

УДК 502.175

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОД ЗАЛИВА ВОСТОК (ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ЯПОНСКОЕ МОРЕ) ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

© 2012 Е.В. Журавель<sup>1,2</sup>, Н.К. Христофорова<sup>1,3</sup>, О.А. Дроздовская<sup>1</sup>, Т.Н. Токарчук<sup>1</sup><sup>1</sup> Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток<sup>2</sup> Институт биологии моря им. А.В. Жирмунского ДВО РАН<sup>3</sup> Тихоокеанский институт географии ДВО РАН

Поступила в редакцию 09.05.2012

На основе результатов гидрохимических анализов и микробной индикации показано, что в 2008-2009 гг. залив Восток испытывал небольшое антропогенное воздействие, связанное преимущественно с притоком отдыхающих в летний сезон. В то же время близость залива Находка с его крупными торговыми, рыбными и нефтеналивными портами сказалась на заметном загрязнении залива фенолами и углеводородами во все сезоны года.

Ключевые слова: *загрязнение, микробная индикация, нефтяные углеводороды, фенолы, биогены, энтеробактерии*

Большая часть заливов второго порядка, входящих в состав залив Петра Великого Японского моря (Амурский, Уссурийский и Находка) находится под сильным антропогенным прессом. Залив Восток долгое время считался фоновым районом. На его побережье отсутствуют крупные населенные пункты и промышленные предприятия, соответственно залив испытывает минимальную антропогенную нагрузку; в него поступает около 0,1% общего объема сточных вод, сбрасываемых в залив Петра Великого [5]. Единственным «индустриальным» районом является бухта Гайдамак, на побережье которой находятся поселки Южно-Морской и Ливадия, специализирующиеся на добыче и переработке рыбы и других морских биоресурсов. Часть акватории залива Восток, где обитает 687 видов флоры и фауны [1], охраняется Государственным природным комплексным морским заказником «Залив Восток»; на морской биологической станции «Восток» Института биологии моря ДВО РАН, расположенной на берегу этого залива, более 30 лет ведется изучение морской биоты залива Петра Великого. Отнесение залива Восток к фоновому при мониторинге загрязнения вод залива Петра Великого, который проводится более 15 лет, требует регулярного наблюдения за этой

акваторией сравнения, что и выполнялось нами на съемках 2008-2009 гг. Настоящая работа посвящена гидрохимическому и микробиологическому контролю состояния вод залива Восток.

**Материалы и методы.** Съемки проводились в июле и октябре 2008 г., мае и июле 2009 г. Схема станций отбора проб воды приведена на рис. 1. Пробы на гидрохимический анализ отбирали из поверхностного слоя (0,5 м) с помощью батометра, на микробиологический анализ – стерильными пластиковыми шприцами объемом 20 мл. Все пробы анализировали в день отбора. Температуру воды измеряли с помощью электронного термометра Checktemp (HANNA Instruments), соленость воды определяли на электро-солемере ГМ-65М. Гидрохимические показатели (концентрацию растворенного кислорода, биохимическое потребление кислорода БПК<sub>5</sub>, перманганатную окисляемость ПО, содержание неорганического и органического фосфора, аммонийного, нитритного и нитратного азота, анионных поверхностно-активных веществ АПАВ, нефтяных углеводородов НУ, фенолов) определяли с помощью стандартных методов [4, 8, 9]. Классы качества вод определяли по индексу загрязненности воды (ИЗВ), который рассчитывали на основе превышения ПДК для рыбохозяйственных водоемов [6] по 10 выше перечисленным показателям.

Выделение и определение общей численности гетеротрофных микроорганизмов проводили с помощью чашечного метода Коха с использованием питательной среды СММ, адаптированной для морских микроорганизмов [12]. Деструкторов органических загрязняющих веществ из морской воды выделяли на агаризованной среде, содержащей в качестве

*Журавель Елена Владимировна, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, научный сотрудник. E-mail: zhrvl@rambler.ru*

*Христофорова Надежда Константиновна, доктор биологических наук, профессор кафедры экологии*

*Дроздовская Олеся Андреевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры биохимии и микробиологии*

*Токарчук Татьяна Николаевна, кандидат геологических наук, доцент кафедры физической и аналитической химии*

единственного источника углерода: для фенол-резистентных микроорганизмов – фенол в концентрации 1 г/л, для деструкторов нефтяных углеводородов – дизельное топливо и мазут в концентрации 10 г/л. Санитарно-бактериологический анализ морской воды на содержание в

воде энтеробактерий проводили с использованием селективной среды Эндо [7]. Для выявления зависимости микробиологических параметров от гидрохимических вычисляли коэффициент корреляции Спирмена по их средним значениям.



Рис. 1. Расположение станций отбора проб воды

**Результаты и обсуждение.** Судя по результатам гидрохимического анализа, залив Восток в 2008-2009 гг. по-прежнему был мало загрязнен. Содержание органических веществ (по БПК<sub>5</sub> и ПО) не достигало ПДК для рыбо-хозяйственных водоемов, насыщение воды кислородом было оптимальным, концентрации АПАВ также не превышали ПДК и находились на уровне фоновых (рис. 2). По содержанию фосфатов (ниже 50 мкг/л) воды залива относятся к олиготрофным. Лишь в июле 2009 г. после сильных дождей в заливе Восток, как и во всей прибрежной части зал. Петра Великого, концентрации органического фосфора резко возросли, превысив на ст. 1 1000 мкг/л, на остальных станциях находясь в интервале 500-900 мкг/л. Содержание аммонийного, нитритного и нитратного азота в большинстве случаев приближалось к 0 (с небольшим подъемом концентрации аммонийного азота до 14 мкг/л в июле 2008 г., далеко не достигавшим ПДК – 400 мкг/л).

По показателю ИЗВ качество вод в заливе варьировало от II класса в мае до IV класса в июле-октябре 2009 г. (рис. 3). Хотя загрязняющие вещества в заливе были распределены относительно равномерно, тем не менее, на его акватории выделялись зоны, свидетельствующие о большей антропогенной нагрузке. К ним можно отнести куттовую часть залива, где расположены населенные пункты, популярные песчаные пляжи и куда впадают две реки

(Волчанка и Литовка), выносящие стоки от поселков и отдыхающих. Эти наблюдения согласуются с ранее опубликованными данными. Как известно, основной проблемой залива является растущий рекреационный пресс, создаваемый туристами, отдыхающими на побережье с июля по сентябрь [10]. В результате в районах наиболее популярных мест отдыха выявлялись сезонные повышения концентраций органических загрязняющих веществ, биогенов, а также численности энтеробактерий [2, 10].

Согласно показателям ИЗВ, наибольший уровень загрязнения был отмечен в летний сезон 2008 г., к октябрю средний уровень загрязнения снизился, сохранившись только в наиболее мелководной куттовой части залива, куда впадает р. Волчанка (ст. 5). Лето же 2009 г. оказалось очень холодным, с продолжительными дождями, воды не прогрелись даже до 20<sup>0</sup>С (табл. 2), поэтому поток отдыхающих на побережье сократился, что привело к некоторому снижению уровня загрязнения вод (рис. 3). На численности гетеротрофных микроорганизмов также сказывались погодные условия и температура воды. Показана положительная корреляция между температурой воды и численностью КГМ ( $r=0,81$ ) и бактерий группы кишечной палочки (БГКП) ( $r=0,76$ ). В июле 2008 г. при температуре 19,4-22,3<sup>0</sup>С общая численность гетеротрофов достигала 10<sup>7</sup>-10<sup>9</sup> КОЕ/мл (табл. 1). Такие воды относятся к полисапробному типу.

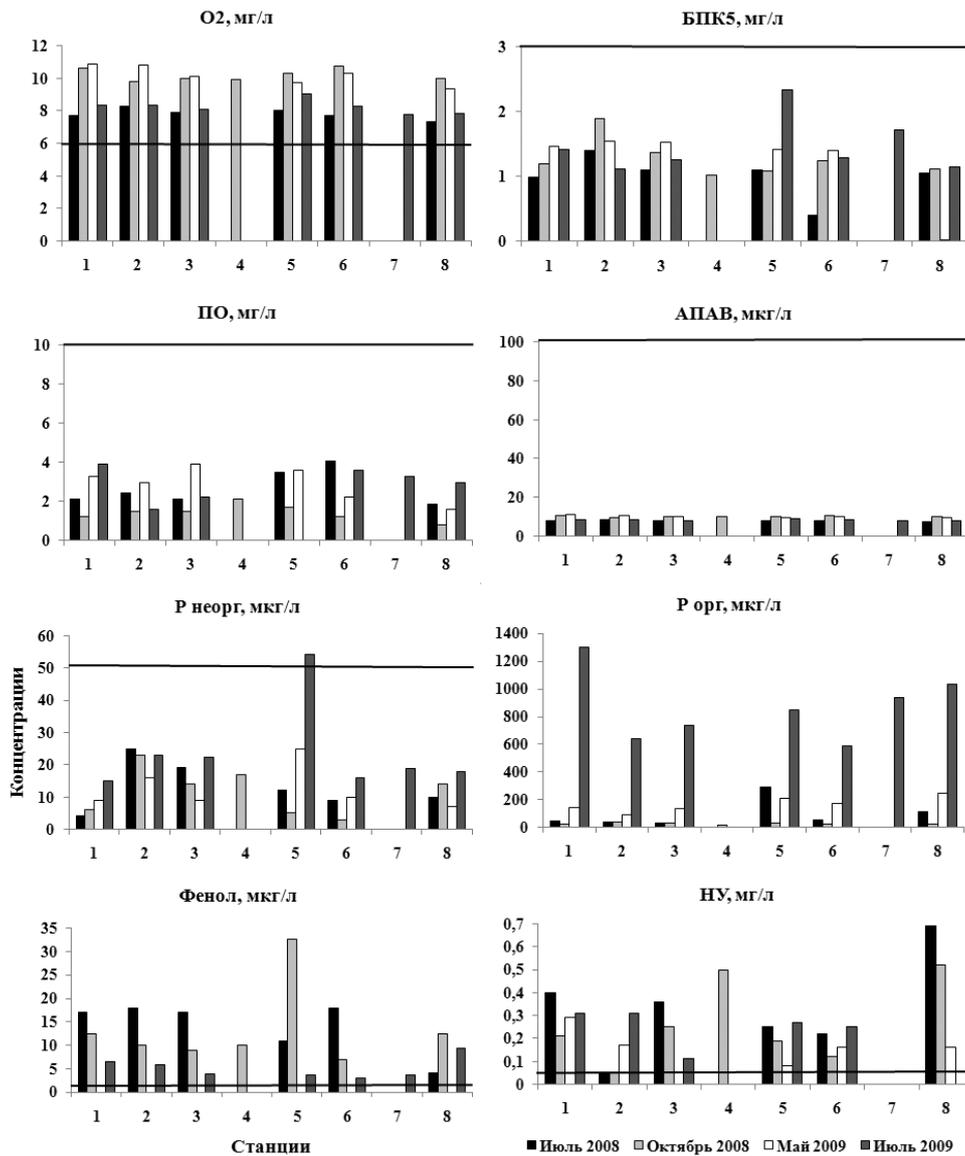


Рис. 2. Гидрохимические показатели и содержание загрязняющих веществ в водах залива Восток. Линией показаны уровни ПДК для рыбохозяйственных водоемов

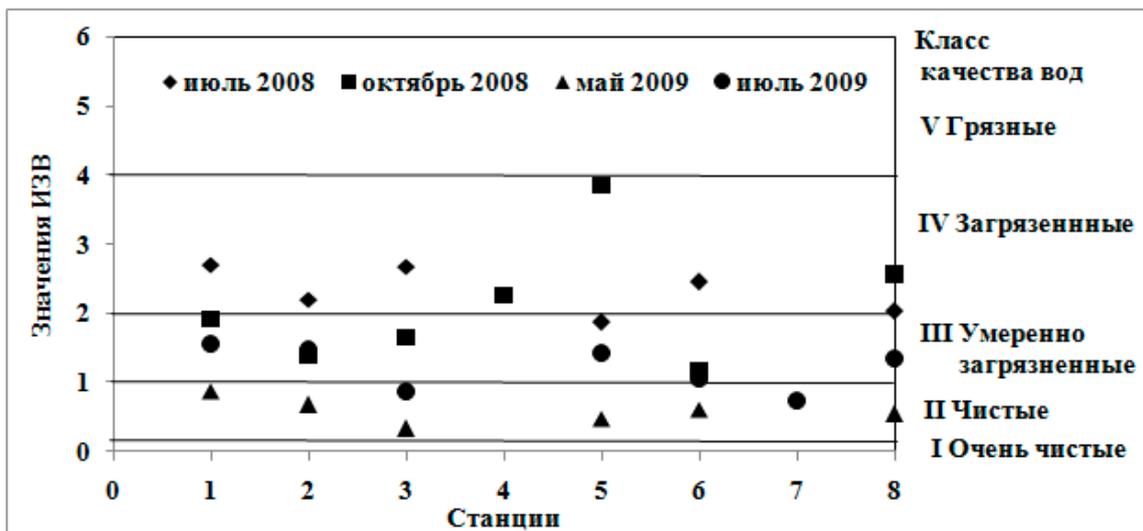


Рис. 3. Изменение интегрального показателя ИЗВ в 2008-2009 гг.

**Таблица 1.** Общая численность (КОЕ/мл) гетеротрофных микроорганизмов в поверхностных водах залива Восток

№ ст.	Эколого-трофические группы				
	КГМ	ФД	ДМ	ДТ	БГКП
июль 2008					
1.	$(4,60 \pm 0,72) \cdot 10^8$	$(1,04 \pm 0,32) \cdot 10^3$	$(1,70 \pm 0,18) \cdot 10^6$	$(4,67 \pm 0,52) \cdot 10^3$	$(1,70 \pm 0,09) \cdot 10^3$
2.	$(2,40 \pm 0,50) \cdot 10^9$	$(8,80 \pm 0,37) \cdot 10^2$	$(6,66 \pm 0,2) \cdot 10^5$	$(4,90 \pm 0,67) \cdot 10^4$	$(1,20 \pm 0,06) \cdot 10^3$
3.	$(4,00 \pm 0,29) \cdot 10^7$	$(3,68 \pm 0,45) \cdot 10^3$	$(9,90 \pm 0,98) \cdot 10^4$	$(6,50 \pm 0,58) \cdot 10^4$	$(1,60 \pm 0,18) \cdot 10^3$
4.	$(1,30 \pm 0,16) \cdot 10^8$	$(6,72 \pm 0,66) \cdot 10^3$	$(2,00 \pm 0,19) \cdot 10^4$	$(7,67 \pm 0,48) \cdot 10^4$	$(5,00 \pm 0,14) \cdot 10^3$
октябрь 2008					
1.	$(1,40 \pm 0,28) \cdot 10^3$	$(2,64 \pm 0,65) \cdot 10^3$	$(3,40 \pm 0,50) \cdot 10^3$	$(2,50 \pm 0,42) \cdot 10^3$	0
2.	$(4,21 \pm 0,44) \cdot 10^4$	$(8,12 \pm 0,88) \cdot 10^3$	$(2,50 \pm 0,32) \cdot 10^3$	$(1,60 \pm 0,14) \cdot 10^4$	0
3.	$(2,57 \pm 0,10) \cdot 10^5$	$(1,31 \pm 0,31) \cdot 10^4$	$(4,00 \pm 0,25) \cdot 10^4$	$(4,60 \pm 0,44) \cdot 10^4$	0
4.	$(8,50 \pm 0,42) \cdot 10^4$	$(2,24 \pm 0,24) \cdot 10^3$	$(6,00 \pm 0,32) \cdot 10^3$	$(4,80 \pm 0,50) \cdot 10^3$	0
май 2009					
1.	$(1,30 \pm 0,42) \cdot 10^4$	$(2,60 \pm 0,34) \cdot 10^2$	$(6,00 \pm 0,58) \cdot 10^4$	$(2,00 \pm 0,42) \cdot 10^2$	0
2.	$(6,00 \pm 0,03) \cdot 10^3$	$(5,00 \pm 0,14) \cdot 10^1$	$(2,00 \pm 0,37) \cdot 10^2$	$(8,40 \pm 0,62) \cdot 10^1$	0
3.	$(5,00 \pm 0,56) \cdot 10^3$	$(9,60 \pm 0,56) \cdot 10^3$	$(8,40 \pm 0,56) \cdot 10^3$	$(1,10 \pm 0,28) \cdot 10^3$	$(2,00 \pm 0,49) \cdot 10^1$
4.	$(8,00 \pm 0,31) \cdot 10^3$	$(6,00 \pm 0,89) \cdot 10^1$	$(1,24 \pm 0,06) \cdot 10^2$	$(2,80 \pm 0,28) \cdot 10^2$	0
июль 2009					
1.	$(1,04 \pm 0,19) \cdot 10^7$	$(2,50 \pm 0,56) \cdot 10^2$	$(3,40 \pm 0,42) \cdot 10^4$	$(1,60 \pm 0,35) \cdot 10^4$	$(2,20 \pm 0,34) \cdot 10^2$
2.	$(3,20 \pm 0,20) \cdot 10^6$	$(1,48 \pm 0,39) \cdot 10^3$	$(1,30 \pm 0,23) \cdot 10^3$	$(4,91 \pm 0,01) \cdot 10^4$	$(3,27 \pm 0,24) \cdot 10^3$
3.	$(1,70 \pm 0,32) \cdot 10^5$	$(1,60 \pm 0,34) \cdot 10^3$	$(2,24 \pm 0,36) \cdot 10^4$	$(1,09 \pm 0,13) \cdot 10^4$	$(1,50 \pm 0,34) \cdot 10^2$
4.	$(3,00 \pm 0,26) \cdot 10^5$	$(3,00 \pm 0,42) \cdot 10^1$	$(2,00 \pm 0,26) \cdot 10^4$	$(3,06 \pm 0,34) \cdot 10^4$	$(2,06 \pm 0,23) \cdot 10^3$
5.	$(1,80 \pm 0,28) \cdot 10^6$	$(4,30 \pm 0,45) \cdot 10^3$	$(1,00 \pm 0,31) \cdot 10^4$	$(1,20 \pm 0,20) \cdot 10^4$	$(7,60 \pm 0,56) \cdot 10^2$

*Примечание:* КГМ – колониеобразующие гетеротрофные микроорганизмы; ФД – фенолдеструкторы; ДМ – деструкторы мазута; ДТ – деструкторы дизельного топлива; БГКП – бактерии группы кишечной палочки; (-) – исследование не проводилось

В условиях холодного лета 2009 г., когда температура воды в среднем была на 5-6°C ниже, чем в 2008 г. (табл. 2), наблюдалось снижение общей численности бактерий в среднем на 2 порядка. Кроме того, в июле 2009 г. в воде не была обнаружена *Escherichia coli*, тогда как летом 2008 г. кишечная палочка была выявлена на станциях 3 и 4. Энтеробактерии регистрировались в заливе только в летний сезон, что вполне закономерно, так как в этот период возрастает рекреационная нагрузка на залив. Численность БГКП на всех станциях составляла  $10^2$ - $10^3$  КОЕ/мл, что значительно превышает ПДК. К осени антропогенный пресс на залив ослабевает, и воды переходят в категорию «чистые». Эти данные согласуются с результатами химической оценки уровня загрязнения вод (рис. 2).

С помощью микробной индикации нами был выявлен низкий уровень загрязнения вод

залива нефтепродуктами. Значения численности бактерий, устойчивых к мазуту и дизельному топливу на всех станциях колебались в пределах  $10^2$ - $10^4$  КОЕ/мл (табл. 1). Такая численность нефтеокисляющих микроорганизмов обычно регистрируется при относительно низких концентрациях (в пределах 1-3 ПДК) нефтеуглеводородов в воде [3]. Однако по гидрохимическим данным концентрации нефтяных углеводородов на всех станциях значительно превышали допустимый уровень (рис. 2). Особенно заметным это превышение было на ст. 8 – у входного в залив Восток м. Подосенова. Можно думать, что повышенные концентрации углеводородов обусловлены как движением рыболовецких и маломерных судов, так и притоком вод, приносимых течением с востока, из залива Находка, выделяющегося активным судоходством и наличием двух нефтепортов [11].

**Таблица 2.** Величины солености и температуры воды из залива Восток

Станции	Сезоны							
	июль 2008		октябрь 2008		май 2009		июль 2009	
	T, °C	S, ‰	T, °C	S, ‰	T, °C	S, ‰	T, °C	S, ‰
1, м. Пещурова	21,4	32,73	9,5	32,92	8,8	32,52	17,5	30,88
2, б. Гаюдамак	21,8	31,13	9,8	31,60	9,9	31,99	19,5	28,84
3, б. Средняя	22,3	31,03	9,8	31,51	12,2	30,51	18,1	29,28
4, предустье р. Волчанка	-	-	9,7	30,58	-	-	-	-
5, кут залива	21,2	26,1	9,7	32,43	12,2	19,55	18,7	26,16
6, центр залива	21,4	31,58	9,3	33,66	10,5	31,81	18,5	30,7
7, м. Елизарова	-	-	-	-	-	-	15,7	30,99
8, м. Подосенова	19,4	33,17	9,7	33,85	9,1	32,56	17	30,7

*Примечание:* «-» – нет данных

В структуре микробного сообщества залива были обнаружены фенолрезистентные бактерии, численность которых в среднем составляла  $10^2$ - $10^3$  КОЕ/мл, что свидетельствует о значительном фенольном загрязнении. Действительно, содержание фенола в воде на всех станциях на несколько порядков превышало ПДК (рис. 3). Выявлена положительная корреляция между содержанием фенолов в воде и численностью фенолрезистентных микроорганизмов ( $r=0,51$ ). Максимальные значения численности микроорганизмов этой группы регистрировались в кутовой части залива, куда впадает р. Волчанка. Загрязнение водного бассейна фенолами в данном случае может быть следствием как опосредованного (нефтяного), так и прямого (фекальные стиролы, пестициды, фенолы растительного происхождения) влияния. Сезонные колебания численности фенолрезистентных и нефтеокисляющих бактерий были незначительными, что говорит и об эвритермности бактерий данных групп, и постоянстве притока органических загрязняющих веществ.

**Выводы:** залив Восток по-прежнему испытывает небольшую антропогенную нагрузку. Загрязнение энтеробактериями и гетеротрофными микроорганизмами носит ярко выраженный сезонный характер, их численность максимальна летом. В то же время во все сезоны года наблюдается загрязнение вод залива фенолами и нефтяными углеводородами, превышающее ПДК фенолов в 10-30 раз, нефтеуглеводородов – в 2-12 раз.

Исследование выполнено при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» ГК № 02.740.11.0678.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Вышкварцев, Д.И. О недопустимости строительства нефтеперерабатывающего завода в заливе Восток (Японское море) // Вестник ДВО РАН. 2010. № 1. С. 85-95.
2. Гальшева, Ю.А. Биологические последствия органического загрязнения прибрежных морских экосистем российской части Японского моря // Известия ТИНРО. 2009. Т. 158. С. 209-227.
3. Дмитриева, Г.Ю. Планктонные и эпифитные микроорганизмы: индикация и стабилизация состояния прибрежных морских экосистем. Автореф. дисс....докт. биол. наук. – Владивосток: Изд-во ДВГУ. 1999. 47 с.
4. Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов. – М.: ВНИРО, 1988. 119 с.
5. Огородникова, А.А. Эколого-экономическая оценка воздействия береговых источников загрязнения на природную среду и биоресурсы залива Петра Великого. – Владивосток: ТИНРО, 2001. 193 с.
6. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. – М.: Изд-во ВНИРО, 1999. 304 с.
7. Руководство к практическим занятиям по микробиологии: Практ. Пособие / Под ред. Н.С. Егорова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. 215 с.
8. Руководство по химическому анализу морских вод. – СПб.: Гидрометеоздат, 1993. 263 с.
9. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. – М.: ВНИРО, 2003. С. 60-98.
10. Христофорова, Н.К. Рекреационное воздействие на залив Восток (Японское море) / Н.К. Христофорова, Е.В. Журавель, Ю.А. Миронова // Биол. моря. 2002. Т. 28. № 4. С. 300-303.
11. Христофорова, Н.К. Тяжелые металлы в донных осадках залива Восток (Японское море) / Н.К. Христофорова, Ю.А. Наумов, И.С. Арзамасцев // Известия ТИНРО. 2004. Т. 136. С. 278-289.
12. Youchimizu, M. Study of intestinal microflora of Salmonids / M. Youchimizu, T. Kimura // Fish. Pathol. 1976. Vol. 10, № 2. P. 243.

## ESTIMATION THE WATER STATE OF VOSTOK GULF (PETER THE GREAT BAY, JAPAN SEA) ON HYDROCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PARAMETERS

© 2012 E.V. Zhuravel<sup>1,2</sup>, N.K. Khristoforova<sup>1,3</sup>, O.A. Drozdovskaya<sup>1</sup>, T.N. Tokarchuk<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Far East Federal University, Vladivostok

<sup>2</sup> Institute of Marine Biology named after A.V. Zhirmunskiy FEB RAS

<sup>3</sup> Pacific Institute of Geography FEB RAS

On the basis of hydrochemical analyses and microbial indication results it is shown that in 2008-2009 Vostok gulf tested the small anthropogenous influence connected mainly with inflow of vacationers during a summer season. At the same time the proximity of Nokhodka gulf with its large trading, fish and bulk-oil ports affected apparent pollution of the gulf by phenols and petrohydrocarbons during all seasons of year.

Key words: *pollution, microbial indication, oil hydrocarbons, phenols, biogens, enterobacterium*

Elena Zhuravel, Candidate of Biology, Associate Professor at the Ecology Department, Research Fellow.  
E-mail: zhrvl@rambler.ru

Nadezhda Khristoforova, Doctor of Biology, Professor at the Ecology Department

Olesya Drozdovskaya, Candidate of Biology, Associate Professor at the Biochemistry and Microbiology Department

Tatiana Tokarchuk, Candidate of Geology, Associate Professor at the Department of Physical and Analytical Chemistry