

## ПОСТУПЛЕНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО И ОЦЕНКА ИХ ВКЛАДА В СОЗДАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

В.М. Шулькин<sup>1</sup>, Г.И.Семыкина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН*

<sup>2</sup>*Центр мониторинга загрязнения окружающей среды Приморского УГМС*

Рассмотрены и охарактеризованы главные источники поступления загрязняющих веществ на акваторию зал. Петра Великого: речной сток, коммунальные и ливневые стоки, дампинг грунтов, атмосферные осадки. Описаны особенности и тенденции изменения химического состава рек впадающих в залив. Показано, что в большинстве рек наблюдается увеличение уровня концентрации фосфатов за последние 10 лет. В р. Раздольной, обеспечивающей 47 % речного стока в залив, отмечена тенденция снижения ХПК и возрастание БПК за последние 25 лет. Вклад сточных вод и ливневых стоков в общее поступление воды в залив не превышает 5 %, однако доля органического вещества (БПК) достигает 15 %, аммонийного азота и нефтепродуктов – до 40 %, фосфатов – до 50–60 %. Роль атмосферных выпадений в поступление загрязняющих веществ зависит от площади рассматриваемой акватории. Для Амурского залива вклад водного стока с суши доминирует для растворенных форм азота, фосфора и марганца. Однако для таких металлов, как свинец и кадмий даже в Амурском заливе доминирует атмосферное поступление. В более открытых акваториях аэральная поставка преобладает кроме, того для, растворенных форм азота и марганца. Охарактеризованы основные экологические проблемы зал. Петра Великого: загрязнение компонентов экосистем, в том числе воды, гидробионтов и донных отложений металлами и пестицидами, а также эвтрофикация и изменение структуры планктонных и бентосных сообществ, деградация прибрежных мест обитания. Показаны возможности и ограничения использования микроэлементного состава мидий и устриц для характеристики современного загрязнения прибрежно-морских экосистем. Основные источники и интенсивность поступления загрязняющих веществ на акваторию залива за последние 100 лет могут быть охарактеризованы на основании данных по распределению металлов и пестицидов в верхнем слое осадков толщиной 30–50 см.

**Ключевые слова:** зал. Петра Великого, гидрохимические и гидрологические показатели, экологические проблемы

# INPUT OF POLLUTANTS IN PETER THE GREAT BAY AND ASSESMENT OF THEIR ROL IN FORMING OF ECOLOGICAL PROBLEMS

V.M.Shulkin<sup>1</sup>, G.I.Semykina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Pacific Geographical Institute FEBRAS*

<sup>2</sup>*Centre of Pollution Monitoring, PrimorHydromet*

The major land-based sources of contaminants within Peter the Great Bay are examined and characterized: river run off, storm and waste waters, dumping of the dredged sediments, atmospheric fallout. The peculiarities and trends in the chemical composition of the main inputting rivers are described. The increase of the phosphate concentration has been observed in the majority of the rivers during last decade. The decrease trend of COD and increase trend of BOD take place during last 25 years in the Razdolnaya River providing 47 % of the all river run off to the Peter the Great Bay. The contribution of m storm and waste waters in the all river run off does not exceed 5 %. The contribution of these wastes in terms of organic matters (BOD) run off is increased to the 15 %; in terms of ammoniac nitrogen and petroleum hydrocarbons run off – to the 40 %; and in terms of phosphates run off – to 50–60 %. The role of atmospheric precipitation in the contaminants input is dependent on the size of the sea area. The contribution of river and waste water runoff is prevailed in the nitrogen, phosphorus and manganese inputs for the Amursky Bay area, but atmospheric fallout dominates in the input of lead and cadmium. The atmospheric precipitations prevail in the nitrogen and manganese inputs for the more open water areas. The main ecological problems within Peter the Great Bay are described: the contamination of water, organisms and bottom sediments by metals and pesticides, eutrophication, changes in the plankton and benthos communities and habitat degradation. The advantages and limitations of the biomonitoring by the concentration of the metals in mussels and oysters are highlighted. The main sources and intensity of the metals and pesticides inputs to the Peter the Great Bay during last century can be characterized by the distribution of the contaminants in the upper 30–50 cm layers of bottom sediments.

**Keywords:** Peter the Great Bay, hydrological and hydrochemical characteristics

## Географическая и социально-экономическая характеристика зал. Петра Великого и его водосбора

Залив Петра Великого расположен в северо-западной части Японского моря между 42° 17' и 43° 20' N и 130° 41' и 133° 02' E (рис. 1). Общая площадь залива превышает 6000 км<sup>2</sup>, при этом выделяется открытая часть залива Петра Великого и периферия, образованная заливами и бухтами меньшего порядка. Некоторые из этих периферийных акваторий полузамкнуты.

В соответствие с типом береговой линии, а также рельефом дна и прилегающей суши, зал. Петра Великого разделяется на несколько частей.

Юго-западная часть зал. Петра Великого расположена между устьем р. Туманной на юге и мысом Брюса на севере. Амурский залив – полузакрытая северо-западная часть залива Петра Великого. Восточной границей этого участка является побережье п-ова Муравьев-Амурский и островов Русский и Попова. Линия между м.

Брюсса и о-вом Желтухина может рассматриваться как южная граница Амурского залива. Уссурийский залив – следующая большая составная часть зал. Петра Великого. Линия между о-вами Желтухина и Аскольд может быть принята как южная граница Уссурийского залива. Акватория от восточного побережья Уссурийского залива до м. Поворотного, включающая в себя заливы Стрелок, Восток и Находка, составляет восточную часть залива Петра Великого (рис.1). Открытая часть зал. Петра Великого – акватория между упомянутыми частями и линией между устьем р. Туманной и м. Поворотным, которая может рассматриваться как внешняя граница зал. Петра Великого в целом. Основные морфометрические характеристики составных частей зал. Петра Великого и характеристика главных впадающих рек представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Основные морфометрические характеристики районов залива Петра Великого и основных впадающих в него рек

**Table 1.** Characteristic of the sub-areas of Peter the Great Bay and major inputting rivers

Районы зал. Петра Великого	Площадь, км <sup>2</sup>	Длина береговой линии, км	Главные впадающие реки	Водосбор, км <sup>2</sup>	Речной сток, км <sup>3</sup>
Юго-западная часть	1498**	395	Туманная	33200	9,05
	3***		Цукановка	170	0,12
			Брусья	160	0,04
			Гладкая	458	0,08
Амурский залив	997**	151	Нарва	332	0,13
	101***		Барабашевка	576	0,32
			Амба	242	0,19
			Раздольная	16800	2,46
Уссурийский залив	1889**	165	Артемовка	1460	0,29
	21***		Шкотовка	714	0,22
			Суходол	443	0,14
Восточная часть	921**	275	Партизанская	4140	1,32
	42***		Учтенный водосбор*	25757	5,31
			Не учтенный водосбор*	6498	1,89
Внешняя открытая часть	3616**		Суммарная площадь водосбора*	31735	7,20

\* – оценка речного стока для зал. Петра Великого в целом проведена без учета стока и водосбора р.Туманная; \*\* – без учета островов; \*\*\* – площадь островов.

Note: \* – estimations for Peter the Great Bay as a whole are carried out without Tumen river runoff and watershed; \*\* – without islands; \*\*\* – area of the islands.

Обеспеченность водосбора зал. Петра Великого реками достаточно высока. Плотность речной сети достигает 0,73 км/км<sup>2</sup> по сравнению с 0,3 км/км<sup>2</sup> в среднем

для Дальнего Востока РФ. Река Туманная – крупнейшая река западного побережья Японского моря – впадает в море на южной границе зал. Петра Великого. Преобладание направленного на юг Приморского течения вдоль внешней границы зал. Петра Великого ограничивает влияние стока р. Туманной на прибрежные воды залива (Экологическое состояние и биота..., вып. 1, 2, 3, 2001). По этой причине сток р. Туманной может быть исключен при оценке влияния речного выноса на акватории зал. Петра Великого, расположенные вне его юго-западной окраины.

Р. Раздольная – вторая по величине река на водосборе зал. Петра Великого (табл. 1) – впадает в кутовую часть Амурского залива.

Реки Артемовка, Шкотовка и Суходол – главные водотоки, обеспечивающие поступление пресных вод в Уссурийский залив, однако их сток в сумме не превышает 10–12 % стока р. Раздольная.

Речной сток в восточную часть зал. Петра Великого обеспечивается выносом достаточно крупной реки Партизанская, лишь в 2 раза уступающей стоку р. Раздольной, а также более мелкими водотоками.

При оценке речного стока необходимо учитывать, что помимо рек с инструментально измеренным расходом, существуют водотоки, на которых расход воды не измеряется и никогда не измерялся. Оценка этого неучтенного стока может быть сделана, исходя из разницы общего водосбора залива и суммы площадей водосборов учтенных рек. Для зал. Петра Великого эта разница достигает 25 % от водосборов рек, охваченных измерениями расхода воды. С учетом повышенного удельного расхода малых горных рек, которые доминируют среди неучтенных, суммарный сток рек, не охваченных измерениями, достигает 36% от измеренного речного стока (без учета р. Туманная).

Ландшафты водосбора зал. Петра Великого представлены сочетанием равнинных, долинных, низкорных и среднерных участков. Равнинные и долинные ландшафты включают водно-болотные угодья, луга и кустарники. Значительная часть этих ландшафтов преобразована в сельскохозяйственные.

Особенности землепользования определяются суперпозицией ландшафтной структуры и социально-экономических факторов. Распределение основных типов землепользования на водосборе зал. Петра Великого (табл. 2) показывает преобладание лесов на водосборе в целом, и их резкое доминирование для северо-восточной части – на водосборах Уссурийского залива и зал. Находка. Сельскохозяйственные земли – вторая по значимости категория использования – 27 % по всему водосбору. Вклад сельскохозяйственных земель максимален на водосборе р. Раздольной – 41 %, и снижается до 7 % в северо-восточной части водосбора. Доля селитебных территорий на водосборе зал. Петра Великого составляет 6 % за счет влияния городов Владивосток, Находка и Уссурийск, в окрестностях которых доля селитебных территорий достигает 59–63 %. Земли используемые промышленностью и военными не превышает 10 % всего водосбора и повышаются до 18 % в районе Владивостока. Доля особо охраняемых территорий на водосборе зал. Петра Великого составляет 5 %. Юго-западная часть – исключение, где доля особо охраняемых территорий повышена до 17 % за счет Дальневосточного государственного морского заповедника ДВГМЗ.

**Таблица 2.** Структура землепользования на водосборе залива Петра Великого в целом и на отдельных участках (данные Приморскстат, 2008 г., км<sup>2</sup>)

**Table 2.** The structure of the land-use categories at Peter the Great Bay watershed and its sub-areas in 2007 (km<sup>2</sup>) (Source: Primorskstat, 2008)

	Районы*	Сельско-хозяйственные	Селитебные	Промышленные и военные	ООПТ	Леса	Воды	Резерв
1	Юго-западная часть	1415	104	572	709	1116	37	177
2	Бассейн р. Раздольная	3994	160	1085	167	2964	48	1003
3	Северо-восточная часть	500	121	219	242	4898	4	779
4	Владивосток	70	329	102	35	25	0	0
5	Другие города	419	669	293	4	1092	0	259
<b>6</b>	<b>Весь водосбор</b>	<b>6398</b>	<b>1383</b>	<b>2271</b>	<b>1157</b>	<b>10095</b>	<b>89</b>	<b>2218</b>

\* – юго-западная часть включает Хасанский район, бассейн р.Раздольная включает Октябрьский, Михайловский, Уссурийский, Надеждинский районы; северо-восточная часть включает Шкотовский и Партизанский районы; к другим городам относятся Уссурийск, Артем, Фокино, Большой Камень, Находка и Партизанск

Note: southwestern sub-area 1 includes Khasanskiy district; Razdolnaya area 2 includes Oktober, Mikhailovskiy, Ussuryiskiy, Nadesdinskiy districts; northeastern sub-area 3 includes Shkotovskiy and Partizanskiy districts; other cities 5 include Ussuryisk, Artem, Fokino, Bolshoy Kamen, Nakhodka and Partizansk.

Водосбор зал. Петра Великого является наиболее развитой и населенной частью Приморского края и всего Дальнего Востока РФ. Доля населения, проживающего на водосборе зал. Петра Великого, составляет в настоящее время 70 % всего населения Приморского края, хотя ещё 45–50 лет назад она была 50–55 % (рис. 2а). Городское население резко преобладает, прежде всего за счет г. Владивостока с 605 тыс. жителей, число которых превышает половину всех горожан (рис. 2б). Кроме Владивостока, на водосборе зал. Петра Великого расположены города Уссурийск (152 тыс. чел.), Артем (111 тыс. чел.), Фокино (33.8 тыс. чел.), Большой Камень (47 тыс. чел.), Находка (167 тыс. чел.) и Партизанск (49.6 тыс. чел.). Такая структура населения сложилась в последние 30 лет. Раньше роль г. Владивостока была существенно ниже (рис. 2б). Плотность населения на водосборе зал. Петра Великого в 5 раз выше, чем в Приморском крае в целом. Главная причина – высокая доля городского населения: плотность населения территорий юго-западной и северо-восточной частей бассейна за пределами городских поселений близка к таковой в Приморском крае в целом.

Динамика населения на водосборе зал. Петра Великого подобна таковой для всего Приморского края: увеличение до 80-х гг. XX в. и последующее снижение как общей численности, так и плотности населения.

**Таблица 3.** Социально-экономическая характеристика различных участков в пределах водосбора зал. Петра Великого (на 2009 г.)

**Table 3.** Socio-Economic characteristics of different sub-areas within Peter the Great Bay watershed in 2009 (Source: Primorskstat, 2010)

Участок*	Площадь * 10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup>	Население тыс. ж.	Плотность населения, перс./ km <sup>2</sup>	Пром. ВВП *10 <sup>6</sup> USD	Сельхоз. ВВП *10 <sup>6</sup> USD	Третичный ВВП *10 <sup>6</sup> USD	Общий ВВП на душу, USD
1	4,13	27	6,5	26,5	5,9	74,1	3916
2	9,42	135,1	14,3	134,1	100,3	186	1951
3	7,00	55,1	7,9	237,9	31,0	107,1	6823
4	0,56	605,1	1080,5	2384,5	9,4	4205,9	10835
5	2,74	562,9	205,4	1133,3	197,8	1845,1	7359
6	23,85	1385,2	62,9	3916,3	344,2	6418,3	7709

\* – (1) юго-западная часть включает Хасанский район, (2) бассейн р.Раздольная включает Октябрьский, Михайловский, Уссурийский, Надеждинский районы; (3) северо-восточная часть включает Шкотовский и Партизанский районы; (4) – г. Владивосток; (5) другие города включают Уссурийск, Артем, Фокино, Большой Камень, Находка и Партизанск; (6) – весь водосбор зал.Петра Великого.

Note: southwestern sub-area (1) includes Khasanskyi district; Razdolnaya area (2) includes Oktober, Mikhailovskiy, Ussuryiskiy, Nadesdinskyi districts; northeastern sub-area (3) includes Shkotovskiy and Partizanskyi districts; (4) – Vladivostok; other cities (5) include Ussuryisk, Artem, Fokino, Bolshoy Kamen, Nakhodka and Partizansk; (6) – all watershed of Peter the Great Bay; (7) – all Primorskyi Krai.

Социально-экономические особенности различных участков в пределах водосбора зал. Петра Великого различаются очень сильно (табл. 3). Относительный вклад промышленности (включая стройиндустрию) пропорционален распределению населения. Вклад сельскохозяйственного производства варьирует от 1,4 % во Владивостоке до 24 % в бассейне р. Раздольной, но в целом по региону не превышает 4 % (табл. 3). Третичная продукция – сфера услуг, включающая торговлю, медицину, образование, науку, финансовые и государственные учреждения, составляют около 41,5 % валового внутреннего продукта (ВВП).

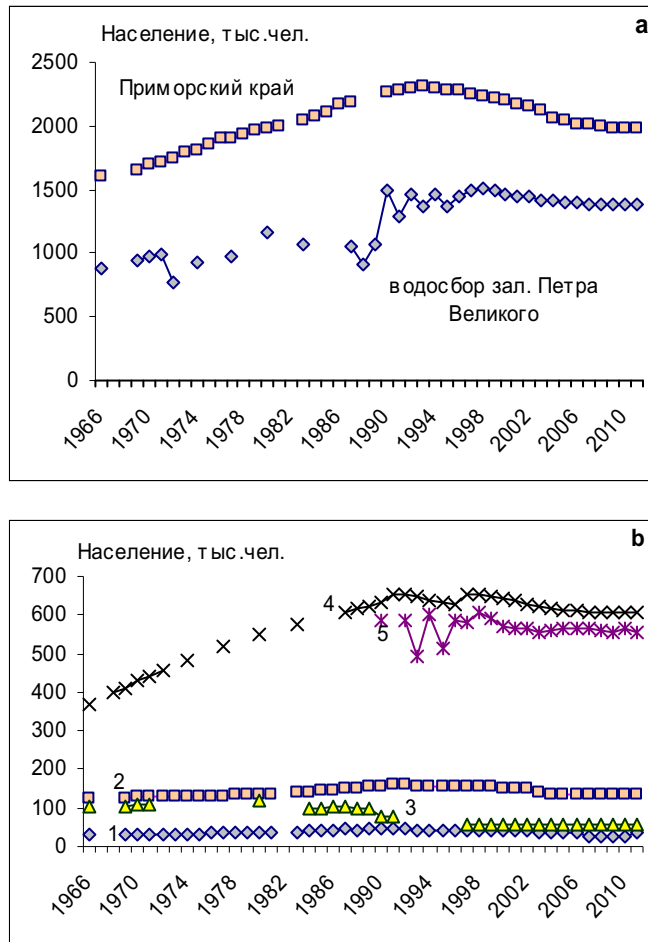
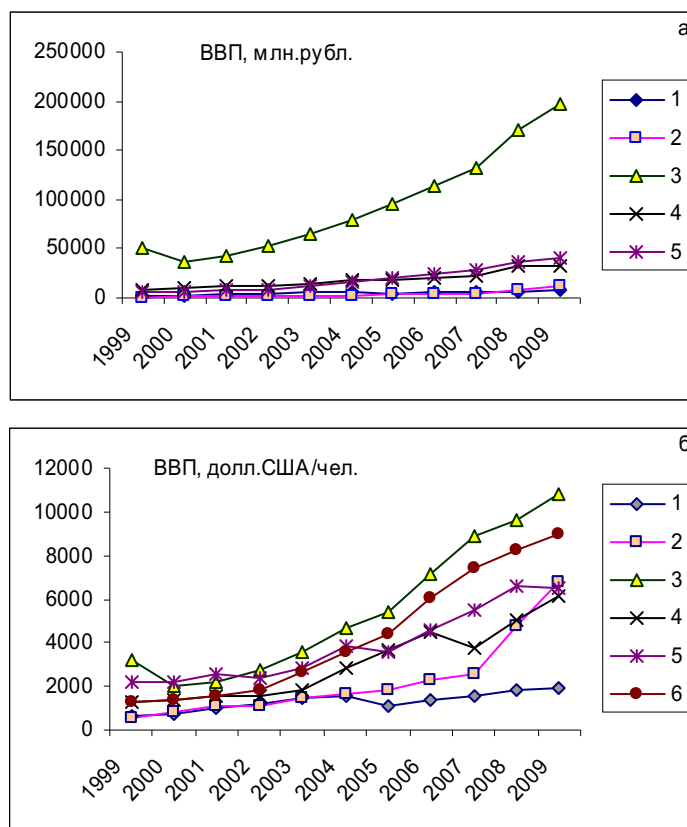


Рис. 2.Динамика изменения населения Приморья и водосбора зал. Петра Великого (а), различных участков в пределах водосбора (b) (номера у кривых соответствуют участкам таблицы 3)

Fig. 2. The population dynamic in the Primorsky Krai and Peter the Great Bay watershed as a whole (a), in the different sub areas of watershed (b) (Number of lines correspond to sub-areas from Table 3)

ВВП Владивостока составляет 61,8 % всего ВВП Приморья (рис. 3а), хотя доля населения составляет лишь 44 %. Соответственно ВВП на душу населения во Владивостоке максимален (рис. 3б). Минимальное ВВП на душу населения наблюдается в бассейне р. Раздольной, где доминирует сельское хозяйство. Динамика ВВП за последние 10 лет демонстрирует значительный рост, особенно во Владивостоке с пригородами. В других районах, особенно с сельскохозяйственной специализацией, рост ВВП выражен много слабее (рис. 3б).



*Рис. 3.*Динамика ВВП (а) и ВВП на душу населения (б) в различных районах бассейна зал.Петра Великого: 1 – водосбор р. Раздольная, 2 – северо-восток, 3 – Владивосток, 4 – Артем, 5 – Находка, 6 – Уссурийск) (по данным Природные ресурсы..., 2000–2009)

*Fig. 3.* The change of the GDP (a) and GDP per capita (b) in the different sub-areas: 1 – Raz-dolnaya area, 2 – northeastern part, 3 – Vladivostok, 4 – Arteom, 5 – Nakhodka, 6 – Ussuryisk

Производство и доставка энергоресурсов, машиностроение, химическая, деревообрабатывающая и текстильная промышленность, а также строительство и производство пищевых продуктов – основные виды промышленной активности на водосборе зал. Петра Великого. Агломерация Владивосток–Артем–Находка – основной производитель продуктов машиностроения и пищевой продукции. Земли в бассейне р. Раздольной – главная сельскохозяйственная житница.

Количество сточных вод, генерируемых на водосборе зал. Петра Великого, уменьшилось с 620 млн т. в 1990 г. до 330 млн т. в 2007 г., параллельно с аналогичным уменьшением в масштабе всего Приморского края. Главная причина снижения количества сточных вод – падение промышленного производства в 90-х гг. Выраженное снижение потребления пресной воды за этот же период подтверждает эту тенденцию (рис. 4а). Вклад водосбора зал. Петра Великого в общее количество



сточных вод, генерируемых в Приморье, составлял 73 % в 1994 г. За последние 5 лет в соответствие с ростом населения и повышенной экономической активностью он вырос до 82–83 %.

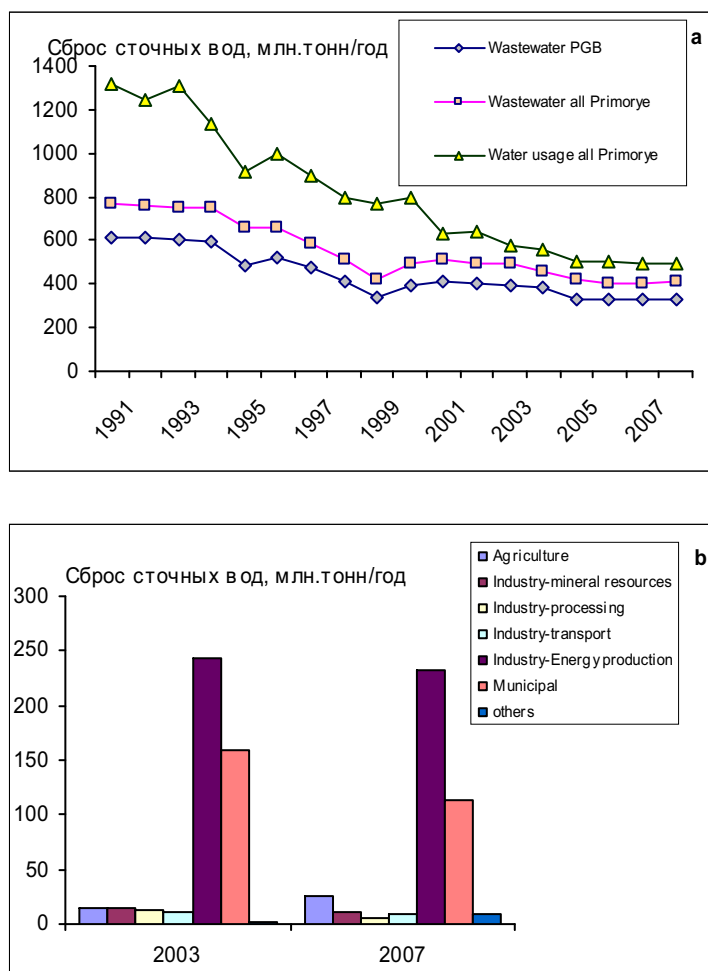


Рис. 4. Динамика водопотребления и сброса сточных вод в Приморье и сброса сточных вод с водосбора зал.Петра Великого (а), и структура сточных вод в Приморье (б) (по данным Природные ресурсы..., 1992–2008)

Fig. 4. The water usage and waste water discharge (10<sup>6</sup> t/y) within Peter the Great Bay watershed and all Primorye region (a), and the contribution of different economical activities to the production and discharge of waste waters (10<sup>6</sup> t/y) in all Primorye region in 2003 and 2007 (b)

Количество сточных вод образующихся на водосборе зал. Петра Великого не выглядит экстремально большим вследствие относительно невысокой плотности населения по сравнению с Кореей или Китаем. Однако объем сточных вод приходящий х-ся на душу населения в пределах зал. Петра Великого, составляет 235–238 т/год, что в 2 раза больше, чем в КНР и Корее. Это означает, что на водосборе зал. Петра Велик о-

го весьма вероятно образование «горячих точек», связанных с влиянием сточных вод несмотря на не очень высокую плотность населения.

Структура пула сточных вод в Приморье характеризуется доминированием промышленных стоков энергетических производств (рис. 4б). Это относительно незагрязненные воды систем охлаждения. Вклад сильно загрязненных промышленных стоков не превышает 1–3 % от общего количества сточных вод. Коммунальные стоки являются вторым по объему компонентом пула сточных вод (28–35 %). Годовой объем коммунальных сточных вод, генерируемых в Приморье в 2007 г., оценивался в 132 млн т. Около 41 % этого количества сбрасывается без обработки, а 19 % – частично обработанные. Г. Владивосток с окрестностями главный источник коммунальных стоков в бассейне зал. Петра Великого. В настоящее время во Владивостоке практически построены два современных завода по очистке и обработке коммунальных стоков общей производительностью 160 000 м<sup>3</sup>/сут, что должно существенно улучшить экологическую обстановку в прибрежных водах Амурского и Уссурийского заливов.

## **Экологические проблемы залива Петра Великого и его водосбора**

### **Загрязнение и тенденции изменения химического состава речного стока**

Химический состав речных вод определяется совместным действием природных и социально-экономических факторов. К природным относятся климатические условия, рельеф, растительность и состав пород на водосборе. Социально-экономические факторы способные влиять на химический состав речного стока, – это население, степень урбанизации, уровень и характер экономической активности, в том числе водопотребления и водоочистки. Во многих регионах влияние антропогенных факторов является определяющим (Meуbeck, 2003). Негативное изменение качества поверхностных вод – одно из наиболее явных и показательных последствий антропогенной нагрузки на водосбор.

Среди проблем качества пресных вод, вызванных экономической деятельностью, можно выделить несколько наиболее важных: 1) увеличение минерализации вследствие примеси сточных вод и нерациональных ирригационных практик; 2) закисление за счет влияния кислых дождей на водоемы с малой буферной емкостью; 3) эвтрофикация за счет избыточного поступления биогенных элементов (N, P, Si, C), что вызывает цветение фитопланктона с последующей интенсификацией потребления растворенного кислорода, гипоксией и деградацией водных экосистем; 4) повышенная концентрация потенциально токсичных химических соединений (тяжелых металлов, пестицидов, фенолов, СПАВ) за счет влияния сточных вод, что может оказывать негативное воздействие на гидробионтов и снижать качество вод как ресурса; 5) изменение химического состава вод, вызванных трансформацией гидрологических характеристик водных экосистем (строительство плотин, дамб и водохранилищ).

Для рек водосбора зал. Петра Великого наиболее важными проблемами качества вод является избыточное поступление биогенных веществ и потенциально токсичных химических соединений. Антропогенное увеличение минерализации также имеет место и является удобным и чувствительным индикатором антропогенной на-

грузки. Однако наблюдаемое возрастание минерализации речных вод на водосборе залива вследствие хозяйственной деятельности не столь велико с точки зрения качества воды. Все реки Приморья за пределами прямого влияния морских вод имеют минерализацию не более 200 мг/л.

Химические показатели характеризующие качество речных вод водосбора зал.Петра Великого по данным наблюдений ПУГМС на пунктах мониторинга ГСН представлены в табл. 4.

Химическое потребление кислорода (ХПК) во многих реках бассейна этого залива значительно выше, чем в реках Японии и Кореи. ХПК отражает количество органических соединений которые могут быть окислены перманганатом ( $KMnO_4$ ) или бихроматом ( $K_2Cr_2O_7$ ). При мониторинге качества пресных вод в РФ используют более сильный окислитель  $K_2Cr_2O_7$ , и это одна из причин повышенного показателя ХПК в малозагрязненных реках Дальнего Востока РФ. Повышенное содержание природных органических веществ в реках дренирующих таежные ландшафты – наиболее вероятная вторая причина повышенных значений ХПК в реках Приморья. Минимальный уровень ХПК наблюдается в наиболее чистых небольших горных рек юго-западной части бассейна зал.Петра Великого. Высокие показатели ХПК, превышающие ПДК, имеют место в реках Раздольная и Кневичанка дренирующих наиболее хозяйственно освоенные и плотно населенные участки водосборов (табл. 4).

**Таблица 4.** Химические показатели (мг/л) качества речных вод водосбора зал. Петра Великого (среднее за 2001–2007 по данным ПУГМС)

**Table 4.** Chemical characteristic (mg/l) of major rivers at Peter the Great Bay watershed (2001–2007 averaged data)

Река	ХПК	БПК	$N_{NH_4^+}$	$N_{NO_3^-}$	$P_{PO_4^{3-}}$	НУ	фенол	взвесь
Туманная	18,8	1,93	0,24	0,63	0,017	0,02	0,003	86,5
Юго–запад	3,4	1,5	0,08	0,20	0,003	0,02	0,001	6,0
Раздольная	21,2	11,6	0,87	0,20	0,071	0,11	0,003	29,2
Кневичанка	26,1	6,1	2,25	0,22	0,24	0,06	0,002	29,9
Артемовка	10,7	2,14	0,14	0,09	0,010	0,05	0,001	9,6
Партизанская	10,8	2,53	0,05	0,12	0,009	0,05	0,0003	12,1
<b>ПДК</b>	<b>15.0</b>	<b>2.0</b>	<b>0.40</b>	<b>9.1</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.001</b>	<b>–</b>

\* – Цукановка, Брусся, Нарва, Барабашевка, Амба. Биогены определены в фильтрованных пробах, остальные – в нефильтрованных.

Note: \* – Tsukanovka, Brusya, Narva, Barabashevka, Amba. Nutrients are determined in the filtered (0.45 mkm) samples, others – in the unfiltered ones

Биологическое потребление кислорода (БПК) отражает количество органических соединений способных окисляться в ходе жизнедеятельности бактерий, обитающих в исследуемых водах. Показатель БПК превышает ПДК равную 2 мг/л практически во всех реках, дренирующих заселенные и хозяйственно освоенные водосборы (табл. 4). Исключение составляет нижнее течение явно загрязненной р. Ту-

манной, где БПК не велико, но зато ХПК превышает 15 мг/л. В наиболее загрязненных реках Раздольная и Кневичанка значительно повышены показатели и ХПК и БПК (табл. 4).

Концентрация аммонийных и нитритных форм азота и фосфатов превышает ПДК в водах только наиболее антропогенно нагруженных рек Раздольная и Кневичанка. В то же время наблюдается отчетливая разница между реками по содержанию растворенных форм азота и фосфора, отражающая уровень антропогенной нагрузки (табл. 4).

Концентрации фенолов и нефтепродуктов превышают ПДК в тех же наиболее загрязненных реках Раздольная и Кневичанка, хотя ПДК фенолов в РФ (0.001 мг/л) практически равна чувствительности наиболее часто применяемого метода определения. Очевидно, что необходимо использование более чувствительных методов анализа, применяющихся в рутинном мониторинге качества речных и морских вод. Судя по данным мониторинга ПУГМС, концентрация хлорорганических пестицидов группы ДДТ в водах рек бассейна зал. Петра Великого не превышает 35 нг/л, а гексахлорциклогексана ГХЦГ меньше 4 нг/л.

Использование концентрации микроэлементов для оценки качества вод как часть рутинного мониторинга в РФ встречается с теми же проблемами, как и в других странах. Основная причина – проблемы получения надежных данных незагрязненных при отборе проб воды и их анализе. В то же время очевидна перспективность использования данных по концентрации растворенных и взвешенных форм металлов для оценки антропогенной нагрузки на водные экосистемы, особенно на начальных этапах загрязнения (Шулькин и др., 2007). В реках, дренирующих водосбор зал. Петра Великого (табл. 5), концентрация растворенных форм таких потенциально токсичных металлов, как Cd и Pb, а также Zn и Ni значительно ниже ПДК для питьевых вод (ГН 2.1.5.1315–03, 2003) и для водоемов рыбохозяйственного назначения (Перечень рыбохозяйственных..., 1999). Концентрация растворенных форм Си превышает ПДК равную 1 мкг/л (0.001 мг/л) во многих реках Приморья, но это объясняется неоправданно низкой величиной ПДК.

Растворенные формы Mn и Fe, судя по величине ПДК, не столь токсичны, но во многих реках превышают ПДК. Это объясняется широким распространением коллоидных и органических комплексов Fe в природных водах, и усиленной мобилизацией Fe и особенно Mn в глеевой обстановке заболоченных и загрязненных ландшафтов.

Межгодовая изменчивость за последние 8–10 лет химического состава рек, выпадающих в зал. Петра Великого, различна для различных параметров (рис. 5–7). Содержание взвешенных веществ и ХПК не демонстрирует сколь либо явной тенденции. Исключение составляют максимально загрязненные реки Раздольная и Кневичанка, где наблюдается тенденция повышения величины ХПК за последние годы.

**Таблица 5.** Концентрация растворенных форм металлов (мкг/л) в реках бассейна залива Петра Великого (средние данные за 2001–2007 гг., ТИГ ДВО)

**Table 5.** Concentration of dissolved forms of metals in rivers inputting to Peter the Great Bay (2001–2007 averaged data by Pacific Geographical Institute)

Реки	n	Pb	Cu	Mn	Fe	Cd	Zn	Ni
Туманная	13	0,166	<b>1,57</b>	<b>97,7</b>	81,5	0,022	0,93	0,72
Реки юго-западной части*	41	0,026	0,46	5,1	22,1	0,005	0,39	0,31
Раздольная	23	0,061	<b>1,05</b>	<b>54,8</b>	82,2	0,006	1,03	0,84
Артемовка	2	0,058	0,43	<b>27,2</b>	<b>1451</b>	0,005	0,51	0,57
Шкотовка	9	0,053	0,38	8,1	20,2	0,002	0,41	0,27
Партизанская	8	0,019	0,50	<b>25,4</b>	38,4	0,003	1,11	0,53
<b>ПДК</b>		<b>6</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>100</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>10</b>

\* – Цукановка, Брусья, Нарва, Барабашевка, Амба и некоторые другие речки юго-западной части бассейна зал. Петра Великого; концентрация растворенных форм металлов в воде через фильтр с размером пор 0.45 мкм, n – число проб

Note: \* – Tsukanovka, Brusya, Narva, Barabashevka, Amba and other rivers of southwestern part of Primorye; Me d – concentration of dissolved metal forms in filtered (0.45 mkm) samples, n – number of samples.

БПК демонстрирует явный тренд снижения в довольно загрязненной реке Раздольная, однако в максимально загрязненной реке Кневичанка среднегодовая величина БПК за последние годы возросла в 1.5–2 раза (рис. 5). В менее загрязненных реках значимых изменений уровня БПК не наблюдалось.

Среднегодовая концентрация фосфатов в загрязненных реках бассейна зал. Петра Великого показывает тенденцию увеличения за последние 5–6 лет, и, что более важно, эта тенденция наблюдается и в относительно чистых реках (рис. 6в, г). Однако даже этот повышенный уровень фосфатов в малозагрязненных реках бассейна зал. Петра Великого остается ниже, чем в большинстве рек Кореи или северо-восточного Китая, но сама по себе тенденция достаточно тревожна. Сходный тренд увеличения концентрации в загрязненных реках Раздольная и Кневичанка наблюдается для аммонийного азота и нитратов, однако в более чистых реках заметна стабилизация или даже снижение содержания растворенных форм азота в последние 5–6 лет (рис. 6а,б).

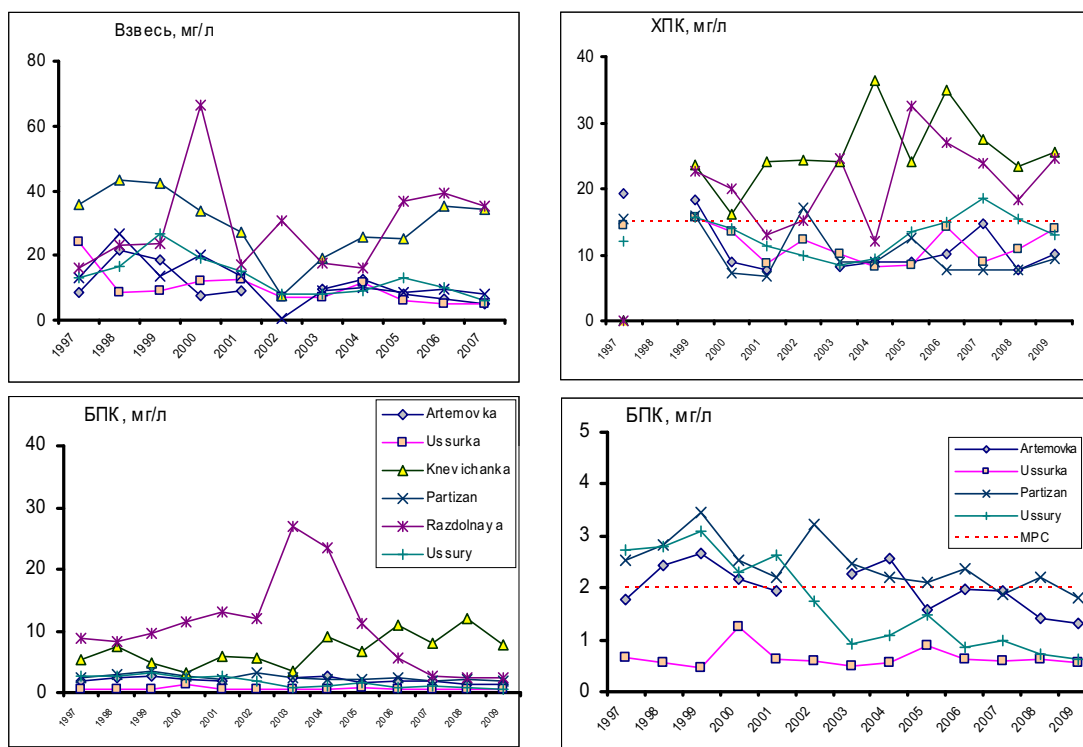


Рис. 5. Динамика изменения содержания взвеси, показателей ХПК и БПК в речных водах бассейна зал. Петра Великого, а также рек Усури и Б. Уссурка (по данным ПУГМС)

Fig. 5. Annually averaged concentration of suspended solids, COD and BOD in the Artemovka and Razdolnaya rivers of the Peter the Great Bay basin, and two big rivers of the Amur River basin: Ussury and Ussurka

Наиболее длительный и надежный ряд наблюдений за химическим составом речных вод в бассейне зал. Петра Великого имеется для р. Раздольной, которая обеспечивает 47 % суммарного стока рек в залив и дренирует наиболее населенную часть водосбора.

Сезонная и межгодовая изменчивость гидрографа р. Раздольной за последние 25–30 лет имеет следующие особенности (рис. 7):

1) Межгодовая изменчивость среднегодовых расходов реки достигает 6–7 раз (рис. 7а), тогда как межгодовая изменчивость среднегодового количества атмосферных осадков, которые формируют речной сток, составляет лишь 2–3 раза (рис. 7б).

2) Сезонная изменчивость среднемесячных расходов р. Раздольной с апреля по ноябрь варьирует от 2–3 раз в маловодные годы до 10–15 раз в многоводные. В зимнюю подледную межень расход реки стабильно минимален.

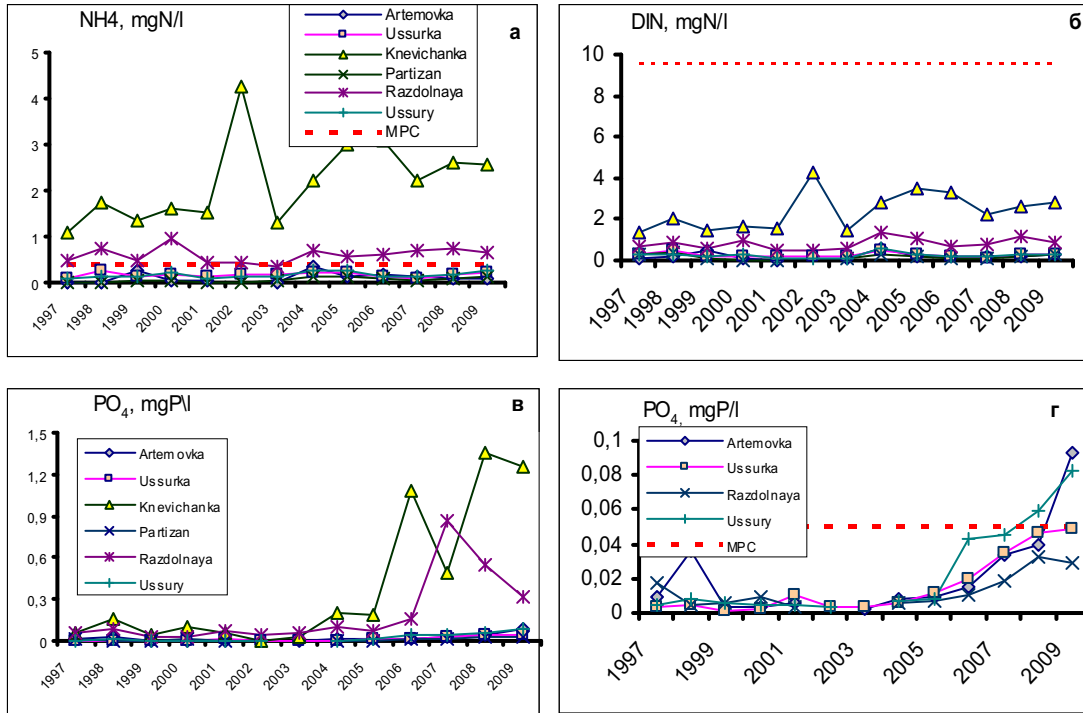


Рис. 6. Динамика изменения концентрации растворенных форм азота (а,б) и фосфатов (в,г) в речных водах бассейна зал.Петра Великого, а также рек Уссури и Б.Уссурка (по данным ПУГМС)

Fig. 6. Annually averaged concentration of ammonia nitrogen (a), dissolved inorganic nitrogen (b) and phosphate (c, d) in the Artemovka and Razdolnaya rivers of Peter the Great Bay basin, and two big rivers of the Amur River basin: Ussury and Ussurka

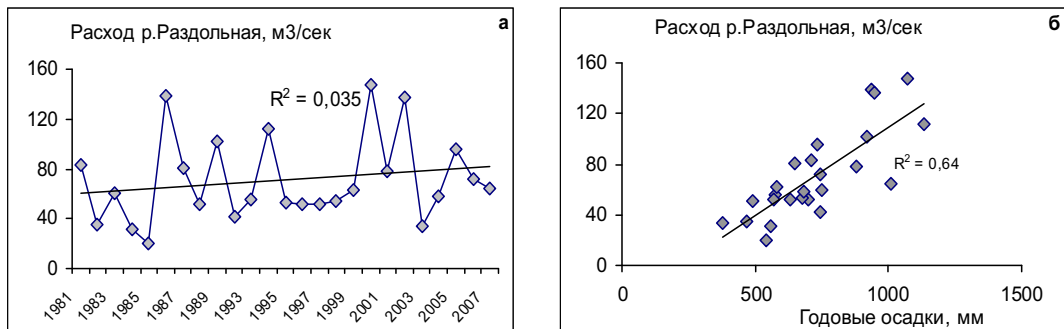
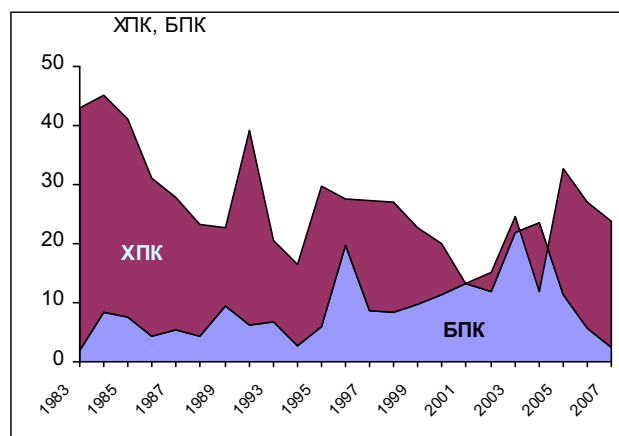


Рис. 7. Межгодовая и сезонная изменчивость гидрологических характеристик р. Раздольной

Fig. 7. The time series of annual average of water discharge (a), relationship between annual average discharge and precipitation (b) for the Razdolnaya River for the last 30 years



*Рис. 8.* Динамика изменения концентрации ХПК и БПК в стоке р. Раздольной

*Fig. 8.* The inter annual variability of COD and BOD at the downstream of Razdolnaya river during last 25 years

Сколько-либо значимого тренда среднегодового расхода р. Раздольной и среднегодового количества осадков за последние 30 лет не наблюдается. Это позволяет и использовать ряд наблюдений за химическим составом этой реки как оценку химического загрязнения речного стока в зал. Петра Великого. Анализ показал, что межгодовая изменчивость среднегодовых значений минерализации вод р. Раздольной составляет 2–2.5 раза в обратной зависимости от водности года, но без явного тренда за последние 30 лет.

Среднегодовые оценки ХПК и БПК достаточно изменчивы, но последние 25 лет наблюдается тенденция уменьшения ХПК и увеличения БПК (рис. 8). Это означает постепенное возрастание в речном стоке вклада легкоокисляемых органических соединений. Исключение составляет период после 2004 г., когда показатель БПК значительно снизился вследствие ввода в действие очистных сооружений по очистке коммунальных стоков г. Уссурийска.

## Оценка выноса загрязняющих веществ в залив Петра Великого

### **Вклад речного стока, сточных вод и ливневого стока в поставку загрязняющих веществ с водным стоком с водосбора**

Хотя качество речных вод определяется концентрацией в них химических соединений, не менее важна оценка речного стока, поскольку влияние рек на прибрежно-морские воды определяется именно величиной стока. Неопределенность оценок речного стока обусловлена несколькими причинами. Прежде всего, необходимо отметить неполноту гидрологических и гидрохимических данных. Кроме того, сток р. Туманной почти в 2 раза больше, чем суммарный сток всех остальных рек бассей-



на, и влияет лишь на южную часть залива. Поэтому учет стока реки Туманная вносит неоправданное смещение в усредненные характеристики влияния речного стока на зал. Петра Великого и позволяет не учитывать вынос данной реки при оценке стока в залив.

Следующая особенность водосбора зал. Петра Великого – повышенная доля городских территорий с особым характером речного и поверхностного стока. В частности, для территорий городской застройки наблюдается как повышенный удельный расход ливневых вод, так и повышенная концентрация в них ряда загрязняющих веществ (Гаврилевский и др., 1998). Выпуски очищенных и неочищенных сточных вод также расположены, как правило, в пределах городских территорий. Ливневые и сточные воды городов, находящихся на внутренних частях водосбора (Усурийск, Партизанск, города бассейна р.Туманной), поступают в зал. Петра Великого через дренажные реки. Оценка объемов ливневого стока, приведенная в табл. 6, относится только к городам, расположенным на берегу залива (города Владивосток и Нанходка).

Вклад поверхностного ливневого стока с площади водосбора в зал. Петра Великого в настоящее время не превышает по объему 5 % общего стока. Ливневой сток обеспечивается городской территорией, составляющей 0,7 % от общей площади водосбора. Если площадь городской застройки возрастет в будущем до 3% от площади водосбора (в Южной Корее городская застройка составляет 5,9 % территории), вклад стока, генерированного на территории городов увеличится до 20 % от общего.

Концентрация загрязняющих веществ в сточных водах и в ливневых стоках очень изменчива во времени и в пространстве и все средние оценки по территории например г. Владивостока, неизбежно весьма приблизительны. В табл. 7 приведены данные по химическим параметрам, часто характеризующим качество вод, для ливневых стоков г. Владивостока (Гаврилевский и др., 1998). Совместное рассмотрение данных таблиц 6 и 7 в сочетании с оценкой речного стока тех же веществ (табл. 4), позволяет оценить вклад речного стока, ливневых и сточных вод в общее поступление химических соединений в зал. Петра Великого с водным стоком с суши (рис. 9).

Эти оценки достаточно приблизительны вследствие высокой сезонной и пространственной изменчивости как объемов стоков, особенно ливневых, так и состава стоков. Однако даже эти грубые оценки ясно показывают малую значимость объема сточных вод по сравнению с речным стоком. Однако вклад сточных и ливневых вод в поставку органических веществ (по БПК) возрастает до 15 % от общего поступления с водным стоком, а для аммонийного азота и нефтепродуктов (НУ) вклад достигает 40–46 %. Вклад ливневых и сточных вод в балансе поступления фосфатов в зал. Петра Великого равнозначен или превышает речной сток (рис. 9).

**Таблица 6.** Элементы водного стока с водосбора зал. Петра Великого

**Table 6.** The elements of fresh water runoff from Peter the Great Bay watershed

	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Объем стока, км <sup>3</sup> /г	Удельный расход, л/с/км <sup>2</sup>
Речной сток			
Туманная	33200	9.05	8.6
Цукановка	170	0.12	10.4
Брусья	160	0.04	12.4
Нарва	332	0.13	12.4
Барабашевка	576	0.32	17.6
Амба	242	0.19	13.4
Раздольная	16800	2.46	4.6
Артемовка	1460	0.29	3.1
Шкотовка	714	0.22	8.9
Суходол	443	0.14	10.4
Партизанская	4140	1.32	10.1
Учтенный водосбор*	25037	5.23	6.6
Неучтенный водосбор*	6498	1.89	9.2
Суммарный водосбор*	31535	7.12	7.2
Сток ливневых вод			
Все городские территории	237	0.171**	22.9
Владивосток	171	0.055***	10.2
Прямой сброс сточных вод			
Владивосток		0.11–0.14****	
Владивосток		0.41–0.44*****	
Находка		0.02	

\* – оценка для зал. Петра Великого в целом проведена без учета стока р. Туманной (Водный кадастр, 1986); \*\* – оценка основана на объеме атмосферных выпадений без учета эвапотранспирации; \*\*\* – по Гаврилевский и др., 1998; \*\*\*\* – без учета объемов морской воды, используемой для охлаждения ТЭС г. Владивостока; \*\*\*\*\* – суммарный сток промышленных и коммунальных сточных вод г. Владивостока (Приморскстат, 1991–2008).

Note: \* – estimations for Peter the Great Bay as a whole are carried out without Tumen river runoff (Water Cadaster, 1986); \*\* – assessment based on the atmospheric precipitation without evapotranspiration; \*\*\* – from (Gavrilevsky et al., 1998); \*\*\*\* – without sea water cooling the electricity and heat generation stations in Vladivostok city; \*\*\*\*\* – total discharge of industrial and municipal wastewaters from Vladivostok city (Primorskstat, 1991–2008).

**Таблица 7** Концентрация (мг/л) некоторых загрязняющих веществ в сточных водах и в ливневом стоке г. Владивостока (Гаврилевский и др., 1998).

**Table 7.** Concentrations (mg/l) of some contaminants in the wastewaters and storm waters of Vladivostok city (Gavrilevski et al., 1998).

	ВOD <sub>5</sub>	NH <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub>	СПАВ	НУ	Фенолы	Взвесь
Сточные воды	32.6	4.2	1.9	0.11	0.92	0.015	39.2
Ливневые воды	17.8	3.5	0.25	0.17	1.09	0.011	85.9

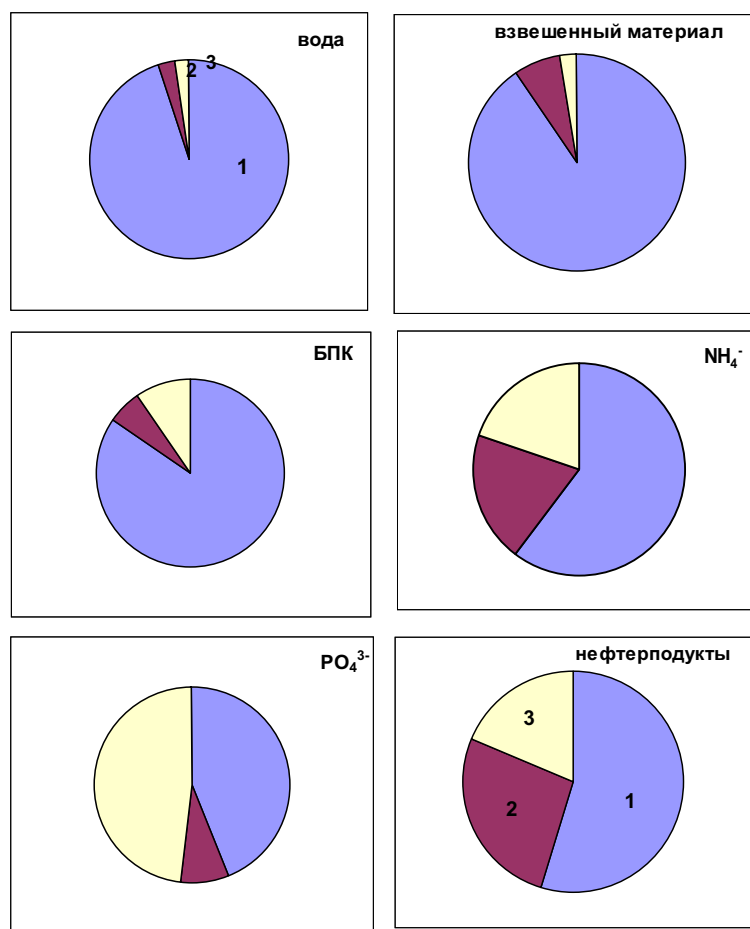


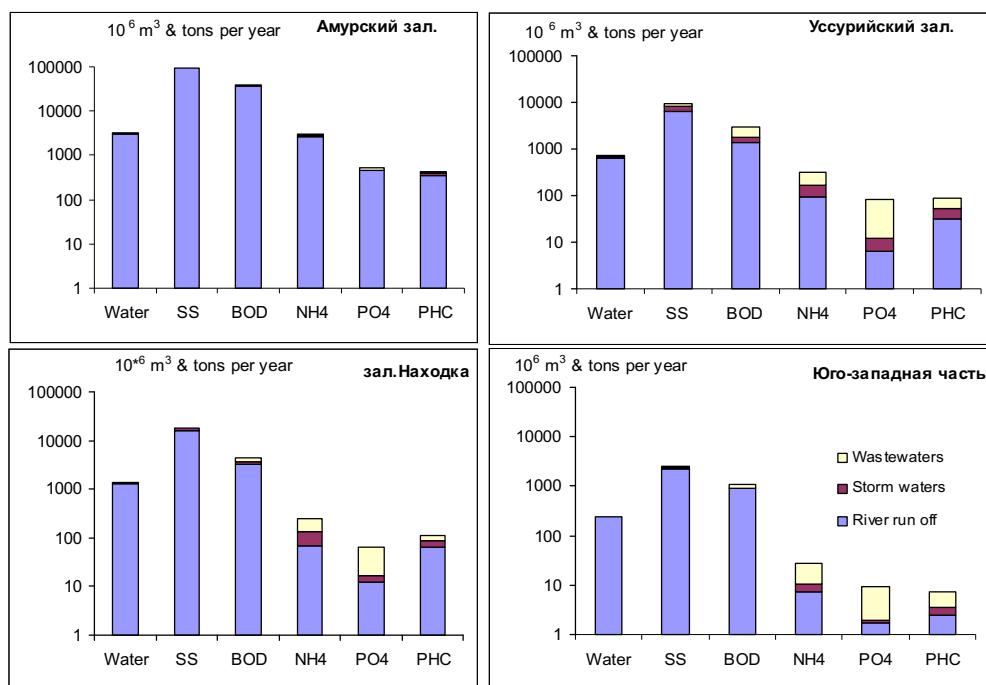
Рис. 9. Вклад речного стока (1), ливневого стока (2) и сточных вод (3) в общий сток с водосбора зал. Петра Великого

Fig. 9. The contribution of river runoff (1), storm waters (2) and waste waters (3) to the inputs of water, suspended solids, BOD, ammonia nitrogen, phosphate and petroleum hydrocarbons (PHC) in Peter the Great Bay area as a whole

Учитывая значительную пространственную гетерогенность зал. Петра Великого, мы провели аналогичную оценку вклада речного стока, сточных и ливневых вод в поставку загрязняющих веществ с водным стоком и для отдельных наиболее значимых участков: Амурского залива, Уссурийского залива, залива Находка и юго-западной части зал. Петра Великого. Оценка составляющих водного стока сильно варьирует, но для всех участков наблюдается доминирование речного стока в объемах воды и взвеси и повышение вклада сточных вод в поступление биогенов и загрязняющих веществ (нефтепродуктов) (рис. 10).

К числу нетривиальных выводов из этих расчетов можно отнести то, что вклад сточных/ливневых вод в юго-западной и северо-восточной частях зал. Петра Великого

кого оказался выше, чем в Амурском заливе, с явно выраженной антропогенной нагрузкой и очевидными экологическими проблемами. Низкая исходная концентрация в речных водах и относительно небольшой объем речного стока – основная причина повышенной уязвимости юго-западной и северо-восточной частей водосбора к антропогенному загрязнению водного стока.



*Рис. 10* Вклад речного стока (1), ливневого стока (2) и сточных вод (3) в общий сток с суши воды, взвешенных веществ (SS), БПК (BOD), аммонийного азота ( $\text{NH}_4$ ), фосфатов ( $\text{PO}_4$ ) и нефтепродуктов (PHC), рассчитанный для отдельных частей водосбора зал. Петра Великого

*Fig. 10* The contribution of river runoff (1), storm waters (2) and waste waters (3) inputs of water, suspended solids (SS) and some chemical substances to the different sub-areas of Peter the Great Bay.

Второй особенностью является повышенный вклад сточных/ливневых вод в баланс поступления биогенных элементов в Уссурийский залив, где экологические проблемы носят локальный характер по сравнению с Амурским заливом. Причина – преобладающий вынос вод экстремально загрязненных бухт Золотой Рог и Диомид через пролив Босфор Восточный в Уссурийский залив. В то же время основная водная масса Уссурийского залива за пределами его юго-западной части, находящейся под влиянием стоков с территории г.Владивостока, достаточно чистая.

Проведенные оценки иллюстрируют природную гетерогенность прибрежных акваторий и неизбежные ограничения использования осредненных данных, в виде которых представляются результаты изучения сточных вод. Дополнительное и с-

пользование данных дистанционного зондирования для характеристики пространственно-временной гетерогенности прибрежных акваторий может помочь идентификации участков, где вклад различных источников стока существенно меняется.

### **Оценка вклада атмосферных выпадений в поступление загрязняющих веществ в акваторию зал. Петра Великого**

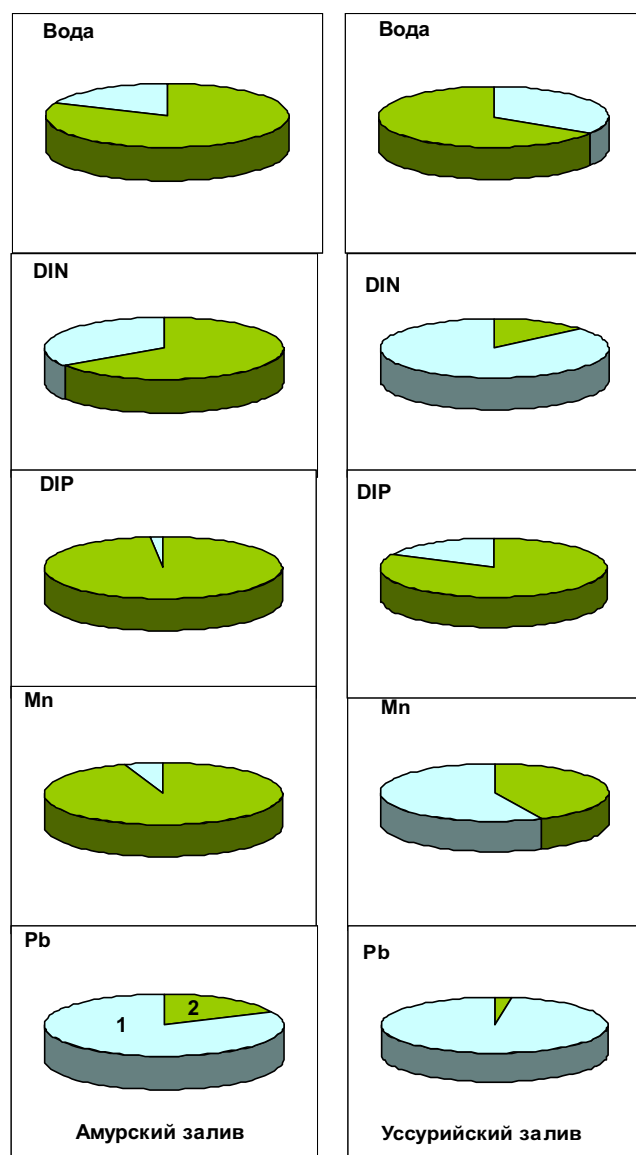
Кроме водного стока с суши, важным путем поступления вещества в морские экосистемы являются атмосферные выпадения (Jickells, 1995). За последние 20–30 лет произошло осознание важной, а для многих химических веществ определяющей роли атмосферных выпадений в поступление веществ в морские экосистемы, тогда как ранее преобладала парадигма доминирования речного стока. Роль атмосферного поступления при прочих равных условиях пропорциональна размеру рассматриваемой акватории, поскольку речной сток является точечным источником (или линейным при плоскостном смыве с берега), а атмосферные выпадения относительно равномерно распределены по площади. Поэтому при определении вклада атмосферного поступления ключевое значение имеет размер акватории.

Расчет относительной роли атмосферных выпадений и водного стока с суши проведен для главных акваторий зал. Петра Великого – Амурского (площадь 997 км<sup>2</sup>) и Уссурийского (площадь 1889 км<sup>2</sup>) заливов, различающихся по морфометрическим показателям. Для расчета использовались данные по среднегодовым характеристикам речного стока в сумме со сточными водами (табл. 4–6). Оценки интенсивности аэрального поступления воды, растворенных форм биогенных элементов и некоторых металлов для зал. Петра Великого даны по результатам В.Ф. Мишукова и В.А. Чудаевой с коллегами (Mishukov et al., 2004, Чудаева и др., 2008).

Результаты расчета показывают (рис. 11), что для Амурского залива вклад водного стока с суши доминирует для воды, как таковой, растворенных форм азота, фосфора и марганца. Однако для таких металлов, как свинец и кадмий (не показано), даже в Амурском заливе вклад водного стока с суши не превышает 15–18 %, и соответственно доминирует атмосферное поступление.

Для Уссурийского залива вклад водного стока с суши продолжает доминировать только для воды, как таковой, а также для растворенных форм фосфора (рис. 11). Для растворенных форм азота и марганца начинает преобладать поступление с атмосферными осадками, а для растворенных форм свинца роль атмосферного поступления превышает 95 %.

Таким образом, при оценке поступления загрязняющих веществ в прибрежные акватории необходимо учитывать как водный сток с суши, так и поступление с атмосферными осадками. Особенно важна роль атмосферной поставки для растворенных форм азота и некоторых металлов (свинца и кадмия).



*Рис. 11.* Соотношение атмосферных выпадений (1) и стока с суши (2) в поступлении воды, растворенных форм азота (DIN), фосфора (DIP), Mn и Pb на акватории Амурского и Уссурийского заливов

*Fig. 11.* The contribution of atmospheric deposition and land-based runoff to the water, dissolved nitrogen, phosphorus, Mn and Pb inputs on the Amur Bay and Ussury Bay areas

**Захоронение загрязненных донных отложений (дампинг)  
как источник загрязнения морских экосистем зал. Петра Великого**

К сожалению, официальная статистика по сбросу твердых отходов в зал. Петра Великого отсутствует. В то же время дноуглубительные работы в портах залива велись в прошлом и продолжают производиться в настоящее время. Соответственно донные отложения, изъятые при дноуглубительных работах, являются главным компонентом твердых отходов, сбрасываемых в зал. Петра Великого. Если донные отложения загрязнены, это может приводить к загрязнению и водной толщи как непосредственно в месте сброса, так и в окрестностях. В пределах зал. Петра Великого зарегистрировано три участка сброса грунтов, изъятых при дноуглубительных работах. Наиболее известный – юго-восточная часть Амурского залива, где осуществлялся официальный сброс загрязненных грунтов б. Золотой Рог с 1970 по 1983 гг. Общий объем грунтов, сброшенных здесь за эти годы составил более 2,5 млн м<sup>3</sup>. В последующем грунты, извлекавшиеся при дноуглубительных работах на акватории порта Владивостока, сбрасывались в юго-западной части Уссурийского залива, но этот дампинг не был должным образом документирован. Юго-западная часть зал. Находка вблизи о-ва Лисий использовалась для сброса грунтов, извлекавшихся при работах в портах Находка и Восточный.

Детальный анализ последствий сброса загрязненных грунтов в юго-восточной части Амурского залива (Мишуков и др., 2009) показал, что за период сброса наблюдались значительные межгодовые вариации объема грунта (табл. 8), но среднегодовой сброс за 1970–1983 гг. составил 214 тыс. м<sup>3</sup> или 107 тыс. т (при плотности отложений 2 г/см<sup>3</sup> и содержании воды в пульпе 75%). Среднегодовой вынос взвешенного материала со стоком р. Раздольной за этот период составлял 111 тыс. т. Таким образом, в 70–80-х гг. XX в. поступление осадочного материала с дампингом грунтов было сопоставимо с твердым стоком р. Раздольной.

Загрязнение донных отложений в пределах порта г. Владивостока, т.е. в бухтах Золотой Рог и Диомид, очень значительно (Tkalin et al., 1996, Шулькин, 2004, Наумов, 2006). Концентрация потенциально токсичных металлов Pb, Cd, Hg, Zn and Cu превышает фоновый уровень в 10 и более раз. Соответственно, вклад сбрасываемых загрязненных грунтов в поступление тяжелых металлов в твердой фазе в экосистему Амурского залива в конце прошлого века превышал роль твердого речного стока. Кроме тяжелых металлов, негативным следствием сброса загрязненных грунтов в Амурский залив являлось также загрязнение нефтью (Ткалин, Шаповалов, 1985)

**Таблица 8.** Дампинг грунтов в юго-восточной части Амурского залива, 10<sup>3</sup> м<sup>3</sup> and 10<sup>3</sup> т (Мишуков и др., 2009)

**Table 8.** Input of dredged sediments from the Vladivostok Harbor to the Amursky Bay, 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup> and 10<sup>3</sup> t (Mishukov et al., 2009)

Год	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1981	1982	1983
Объем	449	319	267	136	160	356	23	141	36	290	42	344
Масса	225	160	134	68	80	178	12	71	18	145	21	172

К сожалению, объем сброса грунтов в юго-западную часть Уссурийского залива документально не подтвержден. Можно предположить, что в 90-х гг. активность дампинга снизилась вследствие экономической депрессии. Однако модельные расчеты (Мишуков и др., 2009) показали, что сброс даже 10 тыс. м<sup>3</sup> грунта в юго-западной части Уссурийского залива приводит к значительному увеличению содержания взвеси и загрязняющих веществ вблизи о-ва Русский.

Третье место дампинга грунтов – окрестности о-ва Лисий в зал. Находка. Объем сброшенных здесь грунтов экспертно оценивается по изменению подводного рельефа в 2,5 млн м<sup>3</sup> за последние 30 лет (Б.В. Преображенский, личное сообщение). Кроме регулярных дноуглубительных работ в портах Находка и Восточный, был произведен концентрированный сброс грунта, изъятый при подготовке бассейна в порту Восточный для строительства буровых платформ для добычи нефти на шельфе о-ва Сахалин. Объем только этого дампинга составил около 1 млн. м<sup>3</sup>. Динамика сбросов грунта в районе о. Лисьего неизвестна, но предполагая равномерное поступление, средний объем дампинга за год можно оценить в 80 тыс. м<sup>3</sup> или 40 тыс. т. Твердый сток р. Партизанской – крупнейшей реки, впадающей в зал. Находка, составляет 10,6–35,8 тыс. т в год в зависимости от водности года. Таким образом, и в Амурском заливе и в восточной части зал. Петра Великого твердый сток рек сопоставим с объемом сбрасываемого в море грунта, изъятый при дноуглубительных работах, и это обстоятельство нельзя игнорировать. К счастью, загрязнение донных отложений в восточной части зал. Петра Великого намного меньше, чем в б. Золотой Рог. Высокая степень загрязнения донных осадков, сбрасывавшихся в Амурском заливе, делают дампинг одним из главных источников загрязнения донных отложений юго-восточной части Амурского залива металлами и нефтепродуктами.

### **Оценка загрязнения морских экосистем зал. Петра Великого**

Под загрязнением морских экосистем обычно понимают увеличение концентрации некоторых химических веществ в различных компонентах (воде, взвеси, гидробионтах, донных отложениях). Лишь для растворенного кислорода признаком загрязнения является, напротив, снижение концентрации. Оценка трендов долговременного (годы – декады) изменения концентрации загрязняющих веществ в прибрежных акваториях – задача часто невыполнимая вследствие постоянного совершенствования и изменения методик отбора и анализа проб и несовместимости части данных. Исключением являются биогенные вещества (соединения фосфора, азота, кремния), методики определения которых мало менялись последние 50–60 лет. Для других загрязняющих веществ (тяжелые металлы, пестициды, нефтепродукты) в лучшем случае возможно провести оценку существующего уровня загрязнения воды и гидробионтов. Определение концентрации загрязняющих веществ в тканях гидробионтов для определения загрязнения экосистем – биомониторинг, имеет свои преимущества. Моллюски и водоросли-макрофиты – организмы, распространенные и легкодоступные для отбора, наиболее часто используются для биомониторинга загрязнения прибрежных вод металлами и органическими загрязнителями. Анализ донных отложений дает наиболее интегрированную оценку загрязнения водных экосистем. Кроме того, распределение загрязняющих веществ по разрезу донных отложений при условии ненарушенного осадконакопления позволяет охарактер-



ризовать историю загрязнения. Использование донных отложений также имеет ограничения: концентрация загрязняющих веществ зависит, кроме всего прочего, от скорости осадконакопления, генезиса осадочного материала и не отражает биодоступности загрязнений. Поэтому, очевидно, для всесторонней оценки загрязнения прибрежных акваторий необходимо исследование различных компонентов экосистем.

### **Оценка загрязнения вод зал. Петра Великого металлами, органическими пoлтантами и биогенными соединениями**

Концентрация растворенных и взвешенных форм многих металлов (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni) в реках, ручьях и выпусках сточных вод, впадающих в зал. Петра Великого значительно выше, чем в морской воде. В результате концентрация металлов в прибрежных водах, находящихся под влиянием стока с суши, повышена (табл. 9).

Распределение солёности – ключевой параметр, отражающий влияние стока с суши. Сорбция на взвеси и ассимиляция планктоном с последующей седиментацией ведут к удалению металлов из водной толщи. С другой стороны, десорбция при увеличении солёности и поток из восстановленных или загрязненных донных отложений сопровождается увеличением количества растворенных форм некоторых металлов (Mn, Zn и др.) в воде. Дополнительное поступление металлов с атмосферными выпадениями также может играть важную роль. Тем не менее, наблюдаемая пониженная концентрация большинства следовых металлов в морских водах по сравнению с речными, указывает на преобладание процессов удаления металлов из водной толщи.

**Таблица 9.** Концентрация (мкг/л) растворенных форм металлов в различных частях зал. Петра Великого (Шулькин, 2004)

**Table 9.** Concentration ( $\mu\text{g/l}$ ) of dissolved metals in Peter the Great Bay sub-areas (Shulkin, 2004)

Участок	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni
Юго-западная часть зал. Петра Великого	–	–	0.08–0.48	0.20–0.32	0.02–0.03	0.02–0.03	–
Внешняя часть Амурского зал.	1.1	1.4	0.2	0.2	0.01	0.01	0.2
Кут Амурского залива	3.5–21.6	4.5–41.7	0.8	1.2	0.2	0.04	0.6
Кут Уссур. зал.	2.5	3.8–10.5	0.5–1.85	0.8–2.7	0.2–0.96	0.03–0.13	0.5
Зал. Восток	1.7	2.2	0.2	0.2–0.3	0.004–0.01	0.01–0.02	0.2–0.4
Зал. Находка, зап. часть	–	–	0.04–0.52	0.32–1.17	0.03–0.11	0.002–0.04	–
Зал. Находка, вост. часть	–	–	0.15–0.22	0.19–0.23	0.06–0.10	0.009–0.013	–
<b>ПДК</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>50</b>

Оценка степени загрязнения морских акваторий по химическому составу воды имеет ряд недостатков. Низкий уровень концентрации следовых металлов в морской воде увеличивает риск загрязнения при отборе и анализе и делает необходимым и использование достаточно сложных методик. Кроме того, высокая пространственно–временная изменчивость концентрации металлов в прибрежных акваториях требует отбора большого числа проб для получения достоверных результатов. В настоящее время возможно реально оценить лишь средний уровень концентрации микроэлементов в различных акваториях зал. Петра Великого (табл. 9). Очевидно, что наблюдаемые концентрации потенциально токсичных Cd, Pb, Cu значительно ниже ПДК.

Существует два главных источника информации по концентрации биогенных элементов (N, P, Si) в водах залива. Первый – данные полученные в ходе регулярного мониторинга на сети станций наблюдения Приморского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ПУГМС). Эти данные были объединены с данными ТИПРО и проанализированы как единая база данных (Лучин и др., 2005). Этот массив включает более 25 тыс. станций. Данные сгруппированы по 5 участкам: Амурский залив, Уссурийский залив, зал.Посьета, заливы Находка и Восток, и открытая часть зал.Петра Великого. Надежная база данных имеется по температуре, солёности, концентрации фосфатов и силикатов для поверхностного слоя водной толщи, а также для горизонтов 20, 30, и 50 м.

Распределение солёности весьма стабильно и явно отражает максимальный сток с суши в июле–августе. При этом сезонные изменения солёности значительны (5–15%) только в поверхностном слое вод. На глубине 10 м и больше сезонные вариации солёности не превышают 0.5–1.0‰ в любой части зал.Петра Великого.

Наиболее яркой особенностью распределения фосфатов является повышенная и изменчивая концентрация в придонных водах по сравнению с поверхностным слоем вод, что указывает на подчиненную роль стока с суши и в балансе фосфатов. Для силикатов, напротив, роль речного стока доминирует.

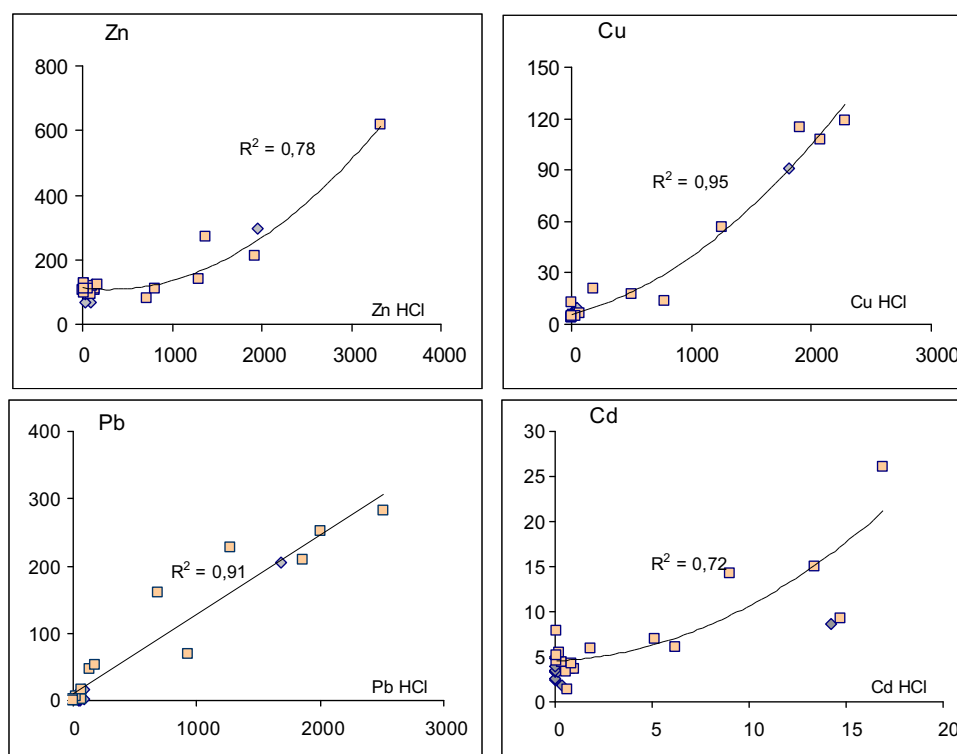
Последние годы детальные исследования гидрохимии биогенных элементов в зал.Петра Великого, прежде всего в Амурском заливе, проводятся коллективом ТОИ ДВО РАН. Исследования охватывают различные сезоны, включая ледостав и муссонные паводки (Звалинский, Тищенко, 2005; Звалинский и др., 2009; Тищенко и др., 2011).

Загрязнение вод зал. Петра Великого пестицидами, нефтепродуктами и такими органическими соединениями, как ПХБ (полихлорбифенилы) и ПАУ (полиароматические углеводороды), оценивается в ходе мониторинга ПУГМС. Однако надежных данных по их содержанию в водах зал. Петра Великого недостаточно для определения отдельных источников поступления и их характеристики.

### ***Оценка загрязнения гидробионтов зал. Петра Великого металлами и органическими токсикантами***

Трудности получения надежной и достоверной информации по концентрации ряда металлов и органических загрязняющих веществ, содержащихся в воде в следовых количествах, привели к поиску параметров, способных быть индикаторами за-

грязнения среды этими микрополлютантами. Концентрация металлов и органических токсикантов в гидробионтах используется с этой целью более 30 лет (Христофорова, 1989). Многолетние прикрепленные моллюски мидия Грея и устрица гигантская являются одними из наиболее изученных гидробионтов зал. Петра Великого с точки зрения их химического состава (Shulkin et al., 2003). Сравнительное исследование концентрации металлов в тканях моллюсков и в донных отложениях из мест их обитания показало, что значительное накопление Cd, Cu и Zn в тканях мидии начинается только при концентрации подвижных форм этих металлов в окружающих осадках более 2, 100 и 800 мкг/г, соответственно (рис. 12).



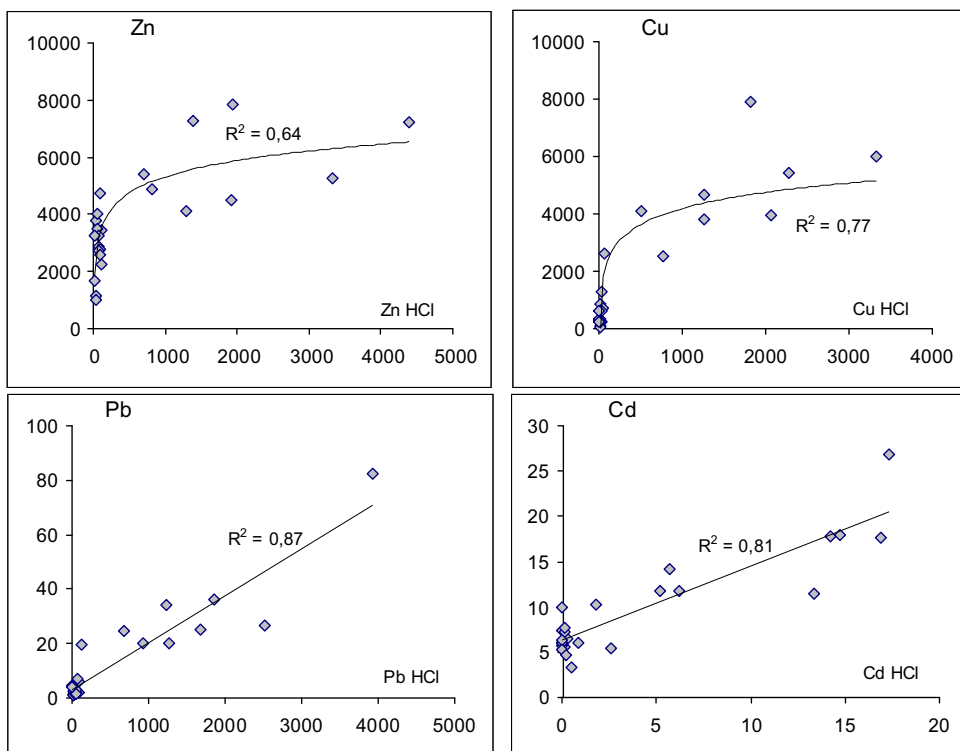
*Рис. 12.* Накопление металлов тканями мидии Грея (ось ординат, мкг/г) в зависимости от концентрации подвижных (кислоторастворимых) форм металлов в донных отложениях (ось абсцисс, мкг/г).

*Fig. 12.* The relationships between metal concentration in the mussel tissues (ug/g, ordinate axis) and acid-leachable forms of metals in the ambient sediments (ug/g, abscissa).

Следовательно, микроэлементный состав тканей мидий может быть использован для биомониторинга сильно загрязненных участков: акваторий портов Владивосток и Находка, района свалки в Уссурийском заливе. Только Pb накапливается в тканях мидий без выраженного порога. Частичное регулирование аккумуляции металлов накладывает некоторые ограничения на использование мидий Грея для биомониторинга слабо- и умеренно-загрязненных донных биотопов.

В отличие от мидий, устрицы показывают отчетливое накопление всех металлов, за исключением Ni, в тканях уже при умеренном загрязнении донных отложений. Однако при дальнейшем увеличении концентрации Zn, Pb и Cu в среде, аккумуляция в тканях устриц замедляется (рис. 13) и, вероятно, достигает насыщения. Таким образом, мидия Грея может быть рекомендована для мониторинга сильно загрязненных участков, а устрица гигантская больше подходит как биоиндикатор начальных и умеренных стадий загрязнения (Shulkin et al., 2003).

Некоторые виды макрофитов также успешно использовались как индикатор дополнительного поступления металлов в некоторые прибрежные акватории зал. Петра Великого. В частности, саргассовые водоросли восточного побережья Амурского залива с выраженным антропогенным прессом содержат в 2–10 раз больше Zn и Pb, чем водоросли с юго-западного побережья Амурского залива (Khristoforova, Kozhenkova. 2002).



*Рис. 13.* Накопление металлов тканями устрицы гигантской (ось ординат, мкг/г) в зависимости от концентрации подвижных (кислотно-растворимых) форм металлов в донных отложениях (ось абсцисс, мкг/г)

*Fig. 13.* The relationships between metal concentration in the oyster tissues (ug/g, ordinate axis) and acid-leachable forms of metals in the ambient sediments (ug/g, abscissa)

В пределах юго-западной части зал. Петра Великого обнаружено 2–4-кратное увеличение концентрации Fe, Mn, Cu в бурых водорослях (ламинариевых и саргасовых) вокруг о-ва Фуругельма по сравнению с о-вом Большой Пелис, вероятно, за счет влияния выносов р. Туманной (Коженкова, Христофорова, 2001).

Загрязнение гидробионтов зал. Петра Великого стойкими органическими поллютантами изучено недостаточно. Данные по таким токсикантам, как органометаллические соединения (метил–ртуть, органические формы олова), диоксины, бромированные эфиры практически отсутствуют. Несколько лучше изучено накопление в моллюсках пестицидов групп ДДТ и ГХЦГ (Tkalin et al., 1997; Boyarova et al., 2006). Очевидно, что должно быть проведено ещё много исследований для характеристики состояния и тенденций изменения загрязнения гидробионтов зал. Петра Великого органическими токсикантами.

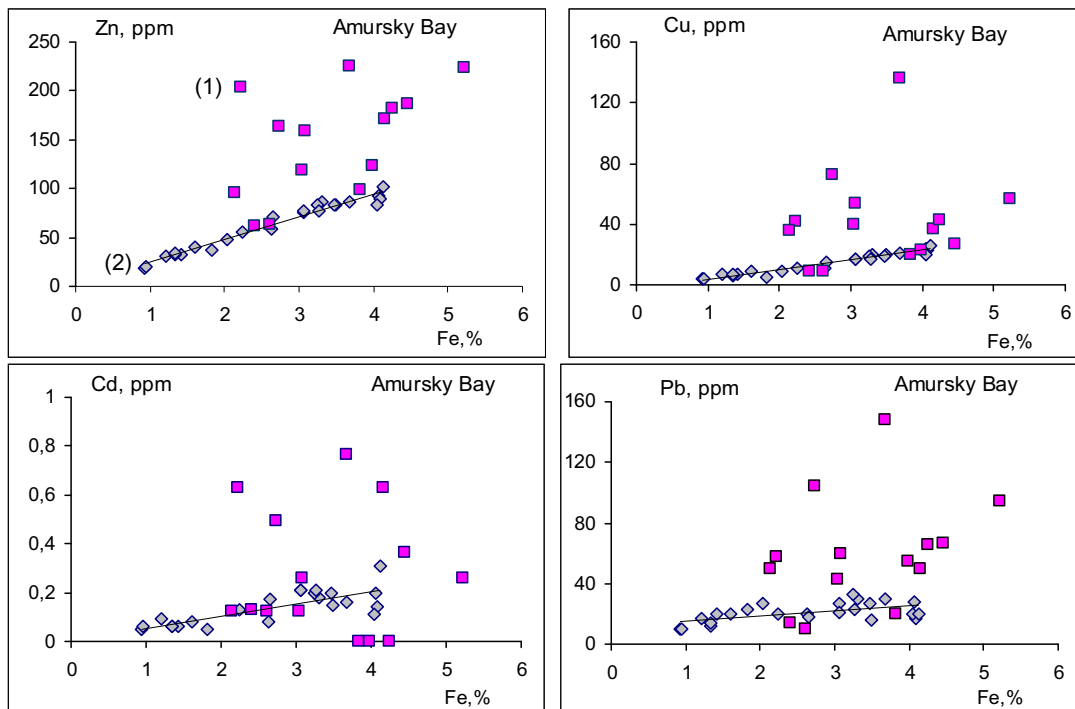
### **Оценка загрязнения донных отложений зал. Петра Великого ~~свалочный~~ показатель антропогенной нагрузки в прошлом и в настоящее время**

Донные осадки – один из компонентов водных экосистем, наиболее часто и используемых для оценки загрязнения прибрежных вод. Способность интегрально отражать воздействие на экосистему и относительная простота методов пробоотбора и анализа – главные преимущества использования донных отложений для характеристики текущего загрязнения. Однако наиболее многообещающая особенность донных осадков – это их возможность отражать в своем составе уровень загрязнения, существовавший в прошлом. Для этого необходимо, чтобы осадкообразование было достаточно непрерывным, без переотложения и нарушений, или эти нарушения должны быть известны. Особенно эффективно использование вертикального распределения химических веществ по разрезу донных отложений, если удастся определить скорость осадконакопления по изотопным маркерам  $C^{14}$ ,  $Pb^{210}$  и  $Cs^{137}$ . Корректное использование донных отложений для оценки загрязнения водных экосистем требует учета природной гетерогенности их химического состава вследствие влияния вариаций гранулометрического и минералогического состава.

Загрязнение современных донных отложений зал. Петра Великого металлами оценивалось на протяжении последних 30 лет несколько раз (Аникиев и др., 1993, Шулькин, 2004, Аксентов, 2008, Поляков, 2008). Оценивалось и загрязнение пестицидами ДДТ и ГХЦГ (Tkalin et al., 2000). Амурский залив и западная часть Уссурийского залива изучены наиболее детально.

По результатам этих съемок обнаружена повышенная концентрация группы металлов (Zn, Pb, Cu, Cd, Hg) в донных отложениях восточной части Амурского и западной части Уссурийского заливов, т.е. вокруг п-ова Муравьев-Амурский. Максимальные концентрации выявлены в средней части западного побережья Уссурийского залива в окрестностях ныне закрытой городской свалки. Донные отложения бухт Золотой Рог и Диомид – второй участок с сильно повышенной концентрацией металлов. В то же время донные осадки северо-западного побережья Уссурийского залива, а также северо-восточной и южной частей Амурского залива имеют практически фоновые концентрации металлов.

При оценке антропогенного вклада в содержание металлов в донных отложениях используются процедуры нормализации. Нормализация относительно Fe (или Sc) позволяет учесть влияние вариаций гранулометрического состава. Подобная нормализация для осадков Амурского залива (рис. 14) ясно показывает существование осадков с антропогенно повышенной концентрацией металлов.



*Рис. 14.* Зависимость концентрации металлов в донных отложениях Амурского залива с различным содержанием Fe. (1) – загрязненная юго-западная часть, (2) – фоновые осадки юго-западной части

*Fig. 14.* The dependence of metal concentrations vs. Fe contents in bottom sediments of the Amursky Bay. (1) – contaminated southeastern part, (2) – uncontaminated sediments of the southwestern part of the Bay

Таким образом, антропогенная нагрузка привела к формированию зоны повышенной концентрации ряда металлов вокруг п-ова Муравьев-Амурский. Достаточно обширная область с превышением общей концентрации Pb, Zn, Cu, Cd в 1.5–3 раза выше фона сформировалась в юго-восточной части Амурского залива (рис. 15). Не исключено, что одна из главных причин её возникновения – дампинг загрязненных грунтов. Обогащение осадков легкоподвижными формами металлов достигает 3–10 раз на расстоянии 0.5 км от берега и 2–4 раз в более мористой зоне. Схожий уровень загрязнения обнаружен в донных отложениях пролива Босфор Восточный. Донные осадки бухт Золотой Рог и Диомид, где расположены портовые сооружения Влад и-

востока характеризуются повышением концентрации металлов в 10–30 раз относительно фона.

Осадки юго-западного побережья Уссурийского залива содержат концентрацию Zn, Cu, Pb в 2–3 раза выше фона, но, в отличие от Амурского залива, ширина полосы загрязненных отложений здесь не превышает 0.5–0.7 км. На участке максимального загрязнения вблизи бывшей городской свалки концентрация металлов в осадках выше фона в 109–190 раз, а по содержанию легкоподвижных форм степень обогащения достигает 215–234 раз.

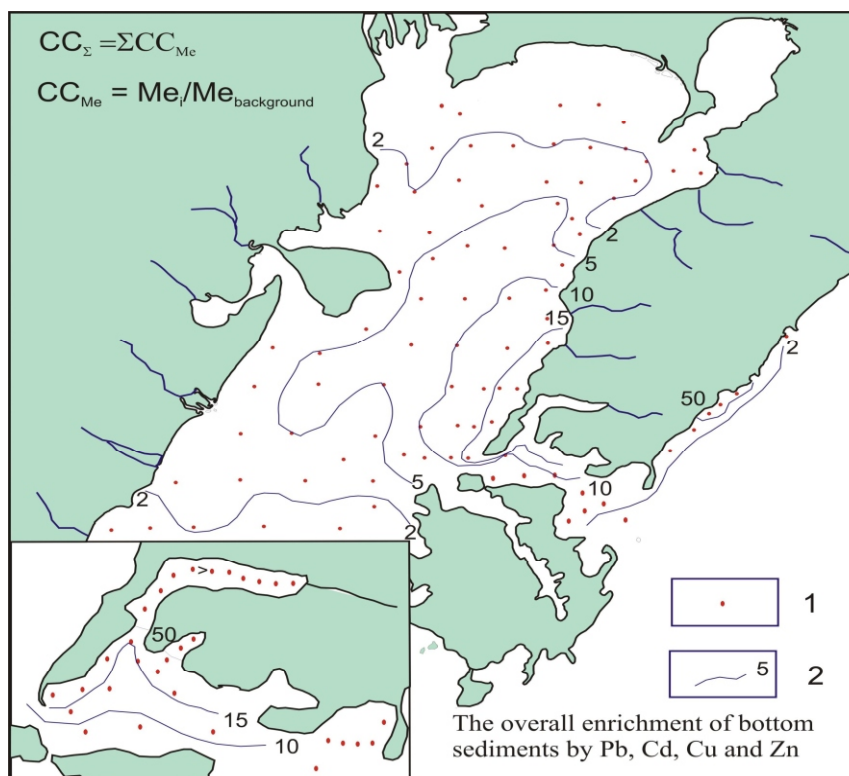


Рис. 15. Распределение суммарного коэффициента обогащения ( $CC_{\Sigma}$ ) донных отложений Pb, Cd, Cu и Zn

Fig. 15. Distribution of the summary enrichment coefficient ( $CC_{\Sigma}$ ) by Pb, Cd, Cu and Zn in the bottom sediments of the Amursky Bay and west part of the Ussuri Bay (Shulkin, 2004)

Концентрация пестицидов групп ДДТ и ГХЦГ в донных отложениях Амурского залива колеблется в интервале  $<0.10$ – $4.78$  и  $<0.20$ – $4.47$  нг/г сухой массы, соответственно, не демонстрируя какой-либо связи с речным стоком (Tkalin et. al., 2000). В донных осадках вблизи г. Владивостока концентрация ДДТ достигает 27.7 нг/г.

Из-за отсутствия надежных долговременных рядов наблюдений за концентрацией загрязняющих веществ в речном стоке и в прибрежных водах, распределение загрязняющих веществ в верхнем 30–50 см слое современных донных отложений

является наиболее удобным и часто используемым методом оценки истории загрязнения в последние 50–100 лет.

Имеется несколько публикаций по распределению металлов в верхнем слое колонок донных отложений в различных частях залива (Tkalin et al., 1996, Аксентов, 2008, Поляков, 2008). Часть изученных колонок датированы по  $Pb^{210}$  и  $Cs^{137}$ . Эти данные позволяют определить начало 50-х годов XX в. как время значительного привноса в экосистему юго–восточной части Амурского залива Hg и некоторых других металлов. Постепенное возрастание антропогенного пресса достигло максимума в середине 70-х годов и продолжало находиться на высоком уровне. Антропогенное поступление Pb началось на 100 лет раньше и достигло максимума в 30-х годах XX в. (Поляков, 2008).

## Эвтрофикация и изменения структуры биологических сообществ

При изучении антропогенной нагрузки на прибрежные акватории помимо характеристики степени загрязненности, т.е. определения концентрации загрязняющих веществ в различных компонентах экосистем, ещё более важна оценка биологических изменений, происходящих на уровне экосистемы в целом или её биологических составляющих. Для прибрежных акваторий наиболее значимыми проблемами такого рода в последние десятилетия являются эвтрофикация и изменения структуры биологических сообществ.

Эвтрофный статус прибрежных вод определяется концентрацией хлорофилла «а» в диапазоне 8–25 мкг/л и концентрацией фосфатов в диапазоне 35–100 мкгР/л. При содержании хлорофилла «а» более 25 мкг/л воды характеризуются как гипер-трофные (Treatise in Geochemistry, 2005). По этим критериям только незначительные по размеру участки внутренних акваторий Амурского и Уссурийского заливов, а также зал. Посыета могут быть классифицированы как эвтрофные. При этом эвтрофный статус и здесь наблюдается лишь в течение 2–3 недель при массовом развитии фитопланктона. Наиболее часто цветение фитопланктона в Амурском заливе регистрируется в июле–августе. Регистрируется и зимнее подледное цветение в феврале–марте. Период массового развития фитопланктона длится, как правило, не более недели. Только летнее цветение динофлагелят *Noctiluca scintillans* и *Oxyrrhis marina* длится более 20 дней. Площадь массового развития фитопланктона в зал. Петра Великого редко превышает 1 км<sup>2</sup> и только для *Noctilucascentillans* может достигать 10–20 км<sup>2</sup>. Таким образом, с точки зрения статуса эвтрофности вод акватория зал. Петра Великого может быть признана достаточно благополучной. Однако если под эвтрофикацией понимать весь комплекс проблем, сопровождающий массовое развитие фитопланктона, ситуация не выглядит столь удовлетворительной. В частности, летнее цветение фитопланктона вследствие выноса большого количества биогенов с речным стоком, не может быть утилизировано зоопланктоном. В результате биомасса фитопланктона осаждается на дно в центральной части Амурского залива и подвергается бактериальной деструкции. Это сопровождается поглощением кислорода, в результате чего в придонных водах Амурского залива наблюдается сезонная гипоксия (Тищенко и др., 2011), что, несомненно, является серьезной экологической проблемой. Кроме того, некоторые виды фитопланктона зал. Петра Великого явл



ются токсичными (Орлова и др., 2009), и отсутствие проблем в настоящее время объясняется лишь низким уровнем развития марикультуры.

Изменение структуры и распределения бентосных сообществ в зал. Петра Великого было наиболее детально изучено в Амурском заливе (Дерюгин, Сомова, 1941; Климова, 1976; Velan et al., 2003). Соотношение между видами, устойчивыми и чувствительными к загрязнению, показывает, что ситуация была достаточно стабильна до 1975 г. В период 1976–1989 гг. преобладала деградация, с 2001 г. отмечаются признаки восстановления. Эвтрофикация и заиление являются наиболее вероятными причинами, препятствующими полному восстановлению бентосного сообщества. Долговременные тренды макрозообентосных характеристик всего зал. Петра Великого не столь однозначны (Надточий и др., 2005).

## **Деградация, трансформация и потеря прибрежных местообитаний**

Помимо загрязнения и нарушения/изменения биологических свойств экосистем, все большее значение приобретают проблемы физического воздействия и изменения экосистем. Деградация, трансформация и исчезновение прибрежных местообитаний может происходить по естественным причинам, в результате природных процессов, но антропогенно-индуцированных, а также как прямое следствие хозяйственной деятельности. Уменьшение твердого стока рек вследствие строительства дамб и водохранилищ и последующее ускорение эрозии берегов – пример такого сложного природно-антропогенного процесса. Трансформация береговой линии и прилегающей зоны при строительстве портовых сооружений – пример прямой антропогенной нагрузки. Строительство причалов и доков неизбежно сопровождается исчезновением прибрежных местообитаний. Физическое разрушение донных местообитаний происходит вследствие заиления, дампинга грунтов и при дноуглубительных работах как таковых. Нерациональные методы рыбной ловли (донное траление) и подводная добыча песка и гравия – следующие примеры хозяйственной деятельности в прибрежных акваториях, сопровождающиеся физическим разрушением местообитаний.

Физическое разрушение местообитаний наряду с необходимостью сокращения и очистки коммунальных стоков, избыточным поступлением биогенов и морским мусором, отмечено как приоритетная проблема в Плане действий ЮНЕП (UNEP/GPA, 2006). Физическое изменение и уничтожение местообитаний продолжается как прямое следствие роста населения, экономического роста и освоения береговой зоны. Средняя плотность населения в береговой зоне Мира увеличилась с 77 чел/км<sup>2</sup> в 1990 г. до 87 чел/км<sup>2</sup>. Прогноз составляет 115 чел/км<sup>2</sup> – в 2025 г. и 134 чел/км<sup>2</sup> – в 2050 г. ([www.gpa.unep.org/padg](http://www.gpa.unep.org/padg)). Этот рост неизбежно будет сопровождаться физическим изменением береговых и прибрежных биотопов. Береговые экосистемы и особенно водно-болотные угодья быстро деградируют и исчезают. Это, в свою очередь, негативно влияет на животное население. Хотя ухудшение ситуации максимально выражено в регионах с наибольшей скоростью экономического развития, отрицательные последствия в той или иной степени проявлены почти везде.

Значение деградации местообитаний в региональном масштабе пропорционально плотности населения, и Приморье со средней плотностью населения

12 чел/км<sup>2</sup> имеет объективно менее обозначенные проблемы этого рода по сравнению с плотно населенными Кореей, Японией и северо-восточными провинциями Китая. Например, длина портовых сооружений в пределах зал. Петра Великого составляет лишь 16.6 км (менее 0.01% всей береговой линии). Однако при этом не исключено, что на локальном уровне проблема деградации прибрежных биотопов может стоять очень остро. Например, акватории портов Владивосток и Находка характеризуются потерей значительной части биотопов, что обусловлено недостаточной, или, точнее, отсутствием системы обработки сточных вод. В то же время порт Восточный – крупнейший порт в зал. Петра Великого с грузооборотом 15–16 млн т в год имеет правильно действующие системы очистки сточных вод и дает пример успешного сосуществования интенсивной портовой деятельности и стабильности малоизмененных биотопов непосредственно в акватории порта (Гульбин и др., 2003). Имеется достаточно много положительных примеров в странах с наиболее продвинутой экологической практикой (Швеция, Норвегия, Япония, США). В то же время очевидно, что любая прибрежная акватория, особенно полузамкнутая и с ограниченным водообменом, имеет некий предел на строительство портовых сооружений, даже при правильно организованной системе очистки сточных вод. К неизбежным видам антропогенной нагрузки относятся изменения в структуре землепользования, включая осушение водно-болотных угодий, строительство дамб, портовых сооружений и установок марикультуры. Наиболее важными следствиями являются нарушение баланса в водных экосистемах, разрушение местообитаний и ущерб дикой фауне.

## Литература

- Аксентов К.И.* Ртуть в абиотических компонентах экосистемы залива Петра Великого // Современное состояние и тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря / ред. В.А.Акуличев. М : ГЕОС, 2008. С. 173–183.
- Аникиев В.В., Перепица С.А., Шумилин Е.Ю.* Оценка влияния антропогенных и природных источников на пространственное распределение тяжелых металлов в донных отложениях залива Петра Великого (Японское море) // Геохимия. 1993. № 9. С. 1328–1340.
- ГН 2.1.5.1315–03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.
- Гульбин В.В., Арзамасцев И.С., Шулькин В.М.* Экологический мониторинг акватории порта Восточный (бухта Врангеля) Японского моря (1995–2002 гг.) // Биология моря. 2003. Т. 29. №5. С. 320–330
- Дерюгин К.М., Сомова Н.М.* Материалы по количественному учету бентоса зал. Петра Великого (Японское море) // Исслед. дальневост. морей СССР. 1941, Вып. 1. С. 13–36.
- Звалинский В.И., Недковский А.П., Сагалаев С.Г. и др.* Трофические элементы и первичная продукция эстуария реки Раздольная // Биол. моря. 2005. Т.31. №2. С. 107–116.
- Звалинский В.И., П.П.Тищенко, П.Я.Тищенко и др.* Гидрохимические и продукционные параметры на акватории Амурского залива в период паводка реки Раздольная в августе 2005 г. // Современное состояние и тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря / ред. В.А. Акуличев. М. : ГЕОС, 2008. С. 199–228.
- Климова В.Л.* Изменение распределения трофических зон бентоса зал. Петра Великого с 30-х по 70-е годы // Океанология. 1976. Т. 16. №2. 343–345.

- Лучин В.А., Тихомирова Е.А., Круц А.А. Океанографический режим вод залива Петра Великого (Японское море) // Изв.ТИНРО. 2005. Т.140. С. 130–169.
- Мишуков В.Ф., Калинин В.В., Плотников В.В., Войццкий А.В. Влияние дампинга загрязненных грунтов на экологическое состояние прибрежных вод г. Владивосток // Изв. ТИНРО. 2009. Т. 159. С. 244–256.
- Надточий В.А., Будникова Л.Л., Безруков В.А. Макрозообитос залива Петра Великого (Японское море): состав, распределение, ресурсы // Изв.ТИНРО. 2005. Т. 140. С. 170–193.
- Орлова Т.Ю., Стонин И.В., Шевченко О.Г. Флора микроводорослей планктона Амурского залива Японского моря // Биол. моря. 2009. Т. 35, № 1. С. 48–61.
- Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно-допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М. : ВНИРО. 1999. 304 с.
- Природные ресурсы и охрана окружающей среды в Приморском крае. Сборники. Приморский краевой комитет государственной статистики. Владивосток, 1992–2009.
- Поляков Д.М. Накопление тяжелых металлов донными осадками Амурского залива. // Современное состояние и тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря / ред. В.А. Акуличев. М. : ГЕОС. 2008. С. 163–172.
- Тищенко П.Я., Лобанов В.Б., Звалинский В.И. Донная гипоксия Амурского залива (Японское море) // Изв.ТИНРО. 2011. Т.165. С. 136–157.
- Ткалин А.В., Шаповалов Е. Поступление нефтяных углеводородов в морскую среду при взмучивании загрязненных донных отложений // Океанология. 1985. Т. 25, Вып. 5. С. 775–779.
- Христофорова Н.К. Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжелыми металлами / ред. И.А.Скульский. Л. : Наука, 1989. 192 с.
- Чудаева В.А., Чудаев О.В., Юрченко С.О. Особенности химического состава атмосферных осадков на юге Дальнего Востока // Водные ресурсы. 2008. Т. 35, №1. С.60–71.
- Шулькин В.М. Металлы в экосистемах морских мелководий. Владивосток : Дальнаука, 2004. 277 с.
- Шулькин В.М., Богданова Н.Н., Киселев В.М. Металлы в речных водах Приморского края // Геохимия. 2007. №1. С. 575–583.
- Belan, T.A., A.V. Tkalin, T.S. Lishavskaya. The present status of bottom ecosystems of Peter the Great Bay (the Sea of Japan) // Pacific Oceanography. 2003. Vol. 1. No. 2. P. 158–167.
- Boyarova M.D., Syasina I.G., Prikhodko U. Mukanova O.N. Chlorinated hydrocarbons in marine organisms from Peter the Great Bay (Sea of Japan) // Environmen. Chem. (Rus). 2004. V.13. № 2. P.117–124.
- Integrated report on harmful algal blooms (HABs) for the NOWPAP region. NOWPAP CEARAC. 2005. 67 p.
- Jickells T. Atmospheric inputs of metals and nutrients to the oceans: their magnitude and effects // *Marine Chemistry* 1995. Vol 48. P. 199–214.
- Khristoforova N.K, Kozhenkova S.I. The use of the brown algae *Sargassum sp.* in heavy metal monitoring of the marine Environment near Vladivostok, Russia // *Ocean and Polar Research* 2002. 24(4). P. 325–329.
- Kozhenkova S.I., Khristoforova N.K. Biomonitoring of heavy metal content in the coastal waters of southwestern Peter the Great Bay using brown algae // The State of Environment and Biota of the Southwestern part of Peter the Great Bay and Tumen River mouth. Vol. 3. Vladivostok, 2001. P. 30–37.

Millennium Ecosystem Assessment. 2006. [www.millenniumassessment.org/](http://www.millenniumassessment.org/). National Research Council. 2000. Clean Coastal Waters. Understanding and Reducing the Effects of Nutrient Pollution. National Academy Press, Washington, D.C.

*Mishukov V.F., Medvedev A.N., Neta A.S.* Sources of chemical elements in the air over Vladivostok // Pacific Oceanography. 2004. Vol.2. No 1–2. P. 109–116.

*Moschchenko A.V., Belan T.A.* Ecological state and long-term changes of macrozoobenthos in the northern part of Amursky Bay (Sea of Japan) // Ecological studies and the state of ecosystems of Amursky Bay and estuarine zone of Razdolnaya River. Vladivostok: Da Inauka. 2008. Vol.1. P. 61–91.

*Prepas E.E., Charette W.* Worldwide eutrophication of water bodies: causes, concerns, controls. // *Environmental Geochemistry* 2005. Vol.9. *Treatise on Geochemistry* Elsevier–Pergamon. Oxford. P. 311–332.

*Rember R., Trefry J.H.* Increased concentrations of dissolved trace metals and organic carbon during snowmelt in the rivers of Alaskan Arctic // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2004. V. 68. No 3. P. 477–489.

*Shulkin V.M., Kavun V.Ya, Presly B.M.* Metal concentrations in mussel *Crenomytilus gaganus* and oyster *Crassostrea gigas* in relation to contamination of ambient sediments // *Environ. Intern.* 2003. 29. P. 493–502.

The State of the Marine Environment: Trends and processes. UNEP/GPA, The Hague, 2006. 43 p.

*Tkalin A.V., Lishavskaya, T. S. and Hills, J. W.* Persistent organic pollutants in mussels and bottom sediments from Peter the Great Bay near Vladivostok // *Ocean Research* 1997. 19. P. 115–119.

*Tkalin A.V., Samsonov D.P., Lishavskaya T.S. and Chernik G.V.* Data on Organochlorine Distributions in the Marine Environment near Vladivostok // *Marine Pollution Bulletin* .2000. Vol. 40. No. 10. P. 879–881.

*Tkalin AV, Presley BJ, Boothe PS.* Spatial and temporal variations of trace metals in bottom sediments of Peter the Great Bay, the Sea of Japan // *Environ. Pollut.* 1996. 92. P. 73–78.