоновго загрязнения природной среды [11]. В пробах определяли растворённую и взвешенную формы ртути, разделение которых проводили путём фильтрации через нуклеопоровые фильтры с диаметром пор 0,45 мкм. Фильтры взвешивались на аналитических весах с погрешностью 0,1 мг. В фильтрате определяли растворённую форму, на фильтрах – взвешенную. В основе выделения и измерения ртути лежал метод непламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии (метод холодного пара) [12]. Измерения концентрации ртути проводили на анализаторах «Юлия–2» и «Хиранума–1». Анализ серии данных на приборе

«Юлия–2» показал, что относительная погрешность измерения ртути в воде составила 6,4%, а во взвешенном веществе – 13,6%. Относительная погрешность измерений на анализаторе «Хиранума–1» не превышала 2%. Для калибровки приборов и контроля качества анализа использовали аттестационные стандартные образцы ртути.

Концентрация ртути в воде (C_w) измерялась в пересчёте на $нг \cdot л^{-1}$, а во взвешенном веществе ($C_{взв}$) в пересчёте на $нг \cdot г^{-1}$ на сухую массу. Коэффициенты накопления ртути взвешенным веществом вычисляли по уравнению [9]

$$K_{взв} = \frac{1000 \cdot C_{взв}}{C_w}, \quad (1)$$

Расчеты коэффициентов накопления по результатам наблюдений выполня-

лись с точностью до четырёх значащих цифр, что соответствовало погрешности не более 0,1%. Пул ртути во взвесах ($P_{взв}$) по отношению к её содержанию в водной среде рассчитывался по формуле

$$P_{взв} = \frac{m_{уд} \cdot 100}{m_{уд} K_{взв} + 1} (\%), \quad (2)$$

где $m_{уд}$ – удельная масса взвесей в воде ($г \cdot м^{-3}$).

Результаты и обсуждение. Расчёты характеристик концентрирующей способности взвесей по ртути приведены в табл. 1.

Таблица 1. Координаты районов и глубин станций, концентрация ртути в поверхностном слое воды и взвешенном веществе Крымского шельфа Чёрного моря, коэффициенты накопления и пул Hg на взвесах в морской воде

№ п/п	Дата	Координаты		Глубина станции, (м)	Удельная масса взвеси в поверхностном слое воды ($m_{уд}$), $г \cdot м^{-3}$ на сухой вес	Концентрация ртути в поверхностном слое воды		Коэффициент накопления ртути взвесью ($K_{взв} \cdot 10^6$)	Пул Hg на взвеси, $P_{взв}$ (%)
		с.ш.	в.д.			в воде, C_w ($нг \cdot л^{-1}$)	во взвеси, $C_{взв}$ ($нг \cdot г^{-1}$ сухой массы)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	23.05.2012	44°38.000'	33°29.367'	30,0	1,2	9,0	1176	0,131	13
2	23.05.2012	44°37.783'	33°29.867'	9,0	9,7	1,3	8875	6,827	98
3	23.05.2012	44°37.417'	33°30.717'	17,0	0,6	1,3	4400	3,385	94
4	23.05.2012	44°35.350'	33°24.065'	17,0	1,0	3,0	1192	0,397	32
5	21.03.2013	44°30.072'	33°35.884'	8,0	1,1	22,0	2667	0,121	24
6	21.03.2013	44°29.604'	33°35.928'	10,0	1,9	49,0	825	0,016	1
7	21.05.2013	44°29.460'	33°34.544'	12,0	0,6	20,0	4333	0,217	48
8	22.05.2013	44°27.180'	34°12.007'	82,0	1,3	114,0	11000	0,096	51
9	23.05.2013	44°49.981'	35°18.081'	55,0	1,0	60,0	15818	0,264	81
10	23.05.2013	44°56.600'	36°26.005'	34,5	2,2	58,0	7579	0,131	50
11	27.05.2013	45°37.290'	31°38.045'	41,5	0,9	62,0	23167	0,374	90
12	27.05.2013	44°35.071'	32°31.009'	30,0	1,7	79,0	7077	0,090	39
13	28.05.2013	46°25.150'	31°09.049'	20,0	0,8	71,0	6800	0,096	39
14	28.05.2013	46°02.221'	31°32.131'	16,5	0,5	57,0	6636	0,116	44
15	29.05.2013	44°09.013'	32°40.673'	20,0	1,3	36,0	16444	0,457	88
16	14.05.2013	44°38.000'	33°29.367'	30,0	2,3	1,0	2522	2,522	86
17	14.05.2013	44°37.783'	33°29.867'	9,0	2,5	2,6	3960	1,523	86
18	14.05.2013	44°37.417'	33°30.717'	17,0	3,0	1,0	7067	7,067	98
19	14.05.2013	44°35.350'	33°24.065'	17,0	2,0	4,3	3300	0,767	72
20	15.04.2013	44°36.943'	33°30.148'	4,0	2,2	158,0	2955	0,019	5
21	13.05.2013	44°36.943'	33°30.184'	4,0	1,0	6,0	4900	0,817	80
22	14.05.2014	44°36.943'	33°30.184'	4,0	3,9	140,0	3205	0,023	7
23	16.03.2015	44°36.943'	33°30.184'	4,0	2,6	70,0	6500	0,093	38
24	18.05.2015	44°36.943'	33°30.184'	4,0	1,1	88,0	7000	0,079	36
25	02.04.2017	44°55.840'	36°35.052'	44,0	7,0	110,0	11429	0,104	54
26	05.04.2017	45°33.024'	31°37.247'	48,0	5,0	125,0	17000	0,136	70
27	29.03.2017	45°37.226'	32°45.972'	22,0	7,0	25,0	12857	0,514	87
28	28.03.2017	45°00.167'	33°20.853'	29,0	8,0	10,0	7500	0,750	85
29	30.03.2017	44°24.200'	33°40.008'	67,0	8,0	10,0	9375	0,938	90
30	03.04.2017	44°26.627'	34°12.942'	89,0	4,0	130,0	12500	0,096	55
31	03.04.2017	44°38.700'	34°26.007'	68,0	11,5	50,0	4609	0,092	30
32	03.04.2017	44°52.175'	35°14.274'	43,0	11,0	50,0	4545	0,0910	29
33	31.03.2017	45°03.799'	35°34.215'	20,0	15,0	25,0	1000	0,040	4
34	01.04.2017	44°58.710'	36°03.532'	28,0	11,0	25,0	5455	0,218	54

Представленные в табл. 1 материалы показали, что в наблюдаемый период времени удельная масса взвешенного вещества в морской среде (графа 6) лежала в пределах от 0,5 до 15,0 г·м⁻³, концентрация ртути в воде (графа 7) изменялась от 1,0 до 168,0 нг·л⁻¹, а концентрация ртути во взвесах (графа 8) составляла 825–23167 нг·г⁻¹ сухой массы. Результаты расчётов коэффициентов накопления, представленные в девятой графе табл. 1, свидетельствовали о чрезвычайно высокой концентрирующей способности взвесьями ртути ($K_{взв} = (0,023 - 7,067) \cdot 10^6$). Вследствие этого, рассчитанный по формуле (2) пул ртути на взвесах исследованного района составлял от 1 до 98% от общего содержания ртути в водной среде.

По литературным данным известно, что скорость поглощения ²⁰³Hg взвесьями из различных акваторий Средиземно-морского бассейна при добавках в экспериментальных условиях стабильной ртути описывалась уравнением Михаэлиса-Ментен [13, 14], использование которого позволило по материалам экспериментальных наблюдений оценивать максимальную скорость поглощения ртути взвесьями, а также определять величину константы Михаэлиса-Ментен, которая численно равна концентрации ртути в воде, при которой скорость её поглощения взвесьями составляла половину от максимальной. В литературе также представлены сообщения, что зависимости изменения концентрации загрязняющих веществ (в том числе и ртути) в живом и косном веществе могут описываться уравнениями Фрейндлиха и Ленгмюра [15]. В нашу задачу входила проверка адекватности соответствия результатов наблюдений каждым из отмеченных уравнений.

Графическая зависимость изменения концентрации ртути во взвесах от её концентрации в воде, построенная по материалам граф 7 и 8 табл. 1, представлена на рис. 2.

На рис. 2А видно, что данные по концентрированию ртути взвесьями,

представленные в линейном масштабе по осям ординат, имели значительную вариабельность.

На первом этапе теоретического анализа проверялась гипотеза об адекватности их описания уравнением Фрейндлиха, имеющим следующий вид [15]

$$C_{взв} = aC_w^b, \quad (3)$$

где C_w и $C_{взв}$ – концентрация ртути в воде (нг·л⁻¹) и взвешенном веществе (нг·г⁻¹); а и b – коэффициенты.

В целом, такая функция соответствует уравнению гиперболы, при определении параметров которой обычно результаты наблюдений рассматриваются в логарифмическом масштабе по осям ординат. При этом степенная зависимость трансформируется в соотношение (4), имеющее вид прямой линии

$$\log(C_{взв}) = \log(a) + b \cdot \log(C_w), \quad (4)$$

и для проверки гипотезы о степени адекватности применимости уравнения Фрейндлиха могут использоваться статистические критерии. Графически зависимость (4) представлена на рис. 2Б. По результатам аппроксимации результатов представленных в табл. 1 наблюдений уравнением (4) получено

$$\log(C_{взв}) = 8,114 + 0,156 \cdot \log(C_w). \quad (5)$$

Отсюда уравнение Фрейндлиха имело следующие параметры

$$C_{взв} = 3341C_w^{0,156}. \quad (6)$$

Результаты табулирования функции (6) нанесены сплошной линией на рис. 2А. В целом они показали, что описание зависимости уравнением Фрейндлиха имели низкий коэффициент детерминации ($R^2 = 0,087$). Тем не менее, вид аппроксимирующей кривой линии на рис. 2А свидетельствовал, что с увеличением концентрации ртути в воде её концентрация во взвесах стремится к пределу насыщения.

$C_{\text{взв}}, \text{нг}\cdot\text{г}^{-1} \text{ сух. массы}$ А)

$C_{\text{взв}}, \text{нг}\cdot\text{г}^{-1} \text{ сух. массы}$ Б)

$(1/C_{\text{взв}})\cdot 10^3$ В)

Рис. 2. Динамические характеристики концентрирования ртути взвесями:

А) Зависимость в линейных координатах между концентрацией ртути во взвесьях ($C_{\text{взв}}, \text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$) от её концентрации в воде ($C_w, \text{нг}\cdot\text{л}^{-1}$);

Б) Зависимость в логарифмических координатах между концентрацией ртути во взвесьях ($C_{\text{взв}}, \text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$) от её концентрации в воде ($C_w, \text{нг}\cdot\text{л}^{-1}$);

В) Зависимость в координатах модифицированного уравнения Лайнуивера-Бэрка коэффициентов накопления ртути взвесями от изменения её концентрации в воде

На втором этапе теоретического анализа данных, представленных на рис. 2А, проверялась гипотеза об адекватности их описания уравнением Ленгмюра [15], которое применительно к рассматриваемой задаче имело следующий вид

$$C_{\text{взв}} = C_w \frac{C_{\text{пред}}}{C_w + 1/k}, \quad (7)$$

где $C_{\text{пред}}$ – равновесная предельная концентрация насыщения взвесей ртути ($\text{нг} \cdot \text{г}^{-1}$); k – параметр уравнения Ленгмюра ($\text{л} \cdot \text{нг}^{-1}$).

Для оценки адекватности описания эмпирического ряда уравнением вида (7) обычно используются преобразования его координат, трансформирующие эту формулу в уравнение прямой линии. Далее выполняется аппроксимация эмпирического ряда уравнением линейной регрессии и по оценке коэффициента детерминации (R^2) делается заключение о принятии гипотезы о применимости уравнения Ленгмюра для отражения закономерности между $C_{\text{взв}}$ и C_w . Мы для проверки адекватности в отношении уравнения Ленгмюра использовали модифицированное уравнение Лайнуивера-Бэрка [16], которое записано в следующей форме

$$\frac{1}{C_{\text{взв}}} = \frac{1}{C_{\text{пред}}} C_w + \frac{1/k}{C_{\text{пред}}}. \quad (8)$$

Из выражения (8) следует, что его параметры $C_{\text{пред}}$ и $1/k$ константы, и, поэтому, эта функция является уравнением прямой линии, которая может использоваться для тестирования соотношения Ленгмюра по эмпирическим данным. Графическое представление зависимости между $C_{\text{взв}}$ и C_w в координатах модифицированного уравнения Лайнуивера-Бэрка показано на рис. 2В. По результатам оценки его параметров получено

$$10^3 \cdot (1/C_{\text{взв}}) = -0,00143 \cdot C_w + 0,33798, \quad (9)$$

откуда следует, что коэффициент при первом члене его правой части отрицателен и, поэтому, уравнение Ленгмюра неприменимо для описания зависимости изменения концентрации ртути во взвешенном веществе, содержащемся в водах Крымского шельфа.

На следующем этапе нами проверялась гипотеза о применимости уравнения Фрейндлиха для описания закономерностей концентрирования ртути взвесьями при анализе данных, выраженных через $K_{\text{взв}}$ и C_w .

Графическое отображение зависимости между коэффициентами накопления ртути ($K_{\text{взв}}$) взвесьями северо-западной части Черного моря от изменения ее концентрации в воде (C_w) показано на рис. 3А.

На этом рисунке видно, что с увеличением C_w значения $K_{\text{взв}}$ изменяются по гиперболической зависимости, которая соответствует уравнению Фрейндлиха (3) и может быть аппроксимирована функцией (4) при откладывании в логарифмическом масштабе по осям ординат на оси ординат значений $K_{\text{взв}}$ вместо $C_{\text{взв}}$. График зависимости между $K_{\text{взв}}$ и $C_{\text{взв}}$ в логарифмическом масштабе по осям ординат показан на рис. 3Б. Высокая степень статистической обеспеченности ($R^2 = 0,713$) согласия эмпирической функции с уравнением прямой линии свидетельствует о том, что закономерность изменения коэффициентов накопления ($K_{\text{взв}}$) ртути взвешенным веществом северо-западной части Чёрного моря в зависимости от изменения её концентрации в водной среде (C_w) с достаточной степенью адекватности может быть описана уравнением Фрейндлиха с параметрами

$$C_{\text{взв}} = 3,321 \cdot 10^6 \cdot C_w^{-0,836}. \quad (10)$$

Результаты табулирования функции (10), нанесенные сплошной линией на рис. 3А, свидетельствуют о хорошем согласии эмпирической и теоретической зависимости.

Графическое представление эмпирических данных из 7 и 9 граф табл. 1 в масштабах модифицированного уравнения Лайнуивера – Бэрка (8) показано на рис. 3В. На нём видно, что с коэффициентом дискриминации $R^2 = 0,305$ зависимость коэффициентов накопления ртути взвесьями северо-западной части Чёрного моря ($K_{\text{взв}}$) может соответствовать закономерности Ленгмюра с параметрами

$$1/K_{\text{взв}} \cdot 10^5 = 0,017 \cdot C_w + 0,168. \quad (11)$$

Рис. 3. Динамические характеристики концентрирования ртути взвесями:

- А) зависимость в линейных координатах коэффициентов накопления ($K_{\text{взв}}$) ртути взвесями от изменения её концентрации в воде ($C_w, \text{нг} \cdot \text{л}^{-1}$);
- Б) зависимость в логарифмических координатах коэффициентов накопления ($K_{\text{взв}}$) ртути взвесями от изменения её концентрации в воде ($C_w, \text{нг} \cdot \text{л}^{-1}$);
- В) зависимость в координатах модифицированного уравнения Лайнуивера–Бэрка коэффициентов накопления ртути взвесями от изменения её концентрации в воде

Из соотношения (11) получено, что максимально возможный коэффициент накопления ртути взвесями северо – западной части Чёрного моря может достигать величины $K_{взв} (\text{max}) = 6,05 \cdot 10^6$, а $k = 0,104 \text{ л} \cdot \text{нг}^{-1}$, откуда следует, что при достижении концентрации ртути в воде значения $C_w = 1/k = 1/0,104 = 9,56 \text{ нг} \cdot \text{л}^{-1}$ коэффициент накопления ртути взвесями снижается вдвое $K_{взв} = 0,5 K_{взв} (\text{max})$. Необходимо отметить, что одной из основных задач лимитирования поступления загрязняющих веществ в акватории является поиск закономерностей, связывающих седиментационную способность компонентов экосистем в зависимости от их концентрации в воде. При этом особое внимание уделяется пределам изменения концентрирующей способности морской взвеси, так как она характеризует способность биогеохимических механизмов концентрирования химических веществ из воды. В связи с тем, что концентрирующая способность ртути взвесями очень высока, видимо этот фактор определяет основные закономерности самоочищения. В соответствии с теоретическими представлениями [17] зависимость потока депонирования ртути в поверхностном слое донных отложений ($\Pi_{до}$) описывается соотношением

$$\Pi_{до} = b \cdot m_{уд} K_{взв} C_w, \quad (12)$$

где b – показатель скорости элиминации взвесей ($m_{уд}$) из водной среды (сут^{-1}). Легко заметить, что в формуле (12) произведение величин $m_{уд}$, $K_{взв}$, C_w численно равно содержащемуся во взвесях количеству ртути, то есть пулу ртути на взвесях

$$\Pi_{взв} = m_{уд} K_{взв} C_w. \quad (13)$$

Поэтому задача оценки превалирующих факторов в седиментационном самоочищении вод от ртути сводится к определению эмпирических зависимостей влияния $m_{уд}$, $K_{взв}$ и C_w на величину

$\Pi_{взв}$. Эти зависимости показаны на рис. 4. На рис. 4А видно, что зависимость изменения относительного пула ртути во взвесях северо-западной части Чёрного моря от $m_{уд}$ характеризуется высокой вариабельностью и не имеет статистически достоверного тренда. Зависимость изменения $\Pi_{взв}$ от C_w имеет слабо выраженный ($R^2 = 0,183$) тренд уменьшения пула ртути во взвесях с увеличением концентрации ртути в воде (рис. 4Б). На рис. 4В видно, что $\Pi_{взв}$ в значительной степени определяется величиной концентрирования ртути взвесями. При значениях коэффициентов накопления $K_{взв} > 10^5$ практически весь пул ртути в воде находится на взвесях. Эти данные свидетельствуют о высокой значимости фактора концентрирующей способности взвесей в самоочищении вод от ртути. Однако вклад этого фактора зависит от концентрации ртути в воде, при низких значениях C_w он превалирует над другими биогеохимическими механизмами самоочищения вод, а с увеличением C_w относительно снижается.

Заключение. Проведенные исследования в целом позволили заключить следующее. С увеличением концентрации ртути в воде её концентрация во взвесях стремится к пределу насыщения. Зависимость коэффициентов накопления от изменения концентрации ртути в воде Крымского шельфа Чёрного моря описывается уравнением Фрейндлиха, а также с меньшей степенью достоверности уравнением Ленгмюра. Превалирующим фактором седиментационного самоочищения вод в интервале низких концентраций ртути в воде является концентрирующая способность взвесей, а с повышением загрязнения вод ртутью относительное влияние концентрирующей способности взвесей снижается.

Работа выполнена по теме государственного задания № АААА-А18-118020890090-2.

Рис. 4. Зависимости изменения пула ртути во взвесьях Крымского шельфа Черного моря ($\Pi_{\text{взв}}$) от изменения удельной массы ($m_{\text{уд}}$) взвесей (А); от концентрации ($C_{\text{в}}$) ртути в воде (Б) и от коэффициентов накопления ($K_{\text{взв}}$) ртути (В)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *GESAMP*. Land / sea boundary flux of contaminants: Contributions from rivers. Report of Studies. Paris: UNESCO. 1987. № 32. 172 p.
2. *Mee L.D.* The Black Sea in crisis: a need for concerted international action // *Ambio*. 1992. Vol. 21. P. 278–286.
3. *Светашиева С.К., Егоров В.Н., Гулин М.Б., Жерко Н.В.* Трансформация

физико-химических форм ртути и её распределение в аэробной и анаэробной зонах Черного моря: в кн. Молисмология Черного моря. Киев: Наукова думка, 1992. С. 108–122.

4. *Распределение* ртути в воде и донных отложениях в местах локализации струйных метановых газовыделений со дна Черного моря / С.К. Костова, В.Н. Поповичев, В.Н. Егоров [и др.] // *Морс-*

кой экологический журнал. 2006. Т. 5, № 2. С. 47–56.

5. *Contamination* Hg dynamics of the Danube River ecosystem components / G.G. Polikarpov, V.N. Egorov, L.G. Kulebakina [et al.] // Water Pollution Control in the Basin of the River Danube: Proc. Intern. Conf. [Novi Sad Yugoslavia], 1989. P. 67–71.

6. *Zaitsev Yu.P.* Impact of eutrophication on the Black Sea fauna // General Fisheries Council for Mediterranean: Studies and Review. 1993. Vol. 64. P. 63–86.

7. *Егоров В.Н., Поликарпов Г.Г., Светашева С.К.* Загрязнение Черного моря ртутью с речным стоком и способность его вод к самоочищению в результате протекания биохимических циклов // Оценка расположенных на суше источников загрязнения морей, омывающих государства СНГ: материалы Междунар. конф. Севастополь, 1992. С. 61–62.

8. *Витюк Д.М.* Взвешенное вещество и его биогенные компоненты. Киев: Наукова думка, 1983. 212 с.

9. *Поликарпов Г.Г., Егоров В.И.* Морская динамическая радиохемозэкология. М.: Энергоатомиздат, 1986. 176 с.

10. *Belokopytov V.N.* "Oceanographer": applied software for oceanographic surveys // Internat. Symp. on Information Technology in Oceanography: Abstr. 12–16 Oct. 1998, Goa, India. Goa, 1998. P.79.

11. *Унифицированные методы мониторинга фоновое загрязнение природной среды.* М.: Гидрометеоздат, 1986. 180 с.

12. *Игошин А.М., Богусевич Л.Н.* Беспламенный атомно-абсорбционный метод определения ртути в воде // Гидрохимические материалы, 1969. Т. 47. С. 150–156.

13. *Егоров В.Н., Козлова С.И., Кулебакина Л.Г.* Кинетические закономерности концентрирования и обмена ртути взвешенным веществом // Докл. АН СССР. 1983. Т. 271, № 6. С. 1488–1491.

14. *Определение времени круговорота ртути в фотическом слое Черного и Средиземного морей / В.Н. Егоров, Л.Г. Кулебакина, В.Н. Поповичев [и др.]* // Охрана природной среды морей и устьев рек: тез. докл. Всесоюз. совещ. (г. Владивосток, 22–27 сентября 1986 г.). Владивосток, 1986. Т. 2. С. 93–94.

15. *Несмеянов А.Н.* Радиохимия. М.: Химия, 1978. 560 с.

16. *Паттон А.* Энергетика и кинетика биохимических процессов. М.: Мир. 1968. 159 с.

17. *Егоров В.Н.* Нормирование потоков антропогенного загрязнения черноморских регионов по биогеохимическим критериям // Экология моря. 2001. Вып. 57. С. 75–84.

MARINE SUSPENSIONS ABILITY TO CONCENTRATE MERCURY DEPENDING ON ITS CONTENTS IN THE SHELF WATER AREA

A.P. Stetsiuk, V.N. Egorov

The A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of RAS,
Russian Federation, Sevastopol, Nakhimov Av., 2

According to the results of measurements of mercury concentration in water samples taken in spring 2012–2017, in the waters of the Crimean shelf of the Black Sea, dependence of the concentration of mercury on suspended matter was determined. The trend is in saturation of suspensions with mercury under increase in its concentration in water. The coefficients of accumulation of mercury by suspensions are determined and it is established that the dependence of the accumulation coefficients on the change in mercury concentration in the water of the Crimean shelf of the Black Sea is described by the Freundlich equation and also with a less degree of reliability by the Langmuir equation. It is determined that the prevailing factor of sedimentation self-purification of water in the low mercury concentration in water is the concentrating ability of suspensions, with the increase in water pollution by mercury, the relative influence of the concentrating ability of suspensions decreases

Keywords: suspended substance, mercury, concentrating ability of suspensions, the Crimean shelf of the Black Sea, the Freundlich and Langmuir equations.