

О.В. ЛОСЕВ

Анализ источников загрязнения залива Угловой (залив Петра Великого) и факторов его загрязненности

На основе данных экологического мониторинга, полученных осенью 2016 г., и материалов государственной статистической отчетности (2-ТП водхоз) проведен анализ источников загрязнения и их влияния на качество морской среды зал. Угловой. Ослабленный водообмен между основной частью залива и кутом Амурского залива обеспечивает существенные различия в гидрохимическом составе вод. В северной, мелководной, части зал. Угловой обнаружены высокие содержания органических веществ и хлорофилла а. Это указывает на начавшееся «цветение» воды. С повышенным стоком, вызванным тайфуном Лайонрок, в акваторию залива поступили избыточные содержания Си и Рb, концентрации которых в растворе контролируются содержанием взвеси. Антропогенное загрязнение залива тяжелыми металлами связано главным образом с точечными источниками загрязнения на побережье. Загрязняющие вещества поступают в залив со стоками с промплощадки пос. Трудовое и пригорода г. Артем.

Ключевые слова: источники загрязнения, тяжелые металлы, факторный анализ, биогенные элементы, органические вещества, «цветение» воды.

Analysis of pollution sources of the Uglovoy Bay (Peter the Great Bay) and its pollution factors. O.V. LOSEV (Far Eastern Federal University, Vladivostok).

On the basis of ecological monitoring data received in autumn 2016 and information of the state statistical reporting, the pollution sources analysis and its influence on quality of marine ecosystem of the Uglovoy Bay was conducted. Attenuated water exchange among the main part of the Bay and the end of the Amur Bay keeps significant differences of hydrochemical parameters of marine water. In the Northern shallow part of the Uglovoy Bay high concentration of organic compounds and chlorophyll a were measured. It indicates the start of algal bloom. Increased runoff caused by typhoon "Lionrock" has led to the addition an excess content of Cu and Pb which concentrations in the solution are controlled by suspended matter content. Anthropogenic contamination of the Uglovoy Bay with heavy metals mainly related to point sources of pollution of on the coast of the Bay. Pollutants come with wastewater from the industrial sites of Trudovoe village and the vicinity of Artem city.

Key words: pollution sources, heavy metals, factor analysis, biogenic elements, organic compounds, algal bloom.

Введение

Залив Угловой – мелководная акватория в северо-восточной части Амурского залива, имеющая ослабленный водообмен. В геоморфологическом строении залива можно выделить мелководную северную часть и горло, где наблюдается увеличение глубины [11]. В зимнее время в результате ледостава залив имеет застойный режим. В летнее время под влиянием речного стока в заливе происходит распреснение поверхностного слоя и заметна вертикальная стратификация.

Описываемая местность благодаря благоприятному морскому климату, защищенности от неблагоприятных метеорологических явлений и наличию бальнеологического ресурса

ЛОСЕВ Олег Валерьевич – аспирант, инженер (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток).
E-mail: losev_ov@dvfu.ru

имеет потенциал для санаторно-курортного и спортивного отдыха [4]. Однако с течением времени ее рекреационная ценность снижается из-за нерационального природопользования, главным образом вследствие хронического загрязнения акватории коммунально-бытовыми и промышленными сточными водами. Таким образом, загрязненность рассматриваемой местности – еще один фактор, снижающий ее перспективность для лечебно-оздоровительных целей [4].

Побережье залива претерпело значительные изменения более чем за 150-летний срок хозяйственного освоения, которое характеризовалось повышенным антропогенным давлением на ландшафтную структуру. К началу XXI в. сохранилось не более 25 % коренных лесов [7]. С 1907 г. в районе пос. Трудовое была начата добыча угля. Урбанизация побережья привела к росту площади водонепроницаемого покрытия водосбора (суммарной площади всех твердых поверхностей), препятствующего просачиванию ливневых вод в почвенные слои. Увеличение доли водонепроницаемого покрытия сказывается на загрязненности стоков. В то же время прибрежная полоса зал. Угловой частично заболочена и зарастает камышом, что вкупе с другими участками, покрытыми растительностью, ослабляет воздействие ливневого стока с твердых поверхностей.

Северная и восточная части побережья дренируются малыми реками и ручьями, которые на протяжении многих лет поставляют в залив коммунально-бытовые и промышленные сточные воды. Результаты исследования содержания загрязняющих веществ (ЗВ) в стоке малых рек урбанизированного ландшафта г. Владивосток свидетельствуют о присутствии тяжелых металлов (ТМ) в количестве, превышающем естественные содержания. В частности, сток р. Песчанка, дренирующей территории пос. Трудовое и пригорода г. Артем, отличается высокими содержаниями растворенного Fe (более 0,1 мг/л). В твердой составляющей стока рек Песчанка и Богатая отмечаются высокие концентрации Mn (222 и 539 мкг/л соответственно) [20]. Кроме того, в реки попадает большое количество твердых бытовых отходов (ТБО), которые скапливаются у северного побережья зал. Угловой (ст. Амурский залив) [6].

На территории водосбора зал. Угловой в значительной степени развита транспортная инфраструктура. Сток с автодорог признается [21] источником загрязнения поверхностных вод взвешенными веществами (ВВ), тяжелыми металлами (Cr, Zn, Fe, Mn, Pb, Cu, Ni, и Al), нефтепродуктами (НП) и биогенными элементами. В результате износа деталей автомобилей на дороге осаждаются ЗВ, которые при совокупном действии дождя и движущегося автотранспорта смываются с дорожного полотна. Содержание ЗВ, связанных с износом автомобилей (Cu, Zn, взвешенные вещества), коррелирует с ежедневным количеством автотранспорта. По обобщенным данным в ливневых водах с проезжей части мостов с трафиком более 100 тыс. автомашин в день содержится 1,1 мг/л NO_3^- , 0,17 мг/л PO_4^{3-} , 0,05 мг/л Pb, 0,05 мг/л Cu, 0,27 мг/л Zn [22].

В 1960 г. начались работы над проектом организации зон санитарной охраны курорта «Садгород». В качестве одной из альтернатив рассматривался проект отвода сточных вод промышленной зоны пос. Трудовое в более глубокую и полноводную акваторию Уссурийского залива [1]. Тем не менее проблема оптимизации отведения сточных вод в зал. Угловой остается актуальной. По данным КГУП «Приморский водоканал» до момента ввода новых станций очистки на п-ове Де-Фриза и КОС «Центральная» нагрузка по очистке хозяйственно-бытовых сточных вод приходилась на устаревшие малые станции очистки – КОС «Де-Фриз», КОС «ПЯОС» и КОС «Фанзавод» (1977–2012). В настоящее время наиболее мощный выпуск (объем водоотведения 4,7 млн $\text{м}^3/\text{год}$ в 2016–2017 гг.) расположен на п-ове Де-Фриза. По плану оптимизации водоотведения от этой части г. Владивосток (Советский район) в третьем квартале 2014 г. было осуществлено переключение абонентов канализационных очистных сооружений (КОС) «ПЯОС» (0,126 млн $\text{м}^3/\text{год}$) на КОС «Де-Фриз-Северные». Новые очистные сооружения на п-ове Де-Фриза, введенные в эксплуатацию в 2012 г., заменили собой старые очистные КОС «Де-Фриз», КОС «Фанзавод» и хлораторную пос. Трудовое. Кроме того, запланировано увеличение нагрузки

водоотведения (3,12 млн м³/год) от строящегося микрорайона в районе Плодово-ягодной станции и пос. Трудовое.

Цель настоящей работы – анализ источников и условий загрязнения зал. Угловой (зал. Петра Великого) на основании данных экологического мониторинга (сентябрь 2016 г.) и материалов государственной статистической отчетности предприятий-водопользователей, расположенных в пределах водосбора залива.

Материалы и методы

Использованы материалы экологического мониторинга в зал. Угловое. Отбор проб морской воды проведен 19 сентября 2016 г. (после прохождения тайфуна Лайонрок) с резиновой лодки в течение светового дня. Пробы воды отбирали с 22 станций, включая 12 придонных, двумя батометрами Нискина. До момента определения 34 пробы хранились в пластиковых емкостях без консервации. Анализ проб проведен в тот же день в эко-аналитической лаборатории Межведомственного центра аналитического контроля состояния окружающей среды (ЦКП МЦАК ИШ ДВФУ). С целью определения растворенных форм загрязняющих веществ перед анализом пробы морской воды были профильтрованы. В подготовленных к анализу пробах определено содержание органических веществ по величине БПК₅ [12] (биохимическое потребление кислорода) и перманганатной окисляемости (ПО) [3], ТМ (Pb, Cu [16], Hg [9] и Zn [8]) и биогенных элементов (PO₄ [14] и NO₂ [13]) (табл. 1). В акватории залива сотрудниками гидрохимической лаборатории ТОИ ДВО РАН при помощи океанологического STD-зонда в морской воде проведено измерение температуры (Т), солености (S), водородного показателя (рН), содержания растворенного кислорода (РК) и хлорофилла *a*, мутности.

Таблица 1

Исходные данные и методы определения

Показатель	Метод определения	Средство определения	Диапазон измерений
Морская вода			
Zn	АЭС-ИСП	ICPE-9000 (Shimadzu)	0,1 мкг/л
Pb	АЭС-ИСП	ICPE-9000 (Shimadzu)	0,1 мкг/л
Hg	МХП-ААС	Спектрофотометр AA-6300 (Shimadzu), HVG-1	0,01 мкг/л
Cu	АЭС-ИСП	ICPE-9000 (Shimadzu)	0,1 мкг/л
ПО	Титрование	–	0,4–1,6 мг/л и более
БПК ₅	Скляночный метод	–	0,5–(1–11) мг/л
PO ₄	Спектрофотометрический метод	ОФ-спектрофотометр UV-1650 PC (Shimadzu)	5,0–100 мкг/л
NO ₂	То же	То же	0,5–100 мкг/л
Пробы грунта дамбы моста			
[10] Hg	Метод беспламенной ААС	Спектрофотометр AA-6300 (Shimadzu), HVG-1	0,05–300 мг/кг
[16] Zn	ААС-ЭТА	AA-6800 (Shimadzu)	1 – 1000 мг/кг

Примечание. ААС – атомно-абсорбционная спектрометрия; АЭС-ИСП – атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой; МХП-ААС – метод холодного пара с беспламенной атомно-абсорбционной спектрометрией; ААС-ЭТА – атомно-абсорбционная спектрометрия с электротермической атомизацией; прочерк – использованы неинструментальные методы аналитической химии.

Материалами для анализа источников загрязнения послужили официальные данные государственной статистической отчетности по форме 2-ТП (водхоз) «Сведения об использовании воды», предоставленные Отделом водных ресурсов по Приморскому краю АБВУ и КГУП «Приморский водоканал». В настоящем исследовании проанализированы содержания ТМ, органических соединений по значению БПК_{полн.} и биогенных элементов

(NO₂, NO₃, NH₄ и PO₄) в сточных водах, поступающих в зал. Угловой. Содержание азотистых соединений (NO₂, NO₃ и NH₄) приведено как сумма растворенных неорганических форм азота (DIN). Описательная статистика материалов экологического мониторинга, послуживших основой исследования, приведена в табл. 2.

Таблица 2

Описательная статистика исходных данных

Показатель	max	min	\bar{x}	Me	σ	\bar{x} (поверхность)	\bar{x} (дно)
Zn, мкг/л	2,62	0,23	0,99	0,81	0,65	0,97	1,03
Hg, мкг/л	0,31	0,02	0,10	0,08	0,07	0,09	0,10
Cu, мкг/л	1,44	0,22	0,54	0,50	0,24	0,64	0,36
Pb, мкг/л	0,62	0,16	0,33	0,31	0,10	0,35	0,30
Мутность, FTU	22,58	1,93	7,39	5,53	5,47	5,02	11,73
Хл-л <i>a</i> , мкг/л	33,15	1,04	7,41	4,54	6,87	8,62	5,20
NO ₂ , мкг/л	7,88	0,68	2,68	2,34	1,63	2,57	2,89
NH ₄ , мкг/л	287,10	58,11	169,55	167,50	53,54	182,48	145,85
PO ₄ , мкг/л	249,20	78,40	120,96	116,65	30,31	125,03	113,49
БПК ₅ , мг/л	5,95	0,01	2,30	1,92	1,86	2,94	1,12
ПО, мг/л	15,84	1,36	6,92	6,92	3,49	8,31	4,37
T, °C	22,60	16,48	18,77	18,83	1,63	19,33	17,74
PK, мг/л	11,29	4,44	7,78	7,27	2,47	8,78	5,94
pH	8,33	7,45	7,87	7,72	0,31	7,96	7,69
S, ‰	31,45	13,81	21,58	20,55	6,36	18,43	27,37

Примечание: \bar{x} – среднее арифметическое; σ – среднеквадратическое отклонение; Me – медиана выборки.

В настоящей работе ставится задача исследования массива данных методом многомерного статистического анализа. Анализируемые данные отличаются высокой надежностью (применяются современные методики определения и высокоточные приборы), для интерпретации результатов использованы факторы с нагрузками не менее 0,7.

Процедура факторного анализа проведена в программных приложениях Statistica 10 и IBM SPSS Statistics [2]. Анализ переменных (данные отбора проб сентября 2016 г.) на приближение к нормальному (Гауссовому) распределению проведен в приложении Statistica 10. Для этой цели в программном комплексе Statistica предусмотрены соответствующие процедуры. Для приведения данных к нормальному распределению проведено логарифмирование Hg, Cu, Zn, PO₄, NO₂, мутности и хлорофилла *a*, значения переменной БПК₅ внесены под квадратный корень.

Выделение факторов проводилось методом главных компонент с вращением Вари-макс. Количество факторов, использованное в дальнейшем для интерпретации, выделено при помощи критерия «каменистой осыпи».

Результаты и обсуждение

Основной источник загрязнения водной среды зал. Угловой – сбросы коммунально-бытовых и промышленных сточных вод. В силу ослабленного водообмена и мелководности ЗВ накапливаются в экосистеме залива. До 2014 г. в северную часть зал. Угловой поступал значительный объем сточных вод (рис. 1). С 2012 по 2017 г. объем сточных вод сократился более чем в 2 раза. Сокращение числа источников загрязнения привело к снижению массы ЗВ, поступающих в залив. Наиболее значительное снижение отмечается для органических соединений по величине БПК_{полн.} и биогенных элементов. В соответствии с официальными данными поступление растворенных форм неорганического азота

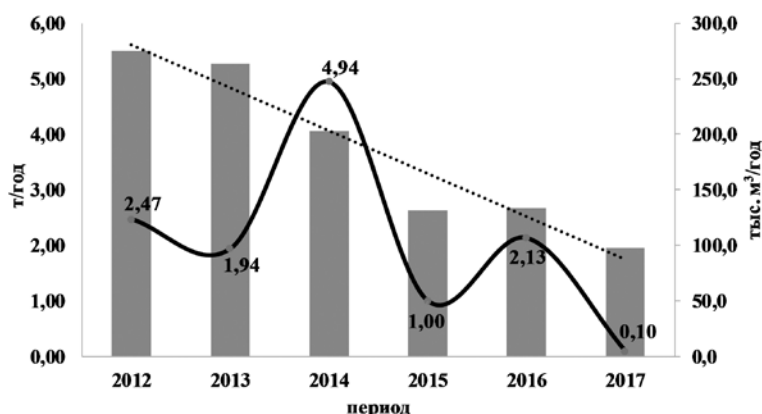


Рис. 1. Объем сброса сточных вод в водотоки водосборного бассейна зал. Угловой в 2012–2017 гг.: изменение содержания растворенного неорганического азота (т/год) в сточных водах (тыс. м³/год)

(рис. 1) от антропогенных источников к настоящему времени значительно сократилось. По материалам Приморского водоканала в результате ликвидации выпусков КОС «ПЯОС» в р. Песчанка в 2014 г. поступление PO_4 в залив снизилось почти в 100 раз.

По данным отбора проб, взятых осенью 2016 г., в зал. Угловой ясно прослеживается паводковый сток. Опресненные воды, распространяющиеся от северного мелководья (основная часть залива) к участку вблизи низководного моста, имеют соленость в среднем на 5–7 % ниже в поверхностном слое, чем в придонном. Средние содержания Cu и Zn (0,78/0,36 и 1,8/1,0 мкг/л соответственно) почти в два раза выше в поверхностном слое, чем в придонном. Средняя концентрация Hg, Pb и PO_4 также выше у поверхности, но не столь заметно. Из этого ряда выбивается содержание NO_2 , которое в придонном слое, напротив, выше, чем у поверхности (2,49/2,89 мг/л). Следует выделить участок в районе станции 1, где содержание перечисленных показателей выше у дна, за исключением Cu (0,74/0,22 мкг/л), содержание которой более чем в 2 раза выше в поверхностном слое.

Таблица 3

Факторные нагрузки, описывающие структуру связи измеренных переменных, по данным экологического мониторинга в зал. Угловой

Повернутая матрица компонентов				
Переменные	Факторы			
	1	2	3	4
БПК ₅	0,94			
T	0,92			
ПО	0,90			
Хлорофилл-а	0,89			
Zn		0,89		
Hg		0,89		
Мутность			-0,92	
Pb			0,77	
Cu			0,71	
PO_4				0,91
NO_2				0,67
Собственное значение	4,6	2,0	1,7	1,1
Объем общей дисперсии, %	41,9	18,3	15,5	10,0

Примечание. Факторы выделены методом главных компонент. Метод вращения: Варимакс с нормализацией Кайзера.

Кроме того, в основной части залива отмечено очень высокое содержание хлорофилла *a* (> 8 мкгл [5]) и органических соединений.

Для определения скрытой связи между измеренными показателями качества морской среды зал. Угловой к данным мониторинга были применены методы многомерного статистического анализа. Результаты факторного анализа были использованы для поиска связи с источниками загрязнения. Факторные нагрузки, полученные в результате построения модели, представлены в табл. 3. Величины значений факторов, контролирующих общую изменчивость содержания ЗВ, использованы для построения карт пространственного распределения факторов для поверхностного (рис. 2) и придонного (рис. 3) слоев зал. Угловой.

Фактор 1. Этот фактор, определяющий изменение содержания органического вещества, температуры и хлорофилла *a* в толще морской воды, отражает распространение опресненных морских вод в южном направлении к низководному мосту через Амурский залив. В горле залива происходит существенное увеличение глубины [11], определена более высокая соленость, а также пониженные рН, температура и содержание РК. Распределение нагрузок этого фактора на поверхности (рис. 2), вероятно, объясняется схемой поверхностных течений в заливе, формирующихся в результате совместного влияния ветра, речного стока, приливно-отливных сил и орографии берега. В то же время распределение

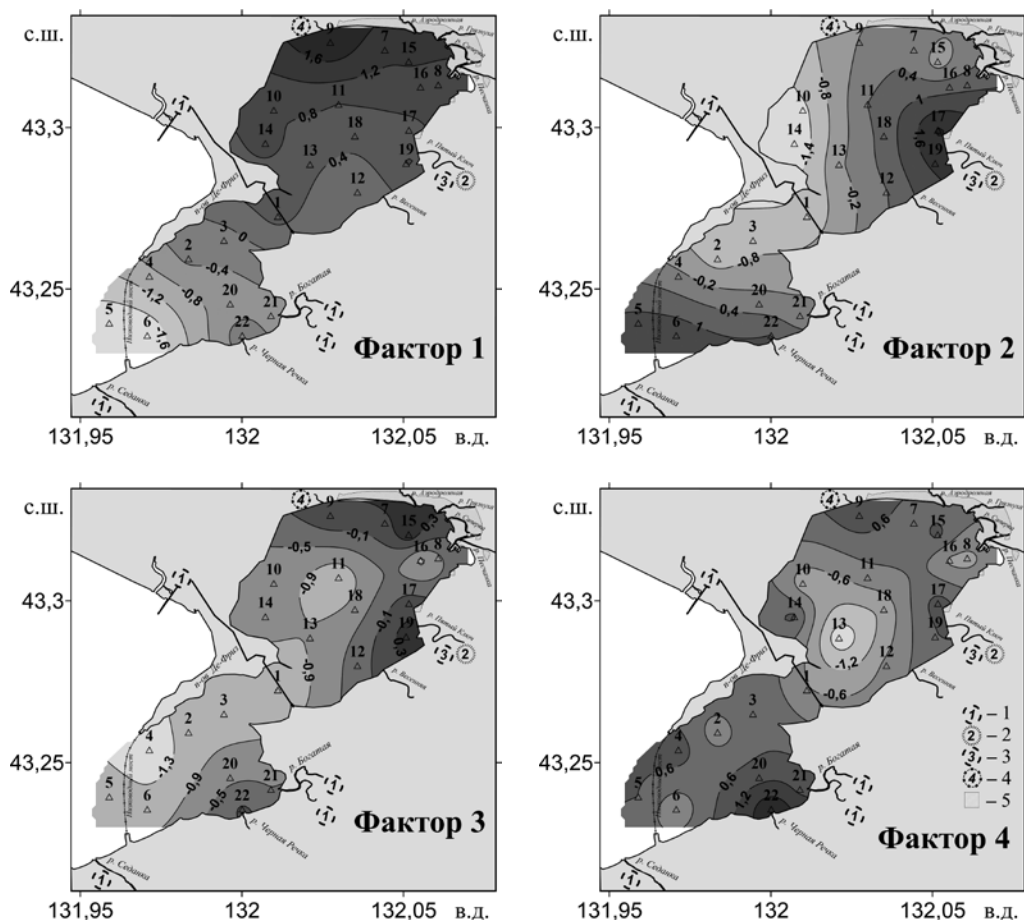


Рис. 2. Пространственное представление факторных нагрузок для поверхностного слоя зал. Угловой. 1 – выпуск сточных вод ВГКУП «Приморский водоканал»; 2 – выпуск ливневых вод ООО «Кока-Кола»; 3 – выпуск сточных вод ЗАО «Пивоварня Москва-Эфес»; 4 – выпуск сточных и ливневых вод ОАО «Птицефабрика “Надеждинская”»; 5 – заболоченный участок побережья

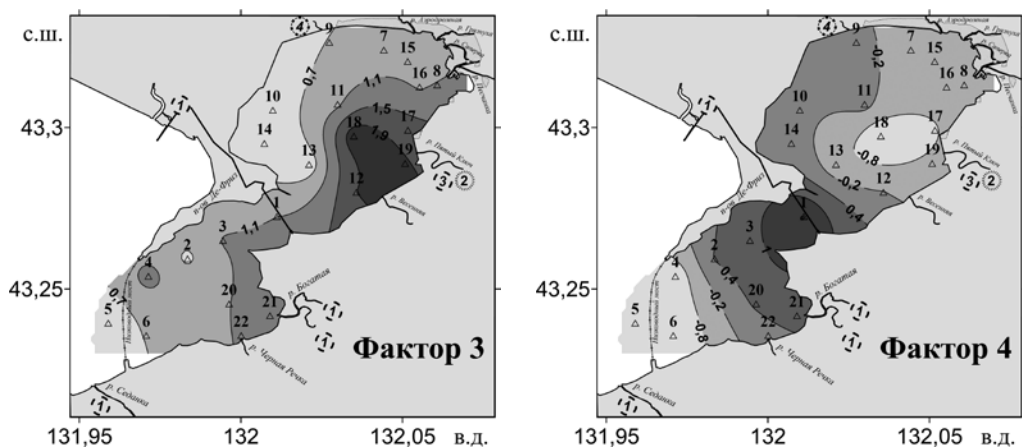


Рис. 3. Пространственное представление факторных нагрузок для придонного слоя зал. Угловой. Условные обозначения см. в подписи к рис. 2

этого фактора в придонном слое (рис. 3) показывает более ясную картину с максимумом, приуроченным к устьевому участку рек Песчанка, Саперка и Грязнуха, где самая низкая соленость воды.

Фактор 2. Вторая скрытая переменная отражает изменение содержания Hg и Zn в исследуемой акватории. Естественные содержания растворенных форм этих металлов в морской воде крайне низки. Таким образом, их повышенные содержания, при отсутствии известных природных источников, ясно указывают на антропогенное происхождение. Исследуя пространственное распределение этого фактора (рис. 2), можно отметить, что наибольшие нагрузки приурочены к берегу промышленной площадки пос. Трудовое и распространяются от устьев рек, в которые поступают производственные сточные воды и ливневый сток. По данным государственной статистической отчетности, предприятия «Кока-Кола» и «Пивоварня Москва-Эфес» сбрасывают в ручей Пятый Ключ сточные и ливневые воды с высокими средними концентрациями Zn (в 2013–2015 гг. 76–101 ПДК в стоках пивзавода, в 2017 г. 25 ПДК в ливневых водах ООО «Кока-Кола»). Кроме того, существенные нагрузки этого фактора определены в бухте Бражникова и вблизи низководного моста. Допуская, что антропогенное воздействие является основным движителем увеличения растворенных форм этих ТМ, в соответствии с данными исследований [18] можно полагать, что ключевое значение имеет загрязненный речной сток (р. Песчанка и ручей Пятый Ключ) и адвекция вод из кута Амурского залива. Кроме того, имеются данные, указывающие на высокие концентрации этих ЗВ (0,7 мг/кг Hg и 15249 мг/кг Zn) в отсыпке дамб моста.

Фактор 3. Третья переменная определяет зависимость уменьшения мутности при одновременном увеличении концентрации растворенных Pb и Cu. Мелководные участки с высокой мутностью и низким содержанием Pb и Cu приурочены к устьям рек (рис. 2). Это указывает на процессы сорбции–десорбции [18] в качестве внутренней причины, поскольку известно, что речной сток в паводки транспортирует ЗВ в морскую среду преимущественно в составе взвеси [19]. На увеличение содержания Pb и Cu в растворенном состоянии в горле залива и на станциях у моста, вероятно, оказывают влияние пониженные значения pH (7,8 ед. pH у поверхности и 7,6 ед. pH у дна) и РК (6,2 мг/л у поверхности и 4,8 мг/л у дна). Низкие нагрузки, определенные на станциях 8 и 16, позволяют отнести сток рек Песчанка и Саперка, формирующийся с антропогенно-преобразованного ландшафта, к источнику загрязнения этими ЗВ. В соответствии с данными государственной статистической отчетности птицефабрика, пивзавод и предприятие «Кока-Кола» можно отнести к источникам загрязнения залива медью.

Фактор 4. Последняя переменная демонстрирует изменение растворенных PO_4 и NO_2 в морской воде залива. PO_4 в морскую среду поступает с поверхностным стоком и в результате антропогенного воздействия (рис. 2). Биогенные элементы поставляют в залив предприятие «Кока-Кола» и пивзавод «Москва-Эфес». Очень высокие концентрации NH_4 (102–150 ПДК) и PO_4 (22–32 ПДК) в ливневых водах имело предприятие «Кола-Кола» в 2016 г. Кроме того, высокие средние концентрации NO_2 (4,4 ПДК), NH_4 (21 ПДК) и PO_4 (7 ПДК) были в стоках птицефабрики. Высокая нагрузка этого фактора, полученная в придонном слое в горле залива (рис. 3), позволяет предположить диагенез осадочного материала терригенного происхождения в качестве причины повышения содержания биогенных элементов. Тем не менее известно, что в этом месте по дну проложен дюкер канализационного коллектора, который теоретически может быть причиной загрязнения. В силу отсутствия подтверждающих данных более достоверным был признан процесс деструкции органической взвеси и выделения биогенных веществ в придонный слой воды.

Заключение

В связи с тайфуном Лайонрок в акваторию залива поступила повышенная масса терригенного вещества. Повышенный речной сток вкуче с геоморфологическими различиями между основной частью залива и его горлом обеспечивают формирование сильно опресненных морских вод, которые распространяются от северного мелководья к акватории вблизи низководного моста, где происходит смешение с более солеными водами кута Амурского залива (фактор 1).

Воды основной части залива значительно отличались от вод кута Амурского залива (станции 4–6) более высокими содержаниями растворенного кислорода, хлорофилла *a* и органических веществ. Содержание хлорофилла *a* здесь превышает пороговый уровень, что указывает на «цветение» воды. Кроме того, определены очень высокие содержания органических веществ по величине БПК₅. Все это при смене фазы фотосинтеза в ночное время может привести к появлению участков с пониженным содержанием кислорода [17].

По результатам исследования установлена связь между источниками загрязнения и содержанием ЗВ в морской среде зал. Угловой. Промышленная зона пос. Трудовое вкуче с урбанизированным побережьем долины рек Песчанка, Саперка, Грязнуха и Аэродромная поставляют в экосистему зал. Угловой Zn и Hg . Кроме того, поступление этих металлов происходит из кутовой части Амурского залива. Так, в районе станций 4–6 (вблизи низководного моста) и на станции 22 (устье Черной речки) получены высокие нагрузки фактора 2. Высокая загрязненность акватории вблизи низководного моста Hg (1–3 ПДК у поверхности и 1–2,5 ПДК у дна) связана с пониженным содержанием кислорода и pH, что вызвано повышенным стоком биогенных элементов и органических соединений и адвекцией загрязненных вод после тайфуна Лайонрок в сентябре 2016 г.

Изменение содержания Pb и Cu (фактор 3) контролируется содержанием взвеси. Увеличение содержания этих ТМ в растворенной форме наблюдается в отдаленных от побережья и устьев участках. Вероятным источником загрязнения можно считать ливневый сток, связанный с автодорожной инфраструктурой на побережье, и сбросы сточных вод.

Повышенные содержания биогенных элементов приурочены к прибрежным участкам и устьям рек. В основную часть зал. Угловой биогенные элементы поступают в результате плоскостного смыва и сброса сточных вод предприятиями «Кока-Кола», «САБМиллер РУС» и птицефабрики «Надеждинская», на что указывает распределение нагрузок фактора 4, связанного с содержанием PO_4 и NO_2 , и данные о содержании ЗВ в сточных и ливневых водах этих предприятий.

В придонном слое резко выделяется станция 1 (горло залива). Здесь отчетливо видна своеобразная граница между двумя частями залива как в придонном, так и поверхностном слоях. Высокие нагрузки фактора 4 указывают на существование особых условий в горле

залива, обеспечивших накопление PO_4 в придонном слое. Область максимального содержания NO_2 в придонном слое охватывает горло залива и бухту Бражникова, что указывает на накопление органической взвеси на этом участке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов В.В. К организации охраны залежей лечебных грязей на дне залива Угловой // Охрана природы на Дальнем Востоке. Вып. 2. Владивосток. 1964. С. 181–187.
2. Буреева Н.Н. Многомерный статистический анализ с использованием ППП «STATISTICA»: учеб.-метод. материал по программе повышения квалификации «Применение программных средств в научных исследованиях и преподавании математики и механики». Нижний Новгород, 2007. 112 с.
3. ГОСТ 26449.1-85. Установки дистилляционные опреснительные стационарные. Методы химического анализа соленых вод. М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1987. 30 с.
4. Деркачева Л.Н., Васильченко В.Ф. Ресурсный потенциал развития лечебно-оздоровительного туризма на побережье залива Петра Великого (Приморский край) // IV Рос.-кит. форум по пограничному туризму между регионами Дальнего Востока и Восточной Сибири Российской Федерации и Северо-Востока Китайской Народной Республики: сб. статей. Владивосток, 2014. С. 56–63.
5. Звалинский В.И., Тищенко П.П., Михайлик Т.А. и др. Эвтрофикация амурского залива // Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря: монография / под. ред Н. Христофорова. Владивосток: Изд. дом ДВФУ, 2012. С. 76–113.
6. Козловский И. В. Источники и пути поступления ТБО в залив Угловой // Географические и геоэкологические исследования на Дальнем Востоке: материалы XI молодежной конф. с элементами науч. шк., Владивосток, 24–26 октября 2012 г. Владивосток: Дальнаука, 2012. Вып. 9. С. 64–67.
7. Майоров И.С. Залив Петра Великого: экологические проблемы и вопросы применения береговых кадастров. Владивосток: Изд-во ТГЭУ, 2006. 156 с.
8. ПНД Ф 14.1:2.4.143-98. Количественный химический анализ вод: методика выполнения измерений массовых концентраций алюминия, бария, бора, железа, кобальта, марганца, меди, никеля, стронция, титана, хрома и цинка в пробах питьевых, природных и сточных вод методом ИСП-спектрометрии / Аналит. центр ЗАО «РОСА». М., 2011. 23 с.
9. ПНД Ф 14.1:2.4.271-2012 (М 01-51-2012). Количественный химический анализ вод: методика измерений массовой концентрации ртути в пробах природных, питьевых, минеральных, сточных вод атомно-абсорбционным методом с зеемановской коррекцией неселективного поглощения на анализаторе ртути РА-915М / Аналит. центр ЗАО «РОСА». М., 2012. 15 с.
10. ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.25-02. Количественный химический анализ почв: методика выполнения измерений содержания ртути общей в твердых и жидких отходах производства и потребления, осадках, шламах, активном иле, донных отложениях атомно-абсорбционным методом / НТФ «Хромос». М., 2002. 23 с.
11. Раков В.А. Распространение и экология устричных рифов северной части Амурского залива // Экол. вестн. 2010. № 4. С. 21–30.
12. РД 52.24.420-2006. Биохимическое потребление кислорода в водах: методика выполнения измерения скляночным методом / Гидрохим. ин-т. Ростов-на-Дону, 2006. 23 с.
13. РД 52.10.740-2010. Массовая концентрация азота нитритного в морских водах: методика измерений фотометрическим методом с реактивом Грисса / ФГУ «ГОИН». М., 2010. 24 с.
14. РД 52.10.738-2010. Массовая концентрация фосфатов в морских водах: методика измерений фотометрическим методом / ФГУ «ГОИН». М., 2010. 29 с.
15. РД 52.18.685-2006. Определение массовой доли металлов в пробах почв и донных отложений: методика выполнения измерений методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии / НПО «Тайфун». М., 2007. 36 с.
16. РД 52.10.243-92. Руководство по химическому анализу морских вод. Санкт-Петербург: Гидрометиздат, 1993. 262 с.
17. Спеллман Ф. Р. Справочник по очистке природных и сточных вод. Водоснабжение и канализация. СПб.: Профессия, 2014. 1022 с.
18. Шулькин В.М. Металлы в экосистемах морских мелководий. Владивосток: Дальнаука, 2004. 276 с.
19. Шулькин В.М. Оценка загрязнения металлами реки Туманной и прилегающих морских вод // Экологическое состояние и биота юго-западной части залива Петра Великого и устья реки Туманной. Т. 1. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 76–85.
20. Юрченко С.Г. Оценка экологического состояния основных водотоков полуострова Муравьева-Амурского по их микроэлементному составу // Геогр. и геоэкол. исслед. на Дальнем Востоке: сб. статей молодых ученых. Владивосток: Дальнаука, 2004. С. 97–104.
21. Stengel D., Reilly S., Halloran J. The ecology of transportation: managing mobility for the environment. Vol. 10. Dordrecht: Springer, 2006. 392 p.
22. Taylor S., Barrett M., Ward G., Leisenring M., Venner M., Kilgore R. Bridge stormwater runoff analysis and treatment option: NCHRP report 778. Washington, D.C.: The National Academies Press, 2014. 197 p.