

РАЗДЕЛ II. БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 574.589:504.5(265.52)

Н.Г. Ключкова¹, А.В. Климова¹, С.О. Очеретяна¹,
А.Э. Кусиди², Е.В. Касперович³

¹Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003;

²Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский, 603000;

³Камчатская дирекция по техническому обеспечению надзора на море,
Петропавловск-Камчатский, 683031
e-mail: ninakl@mail.ru

**ВОЗДЕЙСТВИЕ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
НА СОСТОЯНИЕ МАКРОБЕНТОСА В БУХТЕ РАКОВАЯ
(АВАЧИНСКАЯ ГУБА, ЮГО-ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА)**

Бухта Раковая расположена во внутренней части Авачинской губы. Ее конфигурация, гидрологический режим и береговая инфраструктура способствуют накоплению здесь загрязняющих веществ, оказывающих негативное воздействие на ее экологическое состояние. В работе обсуждаются данные по загрязненности тяжелыми металлами, фенолами и нефтепродуктами водной среды, мягких грунтов и гидробионтов. Изученный материал был собран в ходе проведения гидробиологических исследований в 2009 г. в пяти районах, подверженных наибольшему хозяйственно-бытовому и промышленному загрязнению. Пробы для химических анализов отбирались в местах бункеровки судов и перевалки нефтепродуктов. Анализ полученных данных показал, что многолетнее комплексное загрязнение привело к уничтожению исходных бентосных и интерстициальных сообществ. Оставшиеся в бух. Раковая поли- и гиперсапробные виды характеризуются крайним физиологическим угнетением и резким снижением продукционных характеристик. Сделан вывод о том, что бухта уже давно не справляется с поступающим в нее загрязнением и ныне сама является источником загрязнения акватории Авачинской губы и атмосферного воздуха г. Петропавловска-Камчатского.

Ключевые слова: антропогенное воздействие, нефтяное загрязнение, тяжелые металлы, бентос, ламинариевые, зеленые макроводоросли, Камчатка, Авачинская губа, бухта Раковая.

N.G. Klochkova¹, A.V. Klimova¹, S.O. Ocheretyana¹, A.E. Kusidi², E.V. Kasperovich³ (¹Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatski, 683003; ²Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683000; ³Federal state organization «Kamchatka's directorate for technical supply of sea supervision», Petropavlovsk-Kamchatsky, 683031) **Influence of the antropogenous pollution on Rakovaya bay benthic communities (Avacha bay, south-eastern Kamchatka)**

Rakovaya bay is located in the inner part of the Avacha bay. Its configuration, hydrological regime and coastal infrastructure contribute to the accumulation of pollutants which have negative effect on its ecological condition. The data on contamination of water, soft ground and aquatic organisms with heavy metals, phenols and oil products are discussed in the research. The material under analysis was gathered during the course of hydrobiological investigations conducted in 2009 in 5 districts prone to greater domestic and industrial pollution. Samples for chemical analysis were taken at the areas for vessel bunkering and transshipment of oil products. Analysis of obtained data showed that multi-year integrated contamination destroyed the original benthic and interstitial communities. Hypersaprobionts remaining in the Rakovaya bay are characterized by extreme physiological inhibition and sharp deterioration of production capabilities. It is concluded that the bay has long been incapable of withstanding growing levels of pollution and now itself is the source of pollution of the Avacha bay offshore zone and air in Petropavlovsk-Kamchatsky.

Key words: antropogenous influence, oil pollution, heavy metals, benthos, Laminariales, green macroalgae, Kamchatka, Avacha bay, Rakovaya bay.

DOI: 10.17217/2079-0333-2016-35-53-64

Введение

Авачинская губа – одна из наиболее крупных бухт восточного побережья Камчатки. В настоящее время она – одна из наиболее загрязненных на российском Дальнем Востоке. Большое рыбохозяйственное значение бухты определяет интерес к изучению ее экологического состояния под воздействием антропогенных факторов, характеризующихся большим разнообразием. Особое место среди них занимает воздействие на акваторию производственной деятельности береговых предприятий.

В электроэнергетике Камчатского региона используются большие объемы привозного углеводородного топлива. Оно доставляется сюда с материка морским транспортом и выгружается в Авачинской губе в местах бункеровок судов и перекачки нефтепродуктов на берег. Эти места расположены в разных районах ее побережья, в том числе в прибрежье бух. Раковая, операции с нефтепродуктами осуществляют ООО «Экология», ОАО «Камчатскэнерго», ГУП «Камчатсккомунэнерго», ООО «Нефтесервис», ООО «Транссервис». Между ними в бух. Раковая располагаются другие промышленные предприятия, судоверфь, причалы и стоянки судов. Прилежащая к берегам бухты территория является зоной жилой застройки. Все промышленные и хозяйственно-бытовые стоки сбрасываются в бух. Раковая практически без очистки и загрязняют ее канализационными водами, нефтепродуктами, фенолами, тяжелыми металлами и другими поллютантами.

Первое описание макробентоса Авачинской губы, в том числе и обсуждаемой нами бух. Раковая, приводится в статье участника Камчатской экспедиции Ф.Б. Рябушинского П.В. Савича [1], совершившего в мае 1909 г. ее альгологический объезд. Согласно приведенному им описанию здесь по всему побережью бухты был развит богатый по видовому составу и структуре сообществ растительный покров. В литоральной зоне шельфа основным доминантом сообществ был *Fucus*, в сублиторали существовал широкий пояс ламинариевых водорослей. В куту безраздельно господствовала морская трава *Zostera marina*.

Сведения о состоянии макробентоса Авачинской губы и его отдельных компонентов в середине и конце прошлого века можно найти в работах К.А. Виноградова [2], В.В. Ошуркова с соавторами [3], А.Н. Буяновского [4], Е.А. Иванюшиной [5], Е.А. Архиповой [6] и других авторов. В новом тысячелетии об экологическом состоянии Авачинской губы писали Н.Г. Ключкова, В.А. Березовская [7], В.А. Березовская [8], Т.Н. Королева [9], Л.Н. Саушкина [10, 11], А.В. Климова с соавторами [12] и другие авторы.

После работ, выполненных под руководством В.В. Ошуркова, планомерные бентосные съемки в Авачинской губе не проводились, однако продолжалось изучение отдельных групп организмов, и в научной литературе появлялись работы, содержащие сведения о влиянии загрязнения на живые организмы, их сообщества и популяции и о накоплении у отдельных гидробионтов, в основном водорослей, таких поллютантов, как тяжелые металлы, нефтепродукты и фенолы [12–15]. В 2009 г. авторы провели комплексное изучение экологического состояния Авачинской губы в местах бункеровок флота. В бух. Раковая были обследованы пять таких районов. Описание их экологического состояния приводится ниже.

Материалы и методы

Гидробиологические исследования в бух. Раковая проводили в разные годы в ходе пеших маршрутов вдоль участков берега, не занятых производственной застройкой. Пробы воды, грунта, водорослей и двусторчатых моллюсков для химических анализов отбирали у причальных сооружений, принадлежащих указанным выше предприятиям ООО «Экология» (м. Санникова), ОАО «Камчатскэнерго» (район ТЭЦ), ГУП «Камчатсккомунэнерго» (бух. Ильичева), ООО «Нефтесервис» (район судоверфи), ООО «Транссервис» (бух. Бабыя). Карта-схема бух. Раковая и места отбора проб показаны на рис. 1.



Рис. 1. Места проведения исследований: а – бух. Раковая (белые круги – места отбора проб); б – участок побережья у м. Санникова, причал ООО «Экология», в – район ТЭЦ, причальные сооружения ОАО «Камчатскэнерго»; г – бухта Ильичева, причальное сооружение ГУП «Камчатсккоммунэнерго»; д – район судовой верфи, причальное сооружение ООО «Нефтесервис»; е – бух. Бабыя, причальное сооружение ООО «Транссервис»

В ходе отбора проб для химических анализов оценивали общую экологическую обстановку района исследования по таким показателям, как мутность воды, наличие нефтяных пленок, запаха, плавающего антропогенного мусора, захламление дна. Для определения содержания загрязняющих веществ в водной среде из ее верхнего слоя на глубинах 80–100 см водолаз брал пробы воды. Пробы мягкого грунта были взяты с помощью пробоотборника (рис. 2, а) на глубине 5 м у м. Санникова, 12 м в бух. Ильичева, 13,5 м у причала ТЭЦ, 11 м у судовой верфи, 13 м в бух. Бабыя.



Рис. 2. Пробоотборник, наполненный донным грунтом (а, б), керн, выдавленный из пробоотборника (в); содержащаяся в пробе интерстициальная фауна полихет и моллюсков (г)

В ходе анализа проб воды и грунта определяли содержание в них нефтепродуктов, фенолов, тяжелых металлов: меди (Cu), цинка (Zn), свинца (Pb), никеля (Ni), кадмия (Cd). Для воды были определены также показатели БПК/5 и ХПК. Литоральные пробы макробентоса авторы собирали обычно во время сизигийных отливов, сублиторальные с помощью водолаза. Разборку проб проводили в лаборатории морских биоресурсов КамчатГТУ. Для определения содержания у живых организмов загрязняющих веществ были выбраны массовые виды водорослей, обнаруженные в местах взятия проб и двусторчатый моллюск *Mytilus trossulus*. Смешанные пробы ламинариевых водорослей составляли из фрагментов слоевищ нескольких растений. Пробы зеленых водорослей состояли из нескольких видов, поскольку разделить их было невозможно. У *M. trossulus* анализировали только мягкие ткани. Для подготовки одной пробы использовали не менее 50 особей моллюска. Химический анализ проб был выполнен в аккредитованной лаборатории ОАО «Камчатгеология».

О состоянии популяций ламинариевых водорослей судили по возрастной структуре и средним морфометрическим показателям их разновозрастных представителей, о состоянии моллюсков – по их размерным показателям, толщине раковин и обводненности внутренних тканей, которую оценивали визуально как низкую, среднюю и высокую. Беспозвоночных животных, встречавшихся в пробах грунта, определяли до типа, реже до группы более низкого таксономического уровня. Отметим, что все пробы воды, грунта и морских организмов, использовавшиеся для химических анализов, были собраны в ноябре 2009 г. при температуре воды 4°C.

Результаты и обсуждение

Разные районы бух. Раковая испытывают различную антропогенную нагрузку. В прибрежной зоне, примыкающей к м. Санникова, расположены причальные сооружения, на одном из которых осуществляется бункеровка судов предприятием ООО «Экология». На берегу располагаются емкости для хранения нефтепродуктов. В непосредственной близости находится самое большое в Авачинской губе кладбище затонувших кораблей. Для места разгрузки нефтепродуктов характерно высокое загрязнение грунта нефтепродуктами в радиусе более 50–70 м. Вода у м. Санникова постоянно обновляется приливными течениями, поступающими во время прилива из соседних более чистых районов, несмотря на это, для данного участка берега характерно присутствие нефтяных пленок (табл. 1).

Таблица 1

Общее экологическое состояние* районов исследования

Район	Цветение планктона	Нефтяные пленки	Пена	Запах	Плавающий мусор	Захламление дна	Загрязнение пляжной зоны
Район м. Санникова	++	++	–	нет	+	+ (металлолом, антропогенный мусор**)	+
Район ОАО «Камчатскэнерго»	+++	+++	+	есть	++	+++ (металлоломом, антропогенный мусор)	+
Район ГУП «Камчатск-коммунэнерго»	–	++	–	нет	+	– (металлоломом), + (антропогенный мусор)	+
Район ООО «Нефтесервис»	++	+++	++	есть	+++	+++ (металлоломом), +++ (антропогенный мусор)	+
Район ООО «Транссервис»	++	+++	+++	Есть, очень сильный	+++	+++ (металлоломом), +++ (антропогенный мусор)	+

* (+) – мало, (++) – много, (+++) очень много, (–) – отсутствует

** Крупногабаритные предметы антропогенного происхождения: бутылки, покрышки автомобилей и др.

Район побережья, прилегающий к ТЭЦ, где находятся причальные сооружения ОАО «Камчатскэнерго», находится достаточно близко к выходу из бухты, поэтому там еще хорошо выра-

жено действие ветров и волн. Во время приливов к причалам ОАО «Камчатскэнерго» могут поступать более чистые воды из соседних районов Авачинской губы. Этот участок побережья бух. Раковая начал испытывать антропогенное воздействие раньше, чем большинство других прибрежных районов Авачинской губы, поскольку именно отсюда в позапрошлом веке началась городская застройка. С появлением на его берегах промышленных предприятий, и в первую очередь ТЭЦ, разнообразие поллютантов только увеличилось. Наряду с обычными видами загрязнений здесь в течение многих лет присутствует тепловое загрязнение. Отчасти, особенно в холодную половину года, оно благоприятно для процессов химического окисления и развития фито-, мезо- и бактериопланктона, но в целом оно негативно влияет на протекание жизненных циклов гидробионтов, регулируемых, как известно, температурой окружающей среды, и приводит к изменению видового состава и структуры биоты. Загрязнение этого участка бух. Раковая характеризуется как многолетнее хроническое. При отсутствии волнения здесь постоянно присутствуют нефтяные пленки, минеральная и органическая взвесь, пена, смешанная со свободно плавающими сине-зелеными и зелеными водорослями (см. табл. 1). Оседая на обнажающееся во время отлива дно, она покрывает обитателей литорали.

В следующем районе исследования, расположенном в бух. Ильичева, находится стоянка военных кораблей, причал ГУП «Камчатсккоммунэнерго». Эта бухта не подвержена активному воздействию приливных вод. Ее берега приглубые, сложены каменисто-щебенчатыми грунтами (см. рис. 1). Нефтяные пленки на поверхности воды здесь отсутствовали. Собранные на глубине пробы грунта и гидробионтов не имели сероводородного запаха. Все это – свидетельство относительно благополучного состояния бухты.

Следующий район проведения сбора проб характеризуется слабой прибойностью. Приток приливных вод сюда ограничен. Вдоль этого участка берега размещены промышленные предприятия, плавмастерские и судовой верфь, к самому берегу подходит крупный жилой массив. На судовой верфи производится ремонт судов, зачищается подводная часть их корпусов от обрастаний. Окрашивают суда красками, в состав которых, как известно, добавляют соли тяжелых металлов, ингибирующих развитие осевших личинок беспозвоночных, спор и гамет водорослей. Металлическое загрязнение района усиливают проводимые здесь сварочные работы. О негативном антропогенном воздействии на прибрежную экосистему свидетельствует огромное количество мусора, плавающего на поверхности воды и скопившегося на дне (рис. 3, табл. 1).



Рис. 3. Внутренняя часть бух. Раковая, в районе Петропавловской судовой верфи. Видно большое количество плавающего антропогенного мусора

Испарению с поверхности воды легких фракций нефти, постоянно присутствующих в этом районе бух. Раковая, способствуют активное движение воздуха и его высокая температура. Известно, что при благоприятном сочетании этих факторов и температуре свыше 20°C с поверхности воды за первые сутки может испаряться до 80% технического бензина, 22% керосина, около 0,3% мазута. Растворенная в воде нефть сохраняется дольше. Частично ее поглощает планктон.

Налипая на частицы взвешенной органики, она вместе с тяжелой битумной фракцией оседает на дно. В бух. Раковая, судя по нашим наблюдениям, в теплые безветренные дни, даже в холодную половину года воздух постоянно имеет более или менее выраженный фенольный запах и запах канализационных вод.

Бухта Бабыя расположена в кутовой части бух. Раковая. Она самая грязная из всех районов исследования. Здесь вдоль большей части побережья отсутствуют даже самые устойчивые к загрязнению литоральные зеленые водоросли. В соответствии с классификацией биоморфических типов морских побережий бух. Бабыя относится к лагунному типу морского побережья, для которого характерны небольшие глубины, слабый водообмен, низкие прибойность и соленость [16]. В прежние годы в бухте повсеместно произрастала морская трава *Zostera marina*, но к началу 90-х гг. она здесь уже исчезла [7].

Самоочищению морских акваторий способствуют химическое окисление и потребление органики гидробионтами. Среди последних велика роль организмов, населяющих верхние слои мягких грунтов. Обычно это несовершенные грибы, инфузории, фораминиферы, нематоды, малощетинковые и многощетинковые черви, зарывающиеся моллюски. Однако на большей площади дна в бух. Бабыя из-за сильного загрязнения грунтов, высокой концентрации в придонном слое сероводорода они не были обнаружены.

Для оценки загрязнения воды в разных районах исследования определяли концентрации тяжелых металлов, фенолов, нефтепродуктов, а также БПК/5 и ХПК. Данные, представленные в табл. 2, показывают, что у м. Санникова, благодаря активному водообмену, вода, судя по значению ХПК, в достаточной мере насыщена кислородом. Содержание в воде разных районов тяжелых металлов, как это видно из той же табл. 2, одинаковое, чего нельзя сказать об уровне ее загрязнения нефтепродуктами и фенолами и о значениях гидрохимических показателей. Так, характеристики воды в бух. Ильичева выгодно отличаются от таковых в расположенных напротив районах с более низкой концентрацией нефтепродуктов и более высокими показателями БПК/5 и ХПК, свидетельствующими о более активном протекании здесь процессов окисления и минерализации органики.

Таблица 2

Гидрохимические показатели и содержание загрязняющих веществ в морской воде, в районах исследования

Район	Гидрохимические показатели		Тяжелые металлы					Органические загрязнители		
	БПК/5, мг/л О	ХПК, мг/л О	Cu, мг/л	Zn, мг/л	Pb, мг/л	Ni, мг/л	Cd, мг/л	ПАВ, мг/л	Нефтепродукты (раствор), мг/л	Фенолы летучие (суммарно), мг/л
Район ООО «Экология»	9,4 ± 1,2	295 ± 115	<0,01	<0,5	<0,01	<0,05	<0,001	<0,025	0,07 ± 0,03	0,006 ± 0,003
Район ОАО «Камчатскэнерго»	11 ± 1	887 ± 346	<0,01	<0,5	<0,01	<0,05	<0,001	<0,025	0,25 ± 0,12	<0,005
Район ГУП «Камчатсккоммуэнерго»	23 ± 3	525 ± 205	<0,01	<0,5	<0,01	<0,05	<0,001	<0,025	0,025 ± 0,12	<0,005
Район ООО «Нефтесервис»	5 ± 1,3	185 ± 72	<0,01	<0,5	<0,01	<0,05	<0,001	<0,025	0,07 ± 0,03	0,013 ± 0,007
Район ООО «Транссервис»	6,5 ± 0,8	235 ± 92	<0,01	<0,5	<0,01	<0,05	0,001 ±	<0,025	0,09 ± 0,04	0,006 ± 0,003

Самой грязной среди районов исследования, как того и следовало ожидать, оказалась вода во внутренней части бух. Раковая. Из-за высокого содержания в ней нефтепродуктов, фенолов и других органических загрязнителей и слабого водообмена уровень биологического и химического потребления кислорода здесь невысок. Ухудшению состояния воды способствует, кроме того, сильное загрязнение грунтов внутренних мелководных районов бух. Раковая, прежде всего нефтепродуктами. Они пропитывают грунты на большую глубину – 1 м и более. В изученных пробах грунта можно более или менее отчетливо выделить два или три слоя, имеющих разный гранулометрический состав. Виды интерстициальной фауны и их количественные соотношения в каждом из них были разными. Среди беспозвоночных в пробах обычно встречались моллюски,

полихеты или их мертвые остатки, смешанные с крошечком домиков усоногих раков. В пробах грунта, отобранных непосредственно в местах бункеровок судов, живые гидробионты отсутствовали, а макробентос был представлен ювенилами ламинариевых, актиниями, митилусами, морскими блюдечками и редко другими беспозвоночными.

В сложном комплексном процессе самоочищения морских вод от нефтяного загрязнения ведущее положение, как это было отмечено выше, занимает биологический фактор, решающую роль в котором играют нефтеокисляющие микроорганизмы [17]. В результате их деятельности происходит трансформация нефтяного загрязнения до простых соединений. В Авачинской губе из-за низких среднегодовых температур воды и воздуха деятельность нефтеокисляющих бактерий выражена крайне слабо, поэтому вода бух. Раковая остается постоянно загрязненной.

Донные грунты в разных обследованных местах характеризуются достаточно однообразным гранулометрическим составом. Это практически всегда смесь мелкозернистого песка с детритом. Они, судя по результатам изучения содержания в них интерстициальной фауны, безжизненны и включают лишь остатки самых политакобных представителей донной фауны – баянусов и мидий. Кроме их остатков в пробах грунта много других органических примесей, на всю толщину они пропитаны нефтепродуктами, особенно в верхнем слое. При погружении грунта в воду на ее поверхности появлялась нефтяная пленка. Это свидетельствует о содержании в их составе легких фракций нефтепродуктов. Они поступают туда при регулярных протечках и разливах нефтепродуктов. О загрязненности тяжелыми металлами, нефтепродуктами и фенолами грунтов в разных районах бух. Раковая можно судить по данным, приведенным в табл. 3.

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов и органических загрязнителей в пробах грунта, собранных в районах исследования

Район	Тяжелые металлы					Органические загрязнители	
	Cu, мг/л	Zn, мг/л	Pb, мг/л	Ni, мг/л	Cd, мг/л	Нефтепродукты (раствор), мг/л	Фенолы летучие (суммарно), мг/л
Район м. Санникова	243 ± 48	447 ± 89	241 ± 120	3,5 ± 0,9	2,37 ± 0,59	14430 ± 1443	<0,5
Район ОАО «Камчатскэнерго»	140 ± 28	136 ± 27	40 ± 20	36 ± 9	1,53 ± 0,38	8920 ± 892	<0,5
Район ГУП «Камчатсккоммунэнерго»	1,3 ± 0,3	14,0 ± 2,8	0,52 ± 0,26	1,2 ± 0,3	<1,0	210 ± 52	0,65 ± 0,32
Район ООО «Нефтесервис»	174 ± 35	182 ± 36	56 ± 28	52 ± 13	1,51 ± 0,38	3180 ± 318	<0,5
Район ООО «Транссервис»	217 ± 43	363 ± 72	157 ± 31	33 ± 8	1,07 ± 0,27	7610 ± 761	<0,5

Они показывают, что самые загрязненные грунты у м. Санникова, где четыре из пяти проанализированных металлов: медь, цинк, свинец, кадмий – имеют самые высокие концентрации. По сравнению с внутренними районами бух. Раковая здесь в меньшей концентрации встречается только никель. Источниками поступления тяжелых металлов в бух. Раковая являются атмосферные осадки, сточные воды промышленных предприятий и коммунального хозяйства, продукты сгорания ископаемого топлива, сток грунтовых вод, выносящий сюда с автомагистрали оксиды свинца, являющиеся продуктами сгорания автомобильного топлива.

Изменению природных очертаний береговой линии бух. Раковая и ее донных грунтов способствовало строительство причальных сооружений, сопровождавшееся дноуглубительными работами или же продвижением берега в глубь акватории до глубин, достаточных для швартовки судов с большой осадкой. Все это привело к замыванию и заиливанию жестких грунтов, особенно в районах, где образование мелкодисперсного детрита растительного и животного происхождения опережает его биологическую переработку.

Среди обследованных районов наименее грязными являются мягкие грунты бух. Ильичева. Несколько большее, чем в других местах, содержание в них фенолов связано, вероятнее всего,

с активным окислением здесь нефти и их появлением как промежуточных продуктов ее разложения [17]. Несмотря на крайне неблагоприятную экологическую обстановку в районах исследования в составе их бентосной фауны, на дне и на антропогенном субстрате встречаются усоногие раки, мидии, актинии, редко раки-отшельники и морские звезды. Самым массовым обитателем грязных районов является двусторчатый моллюск *Mytilus trossulus*. Он и был выбран для изучения в качестве вида-индикатора. Результаты химического анализа его мягких тканей приведены в табл. 4. Отметим, что мидии у м. Санникова, как и в других районах исследования, были собраны на причальной стенке. В их друзьях встречались полихеты, олигохеты, усоногие раки и баянусы. Раковины были тонкими и ломкими, внутренние органы и ткани обводненными, серого цвета.

Несмотря на высокое содержание в грунтах тяжелых металлов и нефтепродуктов, их накопление в мягких тканях мидии, как это видно из табл. 4, оказалось небольшим, что связано, вероятно, с тем, что эти моллюски-фильтраторы способны инактивировать токсические элементы и выводить их из своего организма.

Таблица 4

Содержание загрязняющих веществ в мягких тканях двусторчатого моллюска *Mytilus trossulus*, P (0.95), в разных районах исследования

Район	Тяжелые металлы					Органические загрязнители	
	Cu, мг/л	Zn, мг/л	Pb, мг/л	Ni, мг/л	Cd, мг/л	Нефтепродукты (раствор), мг/л	Фенолы летучие (суммарно), мг/л
Район м. Санникова	2,5 ± 0,5	23,0 ± 4,6	0,95 ± 0,47	0,39 ± 0,1	<1,0	400 ± 100	<0,5
Район ОАО «Камчатскэнерго»	1,3 ± 0,3	14,0 ± 2,8	0,52 ± 0,26	1,2 ± 0,3	<1,0	210 ± 52	0,65 ± 0,32
Район ГУП «Камчатсккоммунэнерго»	1,4 ± 0,3	16,0 ± 3,2	0,55 ± 0,27	0,65 ± 0,16	<1,0	210 ± 52	<0,5
Район ООО «Нефтесервис»	1,8 ± 0,4	17,0 ± 3,4	<0,5	1,2 ± 0,3	<1,0	740 ± 185	0,71 ± 0,35
Район ООО «Транссервис»	1,6 ± 0,3	27,0 ± 5,4	0,76 ± 0,38	0,2 ± 0,11	<1,0	650 ± 162	1,2 ± 0,6

Накопление поллютантов в мягких тканях мидий, собранных в бух. Ильичева (табл. 4), несопоставимо с их содержанием в грунтах того же района. То же можно сказать и о мидиях, собранных у причальной стенки ГУП «Камчатсккоммунэнерго». Объяснить это достаточно сложно. Возможно, это связано с тем, что гидробионты здесь, как и в других местах Авачинской губы, подвергаются групповому воздействию металлов, которое может проводить как к изменению их биодоступности, так и к модификации их токсичности, выражающейся в ее уменьшении или, напротив, увеличении.

В мягких тканях *M. trossulus*, обитающей в районе бух. Бабыя, больше, чем в остальных районах бух. Раковая содержание фенола (табл. 4). Морфологическое состояние этой микропопуляции можно характеризовать как самое неблагоприятное, поскольку количество мертвых особей разного возраста в ее друзьях оказалось самым большим, а живые особи имели крайне истонченные раковины и недоразвитые внутренние органы. Причиной массовой гибели моллюсков была, скорее всего, асфиксия, вызванная недостатком кислорода и высокой концентрацией фенола и сероводорода, о которой свидетельствовал их запах, исходивший от проб собранных здесь мидий.

Утилизация в морской воде фенолов, как известно, происходит в результате его биохимического окисления. Его скорость зависит от их концентрации, температуры, pH и солености воды, концентрации в ней минерального фосфора и т. д. Рост солености вызывает уменьшение скорости распада фенолов, а увеличение pH, напротив, ее возрастание. При расщеплении фенолов очень большое значение имеет концентрация минерального фосфора. В прикамчатских водах его содержание к ноябрю по сравнению с летним периодом почти не изменяется, и по мере нарастания глубины оно возрастает. Это почти компенсирует пониженную температуру и повышенную соленость. Скорость распада фенолов замедляется в морской воде, содержащей нефтепродукты [7].

Изучение *M. trossulus* в целом показывает, что, несмотря на, казалось бы, невысокое содержание поллютантов в его мягких тканях, их морфофизиологическое состояние в бух. Раковая крайне неудовлетворительное. Это выражается в изменениях размерно-возрастной структуры популяций, изменении соотношения массы створок и тела моллюсков, истончении раковин.

Водоросли в отличие от мидий соприкасаются с водой всей поверхностью и также всей поверхностью поглощают из воды питательные вещества. Неудивительно, что им свойствен иной механизм защиты от воздействия токсических веществ. Так, бурые водоросли, имея в своем составе сульфатированные полисахариды (фукоидан, альгиновые кислот и др.), способны инактивировать тяжелые металлы за счет их поглощения и образования их сульфатов. У многих животных сульфаты металлов действуют как структурно-специфические агенты. Они включаются в обменные процессы, избирательно реагируют с одним или несколькими ферментами или структурными белками и, ингибируя их действие, отравляют организм. У водорослей они обладают неспецифическим действием и способны накапливаться в клеточных стенках и пристеночном слое протоплазмы, вызывая ее коагуляцию. При этом сульфатированные полисахариды водорослей представляют собой естественные нетоксические полиэлектролиты, хорошо связывающие двухвалентные металлы, прежде всего свинец, ртуть, медь, цинк, кадмий, хром [18]. Благодаря этим способностям морские водоросли достаточно устойчивы к металлическому загрязнению.

Водоросли разных отделов демонстрируют высокую устойчивость к воздействию нефтепродуктов. Поглощая углеводородный субстрат нефтяных сбросов, они могут активно развиваться и размножаться даже при концентрации нефти 0,01 мг/л. В случае ее аварийных разливов заросли водорослей с плавающими по поверхности платинами, имеющие суммарную площадь 1 га, способны удержать на своей поверхности до 30 т сырой нефти до момента ее утилизации механическим или иным способом [19–20].

Из-за крайней обедненности макрофитобентоса в бух. Раковая собрать в разных районах исследования один и тот же вид водоросли не удалось. С учетом того, что у камчатских водорослей способность к накоплению тяжелых металлов изучена крайне плохо, мы посчитали полезным привести данные, полученные при изучении тех видов, которые были найдены в районах проведения исследований. Эти данные представлены в табл. 5.

Таблица 5

Содержание загрязняющих веществ в слоевищах водорослей

Район	Вид	Тяжелые металлы					Органические загрязнители	
		Cu, мг/л	Zn, мг/л	Pb, мг/л	Ni, мг/л	Cd, мг/л	Нефтепродукты (рас-твор), мг/л	Фенолы летучие (суммарно), мг/л
Район м. Санникова	<i>Saccharina bongardiana</i>	8,5 ± 2,1	26,0 ± 5,2	3,0 ± 1,5	0,11 ± 0,03	<1,0	<100	1,5 ± 0,7
	<i>Fucus evanescens</i>	7,5 ± 1,5	50,0 ± 1,8	1,0 ± 0,5	0,11 ± 0,03	1, ± 0,4	<100	0,8 ± 0,4
Район ОАО «Камчатскэнерго»	<i>Sacharina avgub sp.1*</i>	2,2 ± 0,4	9,4 ± 1,9	5,6 ± 2,8	<0,1	<1,0	<100	<0,5
Район ГУП «Камчатскком-мунэнерго»	<i>Saccharina bongardiana</i>	1,2 ± 0,2	8,6 ± 1,7	5,3 ± 0,26	<0,1	<1,0	110 ± 27	0,50 ± 0,25
Район ООО «Нефтесервис»	Зеленые водоросли**	12,0 ± 2,4	28,0 ± 5,6	3,32 ± 1,66	<0,1	1,5 ± 0,4	2020 ± 202	2,3 ± 1,1
Район ООО «Транссервис»	Зеленые водоросли***	13,0 ± 2,6	49,0 ± 9,8	31,0 ± 15,5	<0,1	3,0 ± 0,75	100 ± 25	<0,5

* Таксономический статус вида обсуждается в статье А.А. Коневой, Н.Г. Клочковой [21].

** Проба включала *Ulothrix flacca* (основное количество) и *U. implexa* (примесь).

*** Проба включала *Ulva prolifera* (основное количество) и *Ulothrix pseudoflacca* и *U. implexa* (примесь).

Данные, приведенные в табл. 5, показывают, что у м. Санникова водоросли более других тяжелых металлов накапливают цинк. Особенно много его у *Fucus*. Вторым по уровню накопления металлом у собранных здесь видов является медь. Содержание остальных металлов у водорослей этого района было на порядок и более меньшим, чем по меди и цинку.

Из научной литературы известно, что среднее значение концентрации цинка у бурых водорослей в 4,5 раза больше, чем у красных (76 мкг/г) и зеленых (80 мкг/г), и диапазон экологического мониторинга у них выше, чем у представителей других указанных выше отделов [18]. Согласно данным этих авторов, он составляет 359–1950 мкг/г. Что касается нефтепродуктов, то ни фукус, ни сахарина не накапливают их в заметных количествах.

В районе бух. Ильичева содержание поллютантов определяли у двухлетних растений *Saccharina bongardiana*. Оказалось, что из изученных тяжелых металлов наибольшим было накопление цинка ($8,6 \pm 1,7$ мг/кг) и свинца ($5,3 \pm 0,26$ мг/кг). Отметим, что, по мнению специалистов, изучавших влияние на развитие водорослей разных металлов, свинец для ламинариевых является менее токсичным, чем, например, медь и цинк. Так, при длительном воздействии концентрации 0,5 мг Pb/л на *Laminaria japonica* у нее наблюдалось лишь снижение скорости роста [18].

Стоит отметить, что в настоящее время идентифицировано более 20 цинксодержащих и цинкактивируемых ферментов, участвующих в целом ряде важнейших метаболических реакций. Этот элемент считают менее токсичным по сравнению с другими металлами, но, поскольку техногенный цинк поступает в окружающую среду в очень больших количествах, его концентрация в импактных районах, к числу которых можно отнести и описываемый, может достигать критического уровня. Не все виды ламинарий и сахарин специфически чувствительны к этому элементу. Так, атлантический вид ламинариевых *Laminaria hyperborea* даже при краткосрочном его воздействии, достигающем всего лишь 0,25 мг/л, погибает. Неудивительно поэтому, что при существующем уровне загрязнения ламинариевые во внутренней части бух. Раковая уже очень давно не встречаются, как и не встречается здесь прежде массовая *Zostera marina*.

В макрофитобентосе внутренних районов бух. Раковая были встречены только зеленые водоросли. Они, как оказалось, также способны накапливать в больших количествах цинк и свинец. Особенно это касается представителей улотриксковых водорослей. Нефтепродуктов более всего оказалось в пробе зеленых водорослей, основную массу которой составляла *Ulva prolifera*, представитель порядка Ulvales, одного из самых устойчивых к комплексному антропогенному загрязнению. О том, что зеленым водорослям свойственна не только высокая устойчивость к загрязнению, но и способность поглощать и утилизировать нефтепродукты в ходе внутриклеточного метаболизма, сообщалось в недавно вышедшей работе [22].

В целом проведенное нами исследование показывает, что в настоящее время бух. Раковая является одной из самых загрязненных в Авачинской губе. Исходные сообщества бентоса претерпели здесь глубокую трансформацию и крайнее обеднение видового состава. Растительный покров в сублиторальной зоне отсутствует, в литоральной повсеместно наблюдается развитие эфемерных зеленых водорослей. Интерстициальная фауна в ряде районов отсутствует или представлена полисапробными видами. Бухта в настоящее время настолько загрязнена нефтепродуктами, что ее можно рассматривать как источник загрязнения соседних районов Авачинской губы. Испарения с ее поверхности вносят значительный вклад в загрязнение атмосферного воздуха г. Петропавловска-Камчатского.

Литература

1. Савич В.П. Альгологический обезд Авачинской губы в мае 1909 г. // Тр. Камчатской экспедиции Ф.Б. Рябушинского. Бот. отд. – 1914. – Вып. 2. – С. 451–472.
2. Виноградов К.А. Фауна прикамчатских вод Тихого океана: дис. ... д-ра биол. наук. – Ленинград, 1946. – 783 с.
3. Видовой состав и распределение сообществ бентоса в Авачинской губе (Восточная Камчатка) / В.В. Ошурков, А.Г. Бажин, А.И. Буяновский, Е.А. Иванюшина, В.И. Стрелков, А.В. Ржавский // Гидробиологические исследования в Авачинской губе. – Владивосток: ДВО АН СССР. – 1989. – С. 4–14.
4. Буяновский А.Н. Структура и динамика поселений мидии *Mytilus trossulus* (Bivalvia, Mytilidae) в обрастании Авачинской губы (Восточная Камчатка) // Зоологический журнал. – 1990. – Т. 75, № 1. – С. 28–34.
5. Иванюшина Е.А. Изменения в бентосе Авачинской губы под влиянием антропогенного загрязнения // Сборник научных статей по экологии и охране окружающей среды Авачинской бухты. – Петропавловск-Камчатский: Государственный комитет по охране окружающей среды Камчатской области, 1998. – С. 47–51.

6. *Архинова Е.А.* Экология морских ежей *Strongylocentrotus droebachiensis* (O.F. Müller) в Авачинской губе // Сборник научных статей по экологии и охране окружающей среды Авачинской бухты. – Петропавловск-Камчатский: Государственный комитет по охране окружающей среды Камчатской области, 1998. – С. 55–64.
7. *Клочкова Н.Г., Березовская В.А.* Макрофитобентос Авачинской губы и его антропогенная деструкция. – Владивосток: Дальнаука, 2001. – 208 с.
8. *Березовская В.А.* Макрофитобентос как показатель состояния среды в прибрежных водах Камчатки: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. – Владивосток, 2002. – 49 с.
9. *Королева Т.Н.* Развитие бурой водоросли *Saccharina bongardiana* и адаптация к антропогенному загрязнению. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2010. – 122 с.
10. *Саушкина Л.Н.* Особенности морфологии бурой водоросли *Laminaria bongardiana* P. et R., связанные с ростом, размножением и условиями обитания: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Петропавловск-Камчатский, 2006. – 25 с.
11. *Саушкина Л.Н.* Общие тенденции в изменении морфологии *Saccharina bongardiana* под воздействием факторов среды обитания // Фундаментальные исследования. – 2008. – № 2. – С. 54–56.
12. Бурые водоросли *Saccharina bongardiana* как показатель экологического состояния мест нефтяного загрязнения в Авачинской губе (юго-восточная Камчатка) / *А.В. Климова, Е.В. Каспирович, А.Э. Кусиди, Н.Г. Клочкова* // Вестник КамчатГТУ. – 2014. – № 29. – С. 65–74.
13. Концентрирование микроэлементов мидиями Авачинского залива / *Л.Г. Зорина, Ю.М. Каплин, Г.Н. Саенко, А.В. Карякин* // Океанология. – 1993. – Т. 33, № 5. – С. 878–881.
14. *Березовская В.А., Клочкова Н.Г.* Накопление тяжелых металлов водорослями. Возможности использования *Laminaria bongardiana* для оценки техногенного загрязнения // Тез. докл. науч.-техн. конф. проф.-преп. состава и сотрудников ПКВМУ. – Петропавловск-Камчатский: Изд-во ПКВМУ. – 1995. – С. 72–73.
15. *Федорченко В.П., Макаров Е.О., Клочкова Н.Г.* О возможности использования *Saccharina bongardiana* (Phaeophyta, Laminariales) в качестве индикатора металлического загрязнения морских прибрежных вод Камчатки // Вестник КамчатГТУ. – 2011. – Вып. 17. – С. 101–107.
16. *Кусакин О.Г.* Некоторые закономерности распределения фауны и флоры в осушной зоне южных Курильских островов // Исследования дальневосточных морей СССР. – 1961. – Вып. VII. – С. 312–343.
17. *Березовская В.А.* Авачинская губа. Гидрохимический режим, антропогенное воздействие. – Петропавловск-Камчатский: КГАРФ, 1999. – 159 с.
18. *Бурдин К.С.* Основы биологического мониторинга. – М.: Изд-во МГУ 1985. – 160 с.
19. *Степаньян О.В.* Морфофункциональные перестройки у водорослей-макрофитов Баренцева моря под влиянием нефти и нефтепродуктов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Мурманск. – 2003. – 29 с.
20. *Степаньян О.В., Воскобойников Г.М.* Морфофункциональное состояние макрофитов и прогноз развития фитоценозов Баренцева моря в условиях нефтяного загрязнения. – М.: Наука, 2006. – 255 с.
21. *Конева А.А., Клочкова Н.Г.* Сезонная динамика общего химического состава у *Laminaria* sp. (Avb_1) (Laminariales, Phaeophyta), произрастающей в загрязненных районах Авачинской губы (юго-восточная Камчатка) // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. – 2014. – Вып. 34. – С. 78–86.
22. *Очеретяна С.О., Клочкова Н.Г., Клочкова Т.А.* Сезонный состав «зеленых приливов» в Авачинской губе и влияние антропогенного загрязнения на физиологию и рост некоторых зеленых водорослей // Вестник КамчатГТУ. – 2014. – Вып. 33. – С. 30–36.

Информация об авторах Information about authors

Клочкова Нина Григорьевна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; доктор биологических наук; профессор кафедры экологии и природопользования; ninakl@mail.ru

Klochkova Nina Grigorevna – Kamchatka State Technical University; Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 683003; Doctor of Biological Sciences; Professor of Ecology and Nature Management Chair; ninakl@mail.ru

Климова Анна Валерьевна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; научный сотрудник отдела науки и инноваций; annaklimovae@mail.ru

Klimova Anna Valerevna – Kamchatka State Technical University; Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 683003; Researcher of Science and Innovation Department; annaklimovae@mail.ru

Очеретяна Светлана Олеговна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; научный сотрудник отдела науки и инноваций; sveta_kam_08@hotmail.ru

Ocheretyana Svetlana Olegovna – Kamchatka State Technical University; Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 683003; Researcher of Science and Innovation Department; sveta_kam_08@hotmail.ru

Кусиди Анна Эдуардовна – Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Камчатский филиал; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат биологических наук; ученый секретарь; akusidi@mail.ru

Kusidi Anna Eduardovna – Kamchatka Branch of Pacific Institute of Geography FEB RAS; 683031, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Biological Sciences; Academic Secretary; akusidi@mail.ru

Касперович Екатерина Владимировна – Федеральное бюджетное учреждение «Камчатская дирекция по техническому обеспечению надзора на море»; 683031, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат биологических наук; заместитель начальника отдела информационно-аналитической работы и планирования; kasperovichev@mail.ru

Kasperovich Ekaterina Vladimirovna – Federal State Organization «Kamchatka's Directorate for Technical Supply of Sea Supervision»; 683031, Russia Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Biological Sciences; Deputy Head of Information and Analytical Work and Planning Department; kasperovichev@mail.ru