

УДК 551.464.3

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОД ЗАЛИВА УГЛОВОГО ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ В ФЕВРАЛЕ 2010–2016 гг.

© 2018 г. В. И. Петухов¹, Е. А. Петрова^{2,*}, О. В. Лосев¹

¹Дальневосточный федеральный университет

Россия 690950 Владивосток

E-mail: losev_ov@dvfu.ru

²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН

Россия 690041 Владивосток

*E-mail: Petrova@poi.dvo.ru

Поступила в редакцию 11.06.2016 г.

После доработки 27.12.2016 г.

Принята к печати 29.12.2016 г.

Представлен анализ загрязнения вод зал. Угловой тяжелыми металлами и нефтепродуктами за 2015–2016 гг. Выявлено превышение предельно допустимой концентрации по Mn, Fe, Cu, Ni, Hg, As, Pb, Cd и нефтепродуктам. У северо-восточного побережья залива развивается гипоксия и происходит накопление тяжелых металлов в растворенной форме. Сделан вывод о том, что речной сток — основной источник поступления поллютантов в воды залива. Исследование кернов льда показало высокую степень накопления тяжелых металлов. Ледовый покров аккумулирует загрязняющие вещества и генерирует процессы поступления их в воду. Дана оценка уровня загрязнения вод в горле зал. Угловой тяжелыми металлами и нефтепродуктами в 2010–2016 гг.

Ключевые слова: Амурский залив, залив Угловой, тяжелые металлы, нефтепродукты, экологический мониторинг, динамика загрязнения.

DOI: 10.31857/S0321-0596461102-113

Залив Угловой расположен в северо-восточной части Амурского залива (зал. Петра Великого, Японское море), вдается в берег материка между мысами Тихий и Клыкова. В зал. Угловой выделяются две части — сам залив и горло (пролив), соединяющее его с бух. Бражникова и Амурским заливом. На берегу залива расположен известный в прошлом курорт “Садгород”. Основным средством лечения была глинисто-иловая солевая грязь, которая использовалась в здравницах края с 1922 г. до начала XXI в. [1, 26]. На берегах залива расположено несколько поселков (Трудовое, Зима Южная, Шмидтовка), с. Прохладное.

Одни из основных источников загрязнения исследуемой акватории — местные реки и ручьи, большое количество которых несут свои воды в зал. Угловой. В северо-восточную часть залива впадает р. Песчанка. Она протекает по территории пос. Трудового, где расположена промышленная зона. В реку попадают не только поверх-

ностные сточные воды с территории населенных пунктов, но и канализационные воды с очистных сооружений г. Владивостока (канализационные очистные сооружения плодово-ягодной опытной станции — КОС “ПЯОС”) [14]. К наиболее загрязненным водотокам относится также р. Аэродромная, куда попадают сточные воды с птицефабрики, а также реки Угольная и Саперка, в которые поступают промышленные и бытовые стоки г. Артема и других населенных пунктов. В условиях ослабленной динамики вод для районов поступления загрязняющих веществ (ЗВ) характерно образование зон повышенного содержания поллютантов [9], что связано с недостаточной очисткой стоков [14].

В 2009–2012 гг. в горле залива велось строительство низководного моста (незначительно возвышается над горизонтом вод). Он соединяет п-ов Де-Фриз и п-ов Муравьева-Амурского в районе микрорайона Седанка и является частью автотрассы пос. Новый — п-ов Де-Фриз —

ст. Седанка — бух. Патрокл. Протяженность моста составляет 4378 м, ширина — 23.88 м, высота над уровнем моря — 6 м, количество опор моста — 81. Во время строительных работ проводилось дноуглубление и возведение технологических дамб. В местах подобной деятельности значительно повышаются мутность воды и содержание в ней ЗВ, в результате чего экосистема оказывается под сильнейшей нагрузкой [13]. Объем взвешенных веществ, появляющихся в ходе строительных работ, можно сравнить с дампингом грунтов и годовым стоком загрязненных рек, таких как Раздольная [16].

Существенное влияние на гидрологические и гидрохимические характеристики залива оказывает ледовый покров. Лед в заливе устанавливается с конца ноября — начала декабря и стоит до конца марта — начала апреля. Толщина льда в заливе в среднем 0.5–0.6 м, в проливе — 0.4 м. На мелководных участках залива толщина льда может быть >0.8 м [26]. Образующийся в прибрежной зоне молодой лед обильно накапливает в своей массе вещества, присутствующие в морской воде. Кроме того, во время льдообразования ЗВ поступают в лед из атмосферы посредством эолового переноса, а также влажного и сухого осаждения. Таким образом, большая площадь поверхности льда задерживает переносимые воздухом ЗВ. Благодаря сохранению ЗВ в массе льда в значительной степени ограничивается естественная способность залива к самоочищению. Льды обладают еще одной функцией — выжимать рассолы при льдообразовании. В то же время при сильном понижении температуры весь рассол вымерзает, образуя на поверхности льда твердые соли [17, 18].

В сильно загрязненных водах гидробионты характеризуются высокой степенью накопления металлов [23]. В работах [12, 32, 35] биологические виды, обитающие в зал. Угловом, использовались для биоиндикации и оценки загрязнения в отдельных районах зал. Петра Великого, в том числе кута Амурского залива. Так, в устьевой зоне р. Раздольной для мягких тканей двустворчатых моллюсков характерны повышенные содержания тяжелых металлов (ТМ) [12]. В зал. Угловом общая площадь распространения устричников достигает нескольких сот гектар [26]. Места распространения их

в заливе также подвержены загрязнению, и, следовательно, можно ожидать соответствующий биологический отклик. В прибрежной зоне г. Владивостока из-за загрязнения воды исследуемые биологические виды приобретают признаки угнетения [3], патологию развития [4], а также идентифицируются изменения физиологических процессов, направленных на защиту жизненно важных функций организма [3, 19].

В работах [32, 35] представлены исследования содержания ТМ в галофитах, произрастающих на побережье залива, и в морской траве *Zostera marina*. Содержание металлов в листьях *Zostera marina* из зал. Углового, по данным [35], превышает фон в 1.5–2 раза, а по данным [32], надземная часть морской травы имеет высокие концентрации Cu, Cd, Mn. Эти результаты можно интерпретировать как свидетельство высокого уровня биодоступности ЗВ и опасности их непрерывной миграции по трофическим цепям [33]. ТМ имеют свойство не только накапливаться в биологических тканях, но и переходить по пищевой цепочке на более высокий уровень. Планктон концентрирует ТМ на 3 порядка больше, чем их содержится в воде. Перемещение металлов по пищевой цепи может сопровождаться 10-кратным увеличением их концентрации [19].

Помимо ТМ, нефтепродукты (НП) — также ЗВ, распространенные в морской среде, подверженной антропогенному воздействию. Они оказывают негативное влияние на биологические процессы, приводят к уменьшению содержания растворенного в воде кислорода. При низкой температуре воды и дефиците кислорода распад нефти практически останавливается и происходит ее накопление.

Цель настоящего исследования — оценка экологического состояния зал. Углового и анализ динамики загрязнения вод залива по ТМ и НП за 2010–2016 гг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ежегодный мониторинг содержания ТМ (Fe, Cr, Mn, Cu, Co, Ni, Cd, Pb, Zn, As, Hg) и НП в зал. Угловой проводится сотрудниками Инженерной школы Дальневосточного федерального

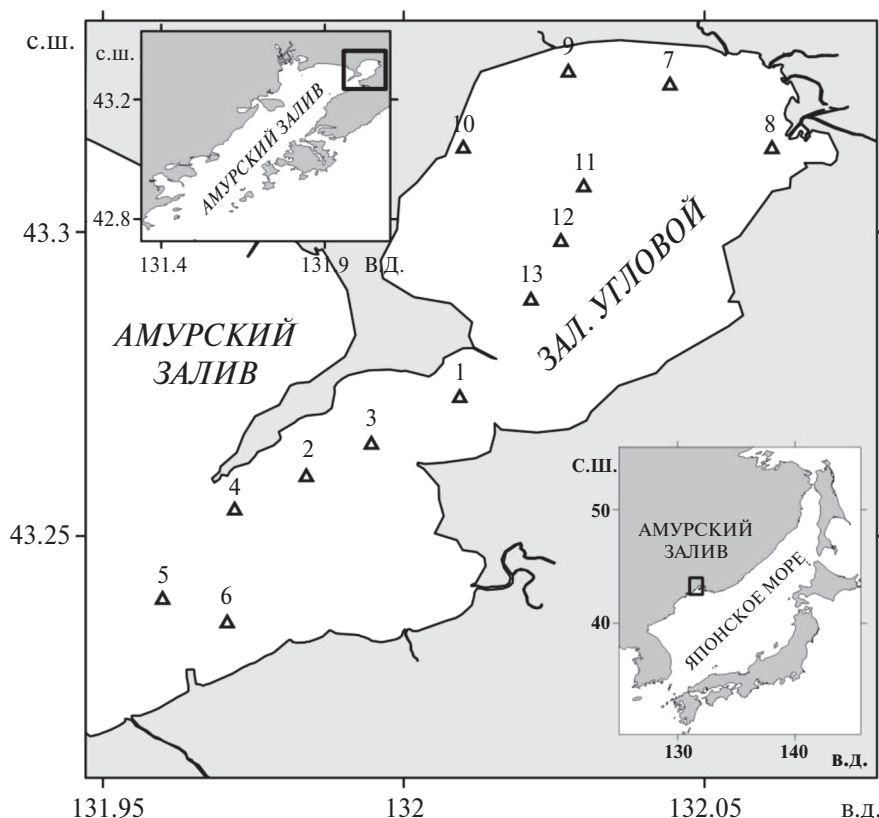


Рис. 1. Картограмма расположения станций отбора проб воды (1–13) в зал. Угловом.

университета с 2010 по 2016 г. Отбор проб осуществлялся в первых числах февраля на фиксированных точках (всего 13 станций). Пробы отбирали из-под льда с поверхностного и придонного горизонтов. Схема расположения станций представлена на рис. 1. Для отбора проб воды со льда использовали навигатор портативный (“GPS Garmin eTrex”), пробоотборник, емкости для хранения проб (пластмассовые и стеклянные).

Анализ проб морской и талой ледовой (керны) воды определяли в экоаналитической лаборатории – Межведомственном центре аналитического контроля состояния окружающей среды. Исследования выполнялись методом атомно-абсорбционной спектроскопии и атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. Анализ проб морской воды на содержание ТМ (Fe, Cr, Mn, Cu, Co, Ni, Cd, Pb, Zn, As, Hg) выполнен согласно [22, 27, 29], НП – согласно [31]. Определение количества ТМ в кернах льда выполнено согласно рекомендациям [21]. Для исследования проб использовали специ-

альное оборудование: эмиссионный спектрометр с индуктивно-связанной плазмой “ICPE-9000” (“Shimadzu”, Япония), двулучевой атомно-абсорбционный спектрофотометр AA-6300 (“Shimadzu”, Япония) с гидридной приставкой “HVG-1”, инфракрасный Фурье-спектрометр “FTIR-8400S” (“Shimadzu”, Япония).

Помимо перечисленных параметров, в 2015–2016 гг. определяли соленость (S), растворенный кислород (DO), pH и перманганатную окисляемость (ПО). Соленость и pH определяли с использованием портативного прибора “Multi 340i SET” (“WTW”, Германия), DO – с помощью STD-зонда, ПО – в соответствии со стандартной методикой [6, 27, 30].

Для оценки загрязнения морских вод зал. Угловой рассчитан интегральный показатель загрязненности воды Z и индекс загрязненности вод (ИЗВ). Расчет Z проводили в соответствии с методикой [28], установленной для удельного комбинаторного ИЗВ. Правила расчета ИЗВ представлены в методических рекомендациях [17].

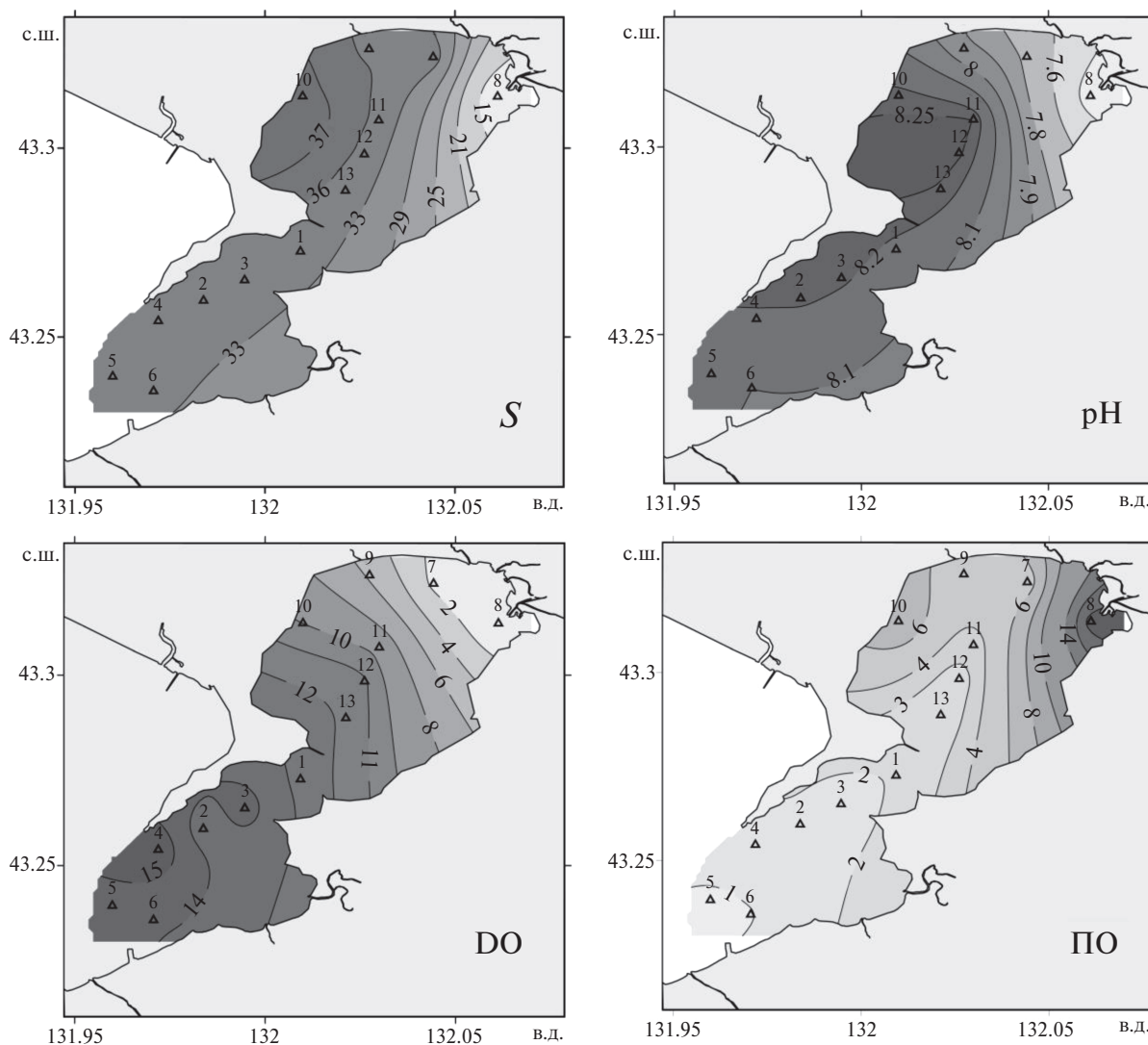


Рис. 2. Пространственное распределение солёности (S), ‰, pH, растворенного кислорода (DO), мг/л, и перманганатной окисляемости (ПО), мг O_2 /л, на поверхности зал. Углогого в 2016 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Важные характеристики, влияющие на содержание металлов в морской воде, — солёность, pH, растворенный кислород и содержание органических веществ. Распределение по исследуемой акватории в 2016 г. основных гидрохимических параметров вод представлено на рис. 2. Это интерпретирует данные по загрязнению залива.

Величина S в зал. Угловом определяется в основном речным стоком и водообменом. По результатам съёмок в 2015 и 2016 гг., основные закономерности ее распределения в эти годы схожи. Различия наблюдаются только в величине S . Так, в 2015 г. S изменялась в пределах

10.9–38.7, в 2016 г. — 9.0–37.1‰. При этом минимальные ее величины получены в северо-восточной части зал. Углогого на ст. 8 (зона влияния р. Песчанки), а максимальные — в западной части залива на ст. 9 и 10, что связано с застойными явлениями и слабым водообменом. В горле залива S была ниже (34.4–35.3‰ в 2015 г. и 33.7–34.8‰ в 2016 г.).

Ослабленный водообмен между двумя частями залива — результат наличия естественных барьеров — двух длинных песчаных кос между мысами Раздельный и Спорный, а также подводного порога, состоящего из нескольких устричных рифов [26]. Кроме того, вклад в снижение водообмена вносят и рукотворные сооружения. К таким объектам относятся канализационный

дюкер, проложенный по дну в средней части горла залива, и насыпные дамбы низководного моста. Конструкция моста также может нарушать естественные гидрологические процессы в горле залива. В результате того, что опоры моста расположены относительно близко друг к другу, они препятствуют сходу льда в некоторые (холодные) годы.

Величина рН характеризует химические и биохимические процессы в воде. Ее уменьшение, как правило, связано с повышением концентрации углекислоты в результате окисления органического вещества, сопровождающегося уменьшением содержания DO. По результатам двух съемок в 2015 и 2016 гг., на исследуемой акватории значения рН менялись от 7.31 до 8.26, содержание DO – от 1.6 до 15.8 мг/л. Минимальные величины рН и DO получены на ст. 7 и 8 в северо-восточной части залива, в месте впадения рек Аэродромной и Песчанки (рис. 2). Здесь наблюдается гипоксия (DO – 13% насыщения), содержание DO в 2.5 раза ниже ПДК. Концентрацию DO ниже пороговой (2.0 мг/л) в международной практике принято считать опасной для жизнедеятельности морских организмов [9]. На остальных станциях в основной части зал. Углового содержание DO составило 80–98% насыщения, в горле залива и у низководного моста – 105–130% насыщения. Максимальное содержание DO (15.8 мг/л, 130% насыщения) отмечено на ст. 4 (рис. 2).

ПО – комплексный параметр, позволяющий оценить общее загрязнение воды органическими веществами. В 2016 г. ее величина менялась от 0.9 до 19.0 мгО₂/л. Максимальные значения ПО получены для северо-западной и северо-восточной частей зал. Углового, что указывает на высокую степень загрязнения вод растворенной органикой по сравнению с остальной частью исследуемой акватории (рис. 2). Повышенные величины ПО в районе ст. 9 и 10 (4.9 и 8.0 мгО₂/л соответственно) связаны с застойными явлениями, которые наблюдаются здесь при слабом водообмене. Максимум ПО (19.0 мгО₂/л) и минимум S и рН на ст. 8 говорят о том, что речной сток р. Песчанки – основной источник загрязнения залива (рис. 2). Кроме того, лед здесь имел желтый цвет, что указывает на высокое содержание в нем взвешенных частиц речного стока.

Закономерности пространственного распределения в заливе основных гидрохимических показателей имеют важное значение в контексте их связи с распределением ТМ. Так, например, ТМ в воде активно связываются с растворенной органикой, образуя металлоорганические соединения и комплексы. Это подтверждается результатами корреляционного анализа: высоким значениям ПО соответствуют повышенные концентрации таких металлов, как Fe, Hg, Cu, Mn ($r = 0.86–0.95$).

Данные по содержанию ТМ на поверхности зал. Углового в 2015–2016 гг. представлены в таблице.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ зал. УГЛОВОЙ

На ст. 7 в северной части исследуемой акватории в 2015 г. выявлены максимальные концентрации Cu (4.28 ПДК), Pb (2.70 ПДК) и Cd (1.03 ПДК), а также повышенное содержание Fe (1.21 и 2.30 ПДК в 2015 и 2016 гг. соответственно) и As (1.07 ПДК в 2016 г.). В исследуемый период концентрация Cd менялась в пределах 0.0–10.3 мкг/л, что превысило нормативный показатель только в 2015 г. (таблица). Однако даже при концентрации Cd в 1 мкг/л он проявляет токсические свойства [25].

На ст. 8 в 2015 г. наблюдались высокие концентрации Mn (12.10 ПДК), Fe (2.14 ПДК) и Cu (1.22 ПДК). По данным за 2016 г., здесь обнаружены максимальные содержания Mn (34.6 ПДК), Fe (13.64 ПДК), Hg (3.07 ПДК) и повышенные концентрации Cu (2.16 ПДК) и As (1.72 ПДК) (таблица). Ст. 8 значительно подвержена влиянию речных вод. В эту часть залива со стоком р. Песчанки и других малых рек привносится большое количество органического вещества, что в результате ослабленной динамики вод приводит к истощению кислорода. Как правило, в таких случаях возникают восстановительные условия, что проявляется мобилизацией в раствор таких металлов, как Mn, Fe, Ni [5, 24, 36], а нарушение кислородного режима – причина повышенного содержания растворенной Si в водах с соленостью 10–15‰ [34, 36]. На соседних станциях в результате увеличения S и приближения к нормальному содержанию кислорода концентрации этих металлов значительно ниже, чем на ст. 8. Hg хорошо сорбиру-

Таблица. Содержание ТМ (в превышениях ПДК) на поверхности зал. Углого (числитель – в 2015 г., знаменатель – в 2016 г.; ПДК для Cr – 0.01 мг/л в соответствии с [28]; 0 – аналитический ноль)

Станции	Cu	Pb	Fe	Cd	Co	Cr	Mn	Ni	Zn	Hg	As
1	1.00	0.44	0.27	0.15	0.00	0.00	0.34	0.05	0.04	-	-
	0.82	0.21	0.44	0.03	0.04	0.09	0.18	0.23	0.14	0.18	0.22
2	0.56	0.16	0.33	0.06	0.00	0.00	0.11	0.03	0.06	-	-
	0.80	0.29	0.21	0.05	0.03	0.07	0.21	0.25	0.09	0.17	0.11
3	3.10	0.78	0.48	0.28	0.00	0.00	0.30	0.12	0.05	-	-
	0.54	0.15	0.24	0.00	0.00	0.00	0.12	0.17	0.06	0.22	0.09
4	2.88	0.34	0.22	0.09	0.00	0.00	0.16	0.10	0.11	-	-
	0.50	0.17	0.11	0.01	0.02	0.00	0.01	0.18	0.09	0.95	0.05
5	0.60	0.71	0.26	0.21	0.00	0.00	0.11	0.03	0.04	-	-
	0.50	0.21	0.07	0.01	0.03	0.00	0.02	0.19	0.12	0.18	0.00
6	1.08	0.44	0.53	0.15	0.00	0.13	0.13	0.05	0.11	-	-
	0.50	0.39	0.11	0.04	0.03	0.00	0.03	0.19	0.08	0.39	0.05
7	4.28	2.70	1.21	1.03	0.00	0.00	0.71	0.13	0.07	-	-
	0.66	0.69	2.30	0.03	0.10	0.06	0.95	0.23	0.09	0.62	1.07
8	1.22	0.03	2.14	0.01	0.00	0.00	12.10	0.12	0.15	-	-
	2.16	0.13	13.64	0.14	0.06	0.08	34.60	0.65	0.35	3.07	1.72
9	0.80	1.28	0.26	0.48	0.00	0.00	0.47	0.12	0.06	-	-
	0.96	1.11	6.68	0.06	0.15	0.08	4.65	0.26	0.43	0.74	2.25
10	3.66	1.84	0.53	0.72	0.00	0.00	0.46	0.10	0.05	-	-
	1.34	1.44	1.14	0.22	0.07	0.23	0.63	0.27	0.56	0.25	1.11
11	0.78	0.27	0.33	0.09	0.00	0.00	0.17	0.05	0.11	-	-
	0.52	0.38	0.96	0.04	0.05	0.04	0.47	0.21	0.07	0.30	0.40
12	0.70	0.69	0.46	0.25	0.00	0.00	0.23	0.07	0.15	-	-
	0.48	0.20	1.12	0.15	0.00	0.01	0.48	0.20	0.14	0.42	3.07
13	2.06	0.67	0.20	0.25	0.00	0.00	0.27	0.10	0.08	-	-
	0.50	2.58	5.08	0.34	0.19	0.58	0.23	4.98	0.74	0.99	0.42

ется на взвешенных частицах, что определяет ее миграцию в речном стоке в составе взвеси [37], ее высокая концентрация может быть связана с десорбцией, распадом мицелл и связыванием с растворенной органикой.

В западной части зал. Углого в поверхностном слое вод обнаружены высокие концентрации ТМ на ст. 9 (Pb в 2015–2016 гг., а также Fe, Mn, As в 2016 г.) и ст. 10 (Cu, Pb в 2015–2016 гг. и Fe, As в 2016 г.). В центральной части залива повышенные содержания ТМ получены на ст. 12 (Fe, As в 2016 г.) и ст. 13 (Cu в 2015 г. и Pb Fe, Ni в 2016 г.) (таблица). Особенно примечательна ст. 13, где в 2016 г. выявлены максимальные

для исследуемой акватории содержания Co, Cr и Zn (0.97, 5.8 и 37 мкг/л соответственно), но они не превышали норму. Повышенные концентрации ТМ здесь связаны со слабым водообменом.

В придонном горизонте превышения ПДК исследуемых металлов не обнаружено.

Ледовый покров в зал. Углом — важный фактор накопления ЗВ. Благодаря тому, что лед сводит к минимуму влияние атмосферы на водные массы, происходит накопление ЗВ в местах их поступления. Кроме того, в результате сильного промерзания некоторых частей залива про-

исходит увеличение минерализации подледной воды. В этом случае при нарастании льда происходит выдавливание рассола, содержащего ТМ в больших концентрациях. Увеличение содержания ТМ в подледной воде также может происходить во время таяния льда. В это время вследствие повышения температуры воды происходит увеличение массы рассола во льду, который из верхней части слоя льда переходит в подледную воду [7, 18, 20]. В работе [38] исследование сезонной динамики гидрохимических показателей в Амурском заливе выявило схожую ситуацию, выраженную в повышении концентрации Fe, Zn, Cu и Ni в начале зимы и весной.

По результатам исследования кернов льда в 2016 г. получено, что ТМ активно накапливаются и во льду зал. Углового. Так, в основной части залива выявлены высокие содержания Fe (10–30), Cu (10) и Hg (0.07 мкг/л), что связано с содержанием их в воде, из которой образовался лед. При этом наиболее грязный лед получен из основной части залива (ст. 7 и 8). Вклад атмосферы в накопление ТМ (Zn, Cr, Cd, Hg, Fe, As и Ni) в морском льду – это выбросы автотранспорта, а также Артемовской ГРЭС и котельных, работающих на мазуте и угле [10]. Роль последнего источника в отношении Hg описана в работе [2].

ТМ обладают высокой токсичностью для морских организмов. Самое большое содержание получено для Fe и Mn, однако они проявляют меньшие токсические свойства, чем As, Cu,

Pb и Hg [11, 15, 25, 36]. Токсичность ТМ может значительно повышаться в условиях дефицита кислорода. При участии микроорганизмов происходят серии превращений, что способствует переходу ряда загрязнителей в более токсичную форму, в которой они быстрее накапливаются в тканях организмов [19, 34].

Загрязнение по НП не менее опасно для морской среды, чем по ТМ. Хроническое загрязнение по НП негативно сказывается на кормовой базе, особенно бентоса, также снижается биопродуктивность [25]. Этот вид загрязнения исключает возможность использования побережья для оздоровительного и спортивного отдыха. Пространственное распределение содержания НП в поверхностном слое исследуемой акватории представлено на рис. 3.

В поверхностном слое основной части зал. Углового содержание НП в 2015 г. менялось в пределах 0.5–5.9 ПДК. Максимальная концентрация этого параметра получена на ст. 8, что указывает на то, что речной сток – основной источник поступления НП на этой акватории. Также повышенные концентрации НП получены на ст. 7, 9 и 11 (1.5, 1.1 и 1.5 ПДК соответственно) (рис. 3). В 2016 г. содержание НП на ст. 7, 8, 10 и 11 было ниже, чем в предыдущем году, и менялось в пределах 0.8–1.3 ПДК. Исключение составили ст. 9 и 12, где концентрации НП увеличились в 2–4 раза (3.7 и 2.5 ПДК соответственно).

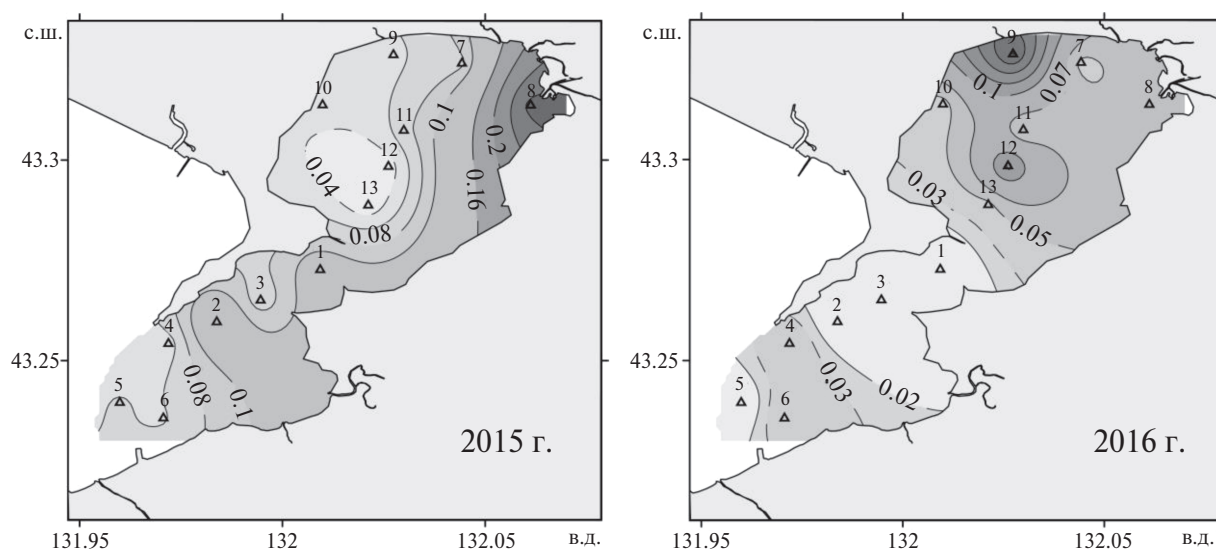


Рис. 3. Пространственное распределение содержания НП, мг/л, в поверхностном слое зал. Углового в 2015 и 2016 гг.

ГОРЛО зал. УГЛОВОГО

По материалам двух съемок (2015–2016 гг.), содержание ТМ в горле залива значительно ниже, чем в основной части исследуемой акватории (таблица). Так, в 2015 г. превышение нормативного показателя в поверхностном слое было выявлено только для Cu (3.1 ПДК на ст. 3, 2.9 ПДК на ст. 4, 1.1 ПДК на ст. 6). Кроме того, здесь наблюдалось повышенное содержание Pb (0.8 ПДК на ст. 3 и 0.7 ПДК на ст. 5). В 2016 г. содержание Cu в поверхностном слое было ниже, чем в предыдущем году (0.82 ПДК на ст. 1 и 0.80 ПДК ст. 2). Содержание Pb также значительно снизилось и составило 0.15–0.39 ПДК.

Для придонного горизонта в 2015 г. превышение нормативного показателя выявлено только для Cu. Наибольшие концентрации этого металла отмечены на станциях 4 (1.8 ПДК), 6 (1.5 ПДК) и 3 (1.3 ПДК). Вторым по содержанию металлом был Pb (0.12–0.58 ПДК). Величина данного параметра не превышала нормативный показатель и была значительно ниже поверхностного слоя воды. По данным съемки 2016 г., в придонном горизонте превышения ПДК исследуемых металлов не обнаружено. Наблюдалось лишь повышенное содержание Cu (0.92 ПДК на ст. 1) и Hg (0.78 ПДК на ст. 4).

Результаты исследования кернов льда в горле зал. Углого в 2016 г. показали высокое, по сравнению с исследуемой акваторией, содержание Cd (44.2) и Cr (1.5–3.4 мкг/л). По остальным параметрам превышений нормативных показателей не обнаружено.

По результатам съемки в 2015 г., в горле зал. Углого в поверхностном слое содержание НП практически повсеместно превышало нормативный показатель (1.2–2.9 ДК), и только на ст. 4 концентрация данного параметра была немного меньше (0.98 ПДК). В 2016 г. содержание НП на ст. 1–6 значительно снизилось (0–0.96 ПДК). Распределение данной характеристики в 2016 г. указывает на источник загрязнения у моста (ст. 4–6), а в горле залива (ст. 1 и 3) – на наличие барьера, препятствующего распространению загрязнения.

В придонном горизонте в районе низководного моста, по данным 2015 г., повышенная концентрация НП – на ст. 6 (1.1 ПДК). В 2016 г. высокие концентрации НП у дна получены на ст. 2 и 5 (1.0 и 3.7 ПДК соответственно), при этом на поверхности они не обнаружены. Данный факт, вероятно, связан с наличием источника загрязнения у дна и с адвекцией вод из кутовой части Амурского залива. На остальных станциях превышение ПДК по НП не выявлено.

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОД
зал. УГЛОВОГО

Для оценки загрязнения вод зал. Углого рассчитан интегральный показатель загрязненности воды Z . Сравнение результатов расчета индекса Z в поверхностном слое основной части зал. Углого в 2015 и 2016 гг. представлено на рис. 4.

В 2015 г. самыми загрязненными районами основной части зал. Углого были его северная и северо-восточная части в местах впадения рек

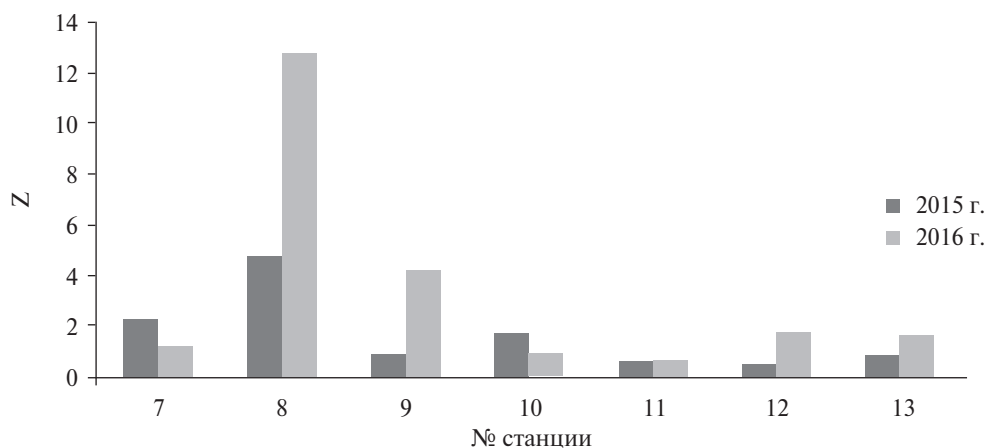


Рис. 4. Распределение величин интегрального показателя загрязненности воды Z в поверхностном слое основной части зал. Углого в 2015 и 2016 гг.

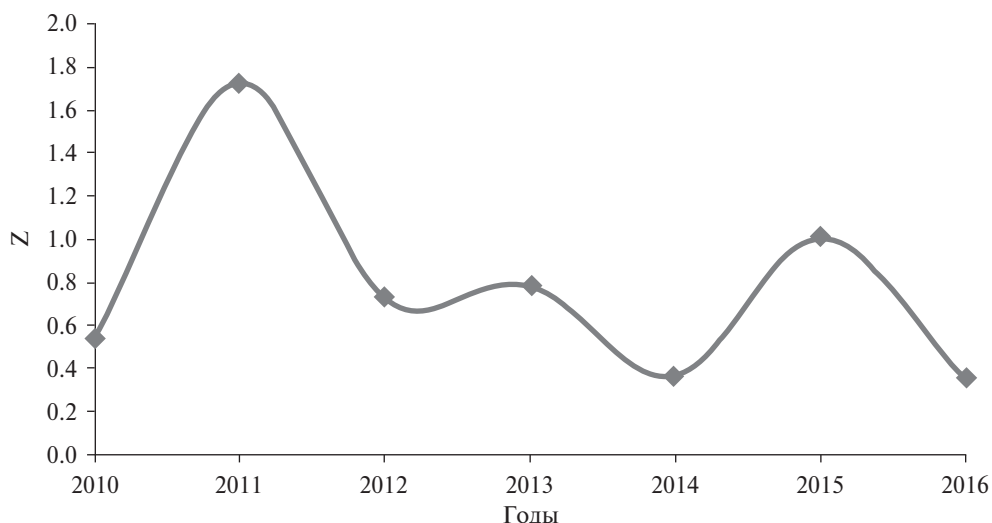


Рис. 5. Изменение интегрального показателя загрязненности воды Z в поверхностном слое в горле зал. Углового за 2010–2016 гг.

Песчанки, Грязнухи и Аэродромной. Здесь индекс Z равен 2.4 и 5.3 (ст. 7 и 8 соответственно). На данной акватории выявлены высокие концентрации Cu , Fe , Pb , NP и Mn с преобладанием последнего элемента (12.1 ПДК на ст. 8) (таблица).

В 2016 г. содержание ЗВ увеличилось на ст. 8, 9, 12 и 13 по сравнению с предыдущим годом (рис. 4). Самый высокий уровень загрязнения по индексу Z был на ст. 8, где выявлены крайне высокие концентрации Mn , Fe , Hg и Cu (таблица).

По материалам наблюдений в период с 2010 по 2016 г. рассчитан индекс Z в горле зал. Углового. Это позволило проследить динамику загрязнения вод по ТМ и НП в районе низководного моста (ст. 1–6) во время строительных работ и после их окончания (рис. 5).

Максимальная величина $Z = 1.7$ наблюдалась в 2011 г., что указывает на значительное загрязнение вод в горле залива в результате строительных работ. Основной вклад здесь внесли Fe (4.0 ПДК) и Cu (1.7 ПДК). Данные, представленные в работе [8], по содержанию ТМ в зал. Угловом в 2008 г. также показали высокое содержание Fe , Cu и Zn . Таким образом, основной вклад в загрязнение данного района в период подготовительных работ и строительства моста (2008–2012 гг.) внесли Fe и Cu .

После завершения строительства моста в 2012 г. загрязнение снижалось до 2014 г. включительно (рис. 5). В 2013 г. наблюдался неболь-

шой рост уровня загрязнения, что обусловлено высоким содержанием Fe . Превышение ПДК по Fe здесь менялось в широких пределах — от 0.07 (ст. 4) до 8.8 ПДК (ст. 2). В 2015 г. вновь был зафиксирован рост загрязнения в исследуемом районе ($Z = 1.4$), связанный с высоким содержанием НП (0.98–2.92 ПДК) и Cu (0.56–3.10 ПДК).

Повышенное содержание поллютантов, зафиксированное в 2015 г., может быть следствием их плоскостного смыва с техногенной территории. Кроме того, отмечена устойчивая тенденция увеличения содержания растворенного Pb в этой части залива. Концентрация этого металла возросла более чем в 2 раза по сравнению с предыдущими годами, однако не превышала норму.

Один из наиболее распространенных методов описания качества вод и сравнения по этому параметру различных акваторий — с помощью расчетных значений индекса загрязненности морских вод (ИЗВ). ИЗВ позволяет отнести воды исследуемой акватории к определенному классу чистоты. Авторами статьи был рассчитан ИЗВ только для 2016 г. Это связано с тем, что при его расчете используют четыре параметра с обязательным учетом растворенного кислорода, который определялся только в последний год наблюдений. В результате получено, что воды основной части зал. Углового соответствуют классу IV качества вод — “загрязненные” (ИЗВ = 1.35). Район низководного моста и пролив относятся к классу II качества вод — “чистые” (ИЗВ = 0.36).

ВЫВОДЫ

Анализ данных, полученных в период с 2010 по 2016 г., позволил оценить уровень загрязнения зал. Углового по ТМ и НП, а также представить динамику загрязнения исследуемой акватории.

По результатам отбора проб в 2015–2016 гг. в основной части залива выявлены повышенные концентрации ТМ, которые превосходят таковые в районе низководного моста. Концентрации, превышающие ПДК, обнаружены здесь для следующих элементов: Mn, Fe, Cu, Ni, Hg, As, Pb, Cd и НП. Отдельно следует отметить район ст. 8 – в зоне влияния речных вод. Здесь зафиксировано высокое содержание Mn, Fe и НП. Кроме того, у северо-восточного побережья залива (ст. 7 и 8) развивается гипоксия и происходит накопление ТМ в растворенной форме. В результате речной сток определен как главный источник загрязнения вод основной части зал. Углового по ТМ и НП в зимний период.

Содержание ТМ в горле залива значительно ниже, чем в его основной части, превышение нормативного показателя в поверхностном слое выявлено только для Cu в 2015 г.

Ледовый покров оказывает значительное влияние на гидрологические условия и загрязнение зал. Углового. Анализ кернов льда показал, что лед активно накапливает ТМ (Fe, Cu, Hg в основной части зал. Углового и Cd, Cr в горле залива). Весной в период таяния льда и активного развития фитопланктона эти ТМ поступят в залив и включатся в биогеохимический цикл. В связи с этим в дальнейшем планируется провести наблюдения в теплый период года, а также исследовать донные отложения залива.

По результатам расчета индекса Z в 2011 г. для горла зал. Углового, максимум загрязнения по ТМ (Fe, Cu) пришелся на период с 2010 по 2016 г., что связано со строительством низководного моста. После завершения строительных работ содержание ЗВ значительно уменьшилось. Однако эксплуатация моста и в настоящее время приводит к загрязнению исследуемой акватории по ТМ и НП.

По данным расчета ИЗВ, акватория основной части зал. Углового относится к “загрязненным” водам, что соответствует классу IV качества вод, а горло залива – к “чистым” водам (класс II качества).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Акимов В.В.* К организации охраны залежей лечебных грязей на дне залива Угловой // Охрана природы на Дальнем Востоке. 1964. Вып. 2. С. 181–187.
2. *Аксентов К.И.* Ртуть в донных осадках залива Петра Великого. Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2013. 16 с.
3. *Алешко С.А., Нигматулина Л.В., Лукьянова О.Н.* Поступление загрязняющих веществ в Амурский залив и активность системы биотрансформации поллютантов у индикаторных видов морских организмов в импактных районах // Материалы междунар. науч. конф. “Экологические проблемы использования прибрежных морских акваторий”. Владивосток: Изд-во ДВГУ, 2006. С. 4–7.
4. *Ващенко М.А., Жадан П.М., Альмяшова Т.Н.* Оценка уровня загрязнения донных осадков Амурского залива (Японское море) и их потенциальной токсичности // Биология моря. 2010. Т. 36. № 5. С. 354–361.
5. *Гордеев В.В.* Система река-море и ее роль в геохимии океана. Автореф. дис. ... док. геол.-минерал. наук. М.: ИО РАН, 2009. 35 с.
6. ГОСТ 26449.1-85. Установки дистилляционные опреснительные стационарные. Методы химического анализа соленых вод.
7. *Доронин Ю.П., Хейсин Д.Е.* Морской лед. Л.: Гидрометеоздат, 1975. С. 317.
8. *Дулепов В.И., Кочеткова О.А.* Эколого-гидрохимические исследования акваторий залива Петра Великого // Подводные исследования и робототехника. 2012. № 2(14). С. 69–73.
9. *Звалинский В.И., Тищенко П.П., Михайлик Т.А., Тищенко П.Я.* Эвтрофикация Амурского залива // Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря. Владивосток: Изд. дом ДВФУ, 2012. С. 76–113.
10. *Зверева В.П., Крупская Л.Т.* Оценка влияния золотвалов теплоэлектростанций на объекты окружающей среды (На юге дальнего востока) // Экол. химия. 2012. № 21(4). С. 225–233.
11. *Израэль Ю.А., Цыбань А.В.* Антропогенная экология. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 519 с.
12. *Кику Д.П., Ковековдова Л.Т.* Сравнительная оценка содержания микроэлементов в двустворчатых моллюсках из Уссурийского и Амурского заливов // Материалы междунар. науч. конф. “Уссурийский залив: современное экологическое состояние, ресурсы и перспективы природопользования”. Владивосток: Изд-во ДВГУ, 2009. С. 94–98.
13. *Королев В.В., Мамаева М.А.* Техногенные воздействия на экосистему восточной части Финского залива // Изв. РГО. 2013. Т. 145. Вып. 2. С. 74–79.
14. *Лосева Я.П., Гриванова С.М.* Очистка сточных вод г. Владивостока // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 1685–1693.

15. Лукьяненко В.И. Токсикология рыб. М.: Пищевая пром-сть, 1967. 215 с.
16. Мишуков В.Ф., Калинин В.В., Плотников В.В., Войццкий А.В. Влияние дампинга загрязненных грунтов на экологическое состояние прибрежных вод г. Владивостока // Изв. ТИНРО. 2009. Т. 159. С. 243–256.
17. МР 1988. Методические Рекомендации по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. М.: Госкомгидромет СССР, 1988. 9 с.
18. Немировская И.А. Углеводороды в океане (снег–лед–вода–взвесь–донные осадки). М.: Науч. мир, 2004. 328 с.
19. Основы экологии и охраны природы: Учебник // Под. ред. Арзамасцева А.П. М.: Медицина, 2008. 416 с.
20. Песчанский И.С. Ледоведение и ледотехника. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 467 с.
21. ПНД Ф 14.1:2:4.135-98. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации элементов в пробах питьевой, природных, сточных вод и атмосферных осадков методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. М.: Центр Исследования и Контроля Воды, 1998. 27 с.
22. ПНД Ф 14.1:2:4.140-98. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций бериллия, ванадия, висмута, кадмия, кобальта, меди, молибдена, мышьяка, никеля, олова, свинца, селена, серебра, сурьмы, хрома в питьевых, природных и сточных водах методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией. М.: Роса, 1998. 28 с.
23. Подгурская О.В., Кавун В.Я. Изменение содержания и внутриклеточное распределение тяжелых металлов в органах двусторчатого моллюска *Modiolus Modiolus* при пересадке в загрязненный район (б. Горнотай, Уссурийский залив, Японское море) // Материалы международной науч. конф. “Уссурийский залив: современное экологическое состояние, ресурсы и перспективы природопользования”. Владивосток: Изд-во ДВГУ, 2009. С. 55–58.
24. Пронн М.В., Пронн Л.Н. Железо в окислительно-восстановительных процессах в морских песках // Биология моря. 2001. Т. 27. № 4. С. 292–296.
25. Пряжевская Т.С., Черкашин С.А. Рыбохозяйственная токсикология: учеб. пособие. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2012. 210 с.
26. Раков В.А. Распространение и экология устричных рифов северной части Амурского залива // Экол. вестн. 2010. № 4. С. 21–30.
27. РД 52.10.243-92. Руководство по химическому анализу морских вод. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 264 с.
28. РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязнения поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеиздат, 2003. 89 с.
29. РД 52.24.377-2008. Массовая концентрация алюминия, бериллия, ванадия, железа, кадмия, кобальта, марганца, меди, молибдена, никеля, свинца, серебра, хрома и цинка в водах. Методика выполнения измерений методом атомной абсорбции с прямой электротермической атомизацией проб. Ростов н/Д: Изд-во ГХИ, 2008. 22 с.
30. РД 52.10.735-2010. Водородный показатель морских вод. Методика измерений потенциометрическим методом. М.: ГОИН, 2010. 19 с.
31. РД 52.10.779-2013. Массовая концентрация нефтяных углеводородов в пробах морской воды. Методика измерений методом инфракрасной спектроскопии. М.: ГОИН, 2014. 19 с.
32. Савинок Н.В., Шишлова Н.А. *Zostera marina* биоиндикатор морской среды // Успехи современ. естествознания. 2008. № 6. С. 163.
33. Слуковский З.И., Медведев А.С. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в донных отложениях озер Четырехверстного и Ламбы (г. Петрозаводск, республика Карелия) // Экол. химия. 2015. № 24(1). С. 56–62.
34. Филенко О.Ф., Михеева И.В. Основы водной токсикологии. М.: Колос, 2007. 144 с.
35. Чернова Е.Н. Фоновые концентрации металлов в Зостере морской из залива Петра Великого и оценка его современного экологического состояния // Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря. Владивосток: Изд. дом. ДВФУ, 2012. С. 382–396.
36. Шулькин В.М. Металлы в экосистемах морских мелководий. Владивосток: Дальнаука, 2004. 276 с.
37. Шулькин В.М., Иевлев Д.И. О содержании ртути в природных водах Приморья // Вестн. ДВО РАН. 2013. № 2. С. 98–105.
38. Шулькин В.М., Орлова Т.Ю., Шевченко О.Г., Стоник И.В. Влияние речного стока и продукции фитопланктона на сезонную изменчивость химического состава прибрежных вод Амурского залива Японского моря // Биология моря. 2013. Т. 39. № 3. С. 202–212.

POLLUTION OF THE UGLOVOY BAY WITH HEAVY METALS AND PETROLEUM PRODUCTS DURING FEBRUARY 2010–2016

V. I. Petukhov¹, E. A. Petrova^{2,*}, O. V. Losev¹

¹ Far Eastern Federal University,

Vladivostok, 690950 Russia

E-mail: losev_ov@dyfu.ru

² Il'ichev Pacific Oceanological Institute,

Vladivostok, 690041 Russia

*E-mail: Petrova@poi.dvo.ru

Received: 11.06.2016

Received version received: 27.12.2016

Accepted: 29.12.2016

We analyzed the pollution of Uglovoy bay with heavy metals and petroleum products during 2015–2016. According to maximum allowable concentrations of Mn, Fe, Cu, Ni, Hg, As, Pb, Cd, and petroleum products, we identified an area of hypoxia developing at the north-eastern coast of the bay, with heavy metal accumulation in the dissolved form. We concluded that the river is the main source of pollutants in this bay, and surveys of ice cores showed a high degree of heavy metal accumulation. Although ice sheets accumulate contaminants, these are released into water. Herein, we provide an estimate of water pollution at the entrance to the Uglovoy bay with heavy metals and petroleum products over the years 2010–2016.

Key words: Amur Bay, Uglovoy Bay, heavy metals, petroleum products, environmental monitoring, pollution dynamics.

DOI: 10.31857/S0321-0596461102-113