

УДК 543.31(265.54)

Н.К. Христофорова^{1,3}, О.А. Гамаюнова¹, А.П. Афанасьев^{2*}¹ Дальневосточный федеральный университет,
690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 8;² Филиал ДВФУ в г. Находке, 692918, г. Находка, ул. Постышева, 51-а;³ Тихоокеанский институт географии ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7**СОСТОЯНИЕ БУХТ КОЗЬМИНА И ВРАНГЕЛЯ
(ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ЯПОНСКОЕ МОРЕ):
ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

Анализируется состояние двух бухт зал. Петра Великого, находящихся в состоянии экономического развития, — Козьмина и Врангеля. Для химико-экологических оценок применен биоиндикационный метод, а именно: использование бурых водорослей как индикаторов загрязнения морских вод тяжелыми металлами (Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni). Для индикации взяты два вида водорослей: *Sargassum miyabei* и *Laminaria (Saccharina) japonica*. Показана динамика техногенной нагрузки на акватории бухт с 1995 по 2013 г. Проведено сравнение полученных результатов с литературными данными для других морских акваторий (Авачинский залив, порт Сантос, бухта Ня Чанг).

Ключевые слова: бухты Козьмина и Врангеля, загрязнение, тяжелые металлы, динамика, биоиндикация, *Sargassum miyabei*, *Laminaria (Saccharina) japonica*.

Khristoforova N.K., Gamayunova O.A., Afanasyev A.P. State of the Kozmin and Wrangel Bays (Peter the Great Bay, Japan Sea): dynamics of pollution with heavy metals // Izv. TINRO. — 2015. — Vol. 180. — P. 179–186.

Pollution with heavy metals, as iron, manganese, zinc, copper, lead, nickel, and cadmium is considered for the coastal waters in two bights of Peter the Great Bay on the data of the metals content in tissues of the algae *Sargassum miyabei* and *Saccharina japonica*. The Fe and Mn indicate terrigenous runoff, the Zn and Cu — anthropogenic impact, and the Pb, Ni, and Cd are the tracers of industrial pollution. The content of Fe is the highest among heavy metals; its maximum concentrations are found in the top of the Kozmin Bay and at Cape Petrovsky in the Wrangel Bay. The Pb and Cd contents are higher at the small boats berthing in the Kozmin Bay. The Ni content is the highest (up to 4 µg/g) on reefs in front of the oil terminal in the Wrangel Bay and in the top of the Kozmin Bay that is possibly reasoned by shipping activity because Ni is included in all oils. The Zn concentration is the highest at the pier in the Wrangel Bay constructed of stone blocks. The contents of heavy metals in algae from these bights are compared with similar data from the Avachinsky Bay (Kamchatka), Nha-Trang Bay (Vietnam) and port Santos (Brazil); relatively high pollution of the Kozmin and Wrangel Bays by Pb is revealed. Pollution in these bights has mostly industrial and anthropogenic nature. The pollution

* Христофорова Надежда Константиновна, доктор биологических наук, профессор, e-mail: marineecology@rambler.ru; Гамаюнова Ольга Анатольевна, аспирантка, e-mail: oldoha@mail.ru; Афанасьев Андрей Петрович, доцент.

Khristoforova Nadezhda K., D.Sc., professor, e-mail: marineecology@rambler.ru; Gamayunova Olga A., post-graduate student, e-mail: oldoha@mail.ru; Afanasyev Andrey P., assistant professor.

with Ni and Cd decreased between 1995 and 2008, but became higher again in 2012–2013, the pollution with Mn, Zn and Fe also increased in 2012–2013.

Key words: Kozmin Bay, Wrangel Bay, heavy metal pollution, bioindication, *Sargassum miyabei*, *Saccharina japonica*.

Введение

В настоящее время экологическое состояние бухт Козьмина и Врангеля, расположенных на крайнем востоке зал. Петра Великого, представляет большой интерес и требует постоянного контроля. Это связано с их активным производственным и хозяйственным освоением и, как следствие, с возрастающим антропогенным воздействием на воды как непосредственно самих бухт, так и всего зал. Находка, юго-восточной оконечностью которого они являются.

В 1970–1980-е гг. зал. Петра Великого испытывал мощный индустриальный пресс. Спад промышленного производства, произошедший в 1990-е гг., привел к сокращению поступления загрязняющих веществ в окружающую среду, в первую очередь тяжелых металлов. Однако постепенный подъем экономики, возрастание морских перевозок, строительство и начало эксплуатации нового нефтепорта на юго-востоке залива (бухта Козьмина), активизация портовой деятельности в целом и увеличение, в частности, поставок угля в страны АТР, требующее расширения угольных терминалов (порт Восточный в бухте Врангеля), меняют сложившуюся экологическую ситуацию. Усиление антропогенного воздействия на бухту Козьмина было показано уже в апреле 2008 г. Н.И. Григорьевой и Д.Л. Питруком (2010), когда строительство нефтебазы, береговых и причальных сооружений только начиналось.

Следовательно, необходимо следить за изменением состояния бухт, учитывая всю их предысторию и перспективы дальнейшего развития. В связи с их освоением будет увеличиваться численность местного населения, что, несомненно, приведет к возрастанию объемов бытовых стоков. Это также существенный фактор, который повлияет на состав и состояние вод. Наблюдать за состоянием среды как открытых морских, так и прибрежных вод крайне важно, так как ее качество влияет на обитателей, на продуктивность вод, а также может отражаться на здоровье жителей береговых поселений.

Наши исследования посвящены изучению загрязнения прибрежных морских вод такими тяжелыми металлами, как железо, марганец, цинк, медь, свинец, никель, кадмий. Если два первых характеризуют преимущественно терригенный сток, два вторых — антропогенное воздействие, то три последних являются трассерами техногенного пресса на окружающую среду (Бондарев, 1976; Христофорова, 1989).

Среди загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду, тяжелые металлы неизменно остаются одной из ведущих групп. В водную среду металлы попадают с атмосферными осадками, за счет химического выветривания горных пород, сопровождающегося их механическим разрушением и растворением минералов, вымыванием из почв, с поверхностным стоком и со сточными (промышленными, сельскохозяйственными, хозяйственно-бытовыми) водами. Кроме того, загрязнение может поступать от танкеров, перевозящих нефть и нефтепродукты, других судов, химических предприятий, автомобильного и железнодорожного транспорта.

Длительное время уровень загрязнения среды тяжелыми металлами контролировался химическими и физико-химическими методами, не всегда чувствительными и не всегда позволяющими уловить следы металлов. Поэтому с начала 1970-х гг. в мире получило распространение использование организмов (различные виды беспозвоночных, рыбы, водоросли), способных аккумулировать микроэлементы, в качестве индикаторов загрязнения среды. Использование гидробионтов позволяет судить о биологической доступности токсикантов и получать интегрированные по времени данные об их уровнях (Phyllips, 1977; Bryan, 1980). Среди аккумулирующих организмов-индикаторов получили широкое распространение, а со временем и полное признание бурые водоросли-макрофиты. Именно с их использованием ведется мониторинг загрязнения прибрежных морских вод тяжелыми металлами, что обусловлено

особенностями химического состава этих водорослей, позволяющими накапливать микроэлементы пропорционально их содержанию в среде и длительное время удерживать в слоевищах. Система наблюдений дает возможность выявить изменения во времени под влиянием как естественных, так и антропогенных факторов (Phyllips, 1977; Христофорова, 1989, 2011; Коженкова и др., 2000; Федорченко и др., 2011; Кобзарь, Христофорова, 2012; и др.).

В связи с этим цель настоящей работы — оценка загрязнения морских вод бухт Козьмина и Врангеля по содержанию тяжелых металлов в талломах обитающих в них водорослей.

Материалы и методы

В качестве основного аккумулирующего биоиндикатора выбран *Sargassum miyabei*, один из видов саргассов, обитающих в зал. Петра Великого, давно известный как «истинный отражатель» условий среды и используемый в целях мониторинга (Христофорова, 1989; Khristoforova, Kozhenkova, 2002; Христофорова, Чернова, 2005; Кобзарь, Христофорова, 2012; и др.). Для индикации привлечен также другой вид водорослей, *Laminaria (Saccharina) japonica*, несколько менее распространенный в заливе, но широко используемый в пищевых и медицинских целях (Суховеева, Подкорытова, 2006).

Отобрав водоросли (в июле каждого года) и разобрав слоевища по видам, отмывали их водой с места сбора, избегая попадания прямых солнечных лучей и контакта с металлом. Слоевища промеряли, отбирали сходные по размерам и возрасту, описывали их морфологию и состояние, очищали от эпифитов и живых организмов. Водоросли раскладывали на фильтровальной бумаге, обсушивая на воздухе. Затем их переносили в сушильный шкаф и досушивали до постоянной массы при температуре 85 °С в течение 2–3 сут. Высушенные образцы измельчали в агатовой ступке. Навески массой 0,5 г подвергали кислотному разложению концентрированной HNO₃ на приборе MARS (прибор осуществляет подготовку водорослей для определения тяжелых металлов) в условиях автоклавирования. Минерализаты водорослей анализировали на содержание металлов методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии на приборе Shimadzu AA-680 в пламенном и беспламенном вариантах. Пробоподготовка и химический анализ водорослей осуществлялись на базе лаборатории геохимии ТИГ ДВО РАН.

Результаты и их обсуждение

Как было отмечено, две небольшие бухты, Козьмина и Врангеля, расположены в восточной части зал. Петра Великого Японского моря и являются самыми восточными акваториями зал. Находка (рис. 1). Бухта Козьмина вдается в сушу между мысами Козьмина и Крылова. Она имеет крутые, преимущественно обрывистые, окаймленные камнями берега, которые к вершине бухты понижаются и переходят в низкий перешеек шириной около 200 м, отделяющий бухту Козьмина от бухты Озеро Второе. Это «озеро» сообщается с бухтой Козьмина прорытым в 1950 г. через перешеек каналом длиной 150 м, шириной 55 м, с глубинами в его средней части 4,0–4,5 м.

В конце 2009 г. в бухте Козьмина принят в эксплуатацию нефтеналивной терминал грузооборотом 20 млн т в год, вошедший в состав порта Восточного, и резервуарный парк на 100 тыс. т нефти. Самый молодой порт России Козьмино — конечная точка нефтепровода «Восточная Сибирь — Тихий океан». Экспорт нефти из Козьмино в 2010 г. составил 15,3 млн т, или 7,3 % всего экспорта нефти Транснефтью. По состоянию на 1 июля 2013 г. порт отгрузил на экспорт 10,6 млн т нефти, что по сравнению с июлем 2012 г. на 3,0 млн т больше (<http://www.smpnk.ru>).

Бухта Врангеля вдается в сушу между мысами Каменского и Петровского. Ее длина 3,5 км, ширина 1,5 км. В вершинной части бухты находится глубоководный порт Восточный; вблизи бухты расположен микрорайон с названием «Врангель», входящий в состав г. Находка. К куту бухты Врангеля примыкает долина р. Хмыловка,

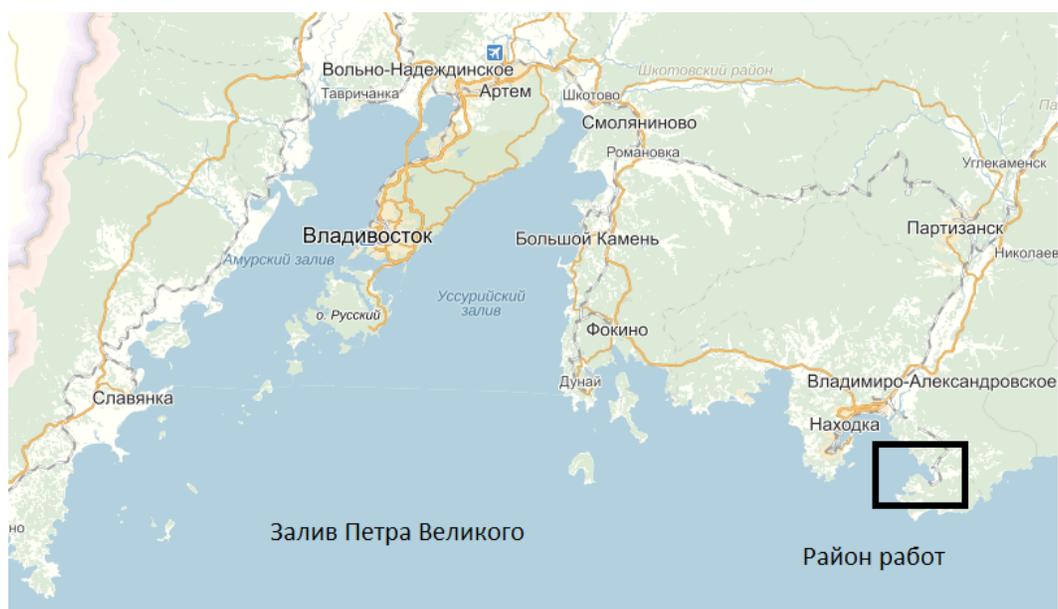


Рис. 1. Карта-схема зал. Петра Великого
 Fig. 1. Scheme of Peter the Great Bay

впадающей в бухту. Порт Восточный начал свою биографию с 27 декабря 1973 г. — с момента погрузки первого теплохода. С того времени он стал визитной карточкой портового комплекса Дальнего Востока, а затем и России. В настоящее время ОАО «Восточный Порт» — крупнейшая стивидорная компания на Дальнем Востоке России, которая специализируется на перевозке контейнеров, сыпучих грузов (минеральные удобрения) и перевалке каменного угля с использованием конвейерного оборудования (<http://www.vpnet.ru>).

Объем грузооборота угольной продукции ОАО «Восточный Порт» за январь-июль 2014 г. составил 12 млн 572,7 тыс. т, что на 20,1 % превышает показатель аналогичного периода прошлого года. В 2012 г. в Восточном порту началось строительство нового специализированного угольного терминала, оснащенного системой конвейерного оборудования. Согласно проекту, к 2020 г. общий годовой грузооборот стивидорной компании составит 33 млн т.

В последние годы в странах АТР значительно увеличился спрос на энергоносители, в частности на уголь. В связи с этим в настоящее время все свободные мощности в портах Приморья, способные перерабатывать уголь, заняты именно этим видом груза, что привело к резкому ухудшению экологической обстановки как в портах, так и вокруг них из-за открытого хранения угля и перегрузки (Волгин и др., 2014).

На рис. 2 показаны места отбора водорослей-макрофитов. Станции сбора расположены в местах с разной антропогенной и техногенной нагрузкой. Ст. 1 находится в вершине бухты Козьмина, рядом с каналом в бухту Озеро Второе. В «озере» длительное время накапливались отслужившие свой срок суда перед утилизацией. Ст. 2, 3 расположены на противоположных берегах бухты и максимально приближены к нефтепорту. Ст. 4 является выходом из бухты. Это самая удаленная от портового пресса с интенсивной гидродинамикой станция. Ст. 5 — входной мыс бухты Врангеля. Ст. 6 находится на противоположной от угольного терминала стороне. Здесь часто курсируют как маломерные, так и крупнотоннажные суда. Наиболее приближена к угольному терминалу ст. 7. Угольная пыль оседает в воду, и здесь вдоль прибрежной линии круглогодично присутствуют угольные фракции. Ст. 8 — в прошлом военный гидрографический пост. Сейчас здесь расположен пирс, где швартуются гидрографические и другие суда.

С учетом интенсивного развития обеих бухт все станции представляют интерес для проведения экологического мониторинга.



Рис. 2. Карта-схема мест отбора проб в бухтах Козьмина и Врангеля: 1 — подпорная стенка перед входом в бухту Озеро Второе (вершина бухты Козьмина); 2 — скалы напротив нефтяного терминала; 3 — навигационный знак; 4 — мыс Козьмина; 5 — мыс Петровского; 6 — строящийся пирс; 7 — рифы перед угольным пирсом; 8 — гидрографический пирс

Fig. 2. Scheme of algae sampling in the Kozmin and Wrangel Bays: 1 — retaining wall in the top of the Kozmin Bay; 2 — reefs in front of the oil terminal; 3 — beacon; 4 — Cape Kozmin; 5 — Cape Petrovsky; 6 — pier under construction; 7 — reefs in front of the coal terminal; 8 — pier for hydrographic ships

При сравнении концентраций микроэлементов в ламинариях, собранных в вершине бухты Козьмина (ст. 1) и у скал напротив терминала (ст. 2) в 2012 г. (см. таблицу), видно, как резко снижается на ст. 2 содержание не только индикаторов техногенного воздействия — Pb, Cd, Ni, но и трассера антропогенного влияния — Cu. Медь, как известно, является тривиальным компонентом хозяйственно-бытовых стоков. Такие стоки поступают не только от поселка, но и от рыбоконсервного завода, расположенного между бухтами Козьмина и Озеро Второе непосредственно у канала.

Содержание тяжелых металлов в макрофитах бухт Козьмина и Врангеля (2012/2013 гг.),
мкг/г (n = 3)

Heavy metals concentration in algae from the Kozmin and Wrangel Bays in 2012/2013,
µg/g (n = 3)

| Станция отбора проб | Макрофит | Fe | Mn | Zn | Cu | Pb | Cd | Ni | |
|---------------------|-------------------|--------------------|-------------|------------|-----------|---------|---------|---------|---------|
| Бухта Козьмина | 1 | <i>L. japonica</i> | 418,1/269,4 | 8,1/85,6 | 12,2/12,0 | 1,6/0,5 | 4,5/3,8 | 1,0/1,2 | 2,4/4,1 |
| | 2 | <i>L. japonica</i> | 58,5/79,2 | 8,4/40,2 | 20,6/19,2 | 0,7/2,2 | 2,4/4,2 | 0,7/1,1 | 1,8/2,6 |
| | | <i>S. miyabei</i> | 89,0/116,4 | 27,3/108,4 | 18,7/5,7 | 2,9/1,6 | 2,4/1,8 | 1,6/2,4 | 4,0/3,4 |
| | 3 | <i>S. miyabei</i> | 469,4/348,5 | 65,7/40,1 | 11,2/25,4 | 2,1/0,5 | 2,7/3,4 | 1,5/2,9 | 3,2/2,8 |
| 4 | <i>S. miyabei</i> | 66,7/– | 22,0/– | 10,1/– | 1,3/– | 1,7/– | 1,2/– | 3,3/– | |
| Бухта Врангеля | 5 | <i>S. miyabei</i> | 563,7/– | 411,2/– | 13,9/– | 2,4/– | 2,6/– | 1,0/– | 3,4/– |
| | 6 | <i>L. japonica</i> | 911,7/642,9 | 19,0/8,0 | 25,8/12,6 | 1,7/1,2 | 2,0/2,4 | 0,8/1,8 | 2,4/4,2 |
| | 7 | <i>S. miyabei</i> | 213,4/84,5 | 106,2/80,4 | 14,0/26,7 | 1,8/2,1 | 3,2/2,2 | 0,9/1,4 | 3,2/2,9 |
| | 8 | <i>L. japonica</i> | 82,5/94,8 | 20,9/66,7 | 18,0/15,5 | 1,2/1,6 | 3,0/3,6 | 0,8/1,6 | 2,4/3,1 |

Примечание. В 2013 г. на мысах Козьмина и Врангеля водоросли не отбирались (из-за высокой воды, не позволявшей добраться к мысам).

Несмотря на значительно меньшую промышленную историю бухты Козьмина, содержание Cd и Pb в ламинарии (сахарине) из этой бухты выше, чем в макрофитах из бухты Врангеля. При этом содержание Pb в водорослях из вершины бухты Козьмина превышает ПДК в 2 раза. Очевидно, это обусловлено в первую очередь стоянкой маломерного флота и постоянным подходом катеров и моторных лодок к причалу в бухте Озеро Второе. Более того, длительное накопление судов, предназначенных к утилизации, в мелководной бухте Озеро Второе, несомненно, привело к аккумуляции в донных отложениях бухты «букета» из тяжелых металлов, особенно малоподвижных или неактивных мигрантов, таких как железо и свинец. Из-за слабого водообмена с более открытой бухтой Козьмина грунты в бухте Озеро Второе еще долгое время будут источником загрязнения тяжелыми металлами как вод самой этой бухты, так и кутовой части бухты Козьмина.

Содержание железа в макрофитах по сравнению с другими тяжелыми металлами, как правило, наибольшее. Водоросли аккумулируют его из раствора и взвеси, поэтому в водах с обилием взвеси обнаружены значительные количества этого элемента в их слоевищах. Максимальными концентрациями Fe отличаются ламинарии, собранные у строящегося пирса. В саргассах железа больше у мыса Петровского и у навигационного знака в куту бухты Козьмина. Величины концентраций Fe в макрофитах на этих станциях были максимальны как в 2012, так и в 2013 г.

Саргассы, обладающие более развитой удельной поверхностью, чем ламинарии, накапливают большое количество элементов, что хорошо видно на тех станциях, где эти водоросли обитают вместе. Саргассы, собранные у скал напротив терминала в 2012 г., отличались наибольшим содержанием Ni (4 мкг/г), хотя и в других местах концентрации этого элемента были не низкими — 3,2–3,4 мкг/г. В 2013 г. возросло содержание данного металла в водорослях в вершине бухты Козьмина и у строящегося пирса в бухте Врангеля. Поскольку никель, как и ванадий, сопровождает все нефтепродукты, очевидно, что его повышенное содержание в организмах и среде их обитания обусловлено поступлением с судов, как маломерных, так и крупнотоннажных.

Концентрация цинка в ламинарии, собранной в 2012 г., была максимальной у строящегося пирса в бухте Врангеля, что, очевидно, обусловлено навалом свежепривезенных каменных глыб. В 2013 г. максимальное содержание Zn выявлено в макрофитах на рифах перед угольным пирсом. По-видимому, в этом случае причина сходная — обилие каменистого грунта, поставляемого для масштабных строительных работ по созданию нового угольного терминала, ведущихся в бухте Врангеля.

Для оценки состояния бухт по содержанию тяжелых металлов в бурых водорослях-макрофитах представляло интерес сравнить наши результаты с литературными данными для других морских акваторий.

Так, в ламинарии Бонгарда Авачинского залива микроэлементы находились в следующих диапазонах концентраций (мкг/г сухой массы): Pb — 0,49–0,80; Zn — 12,20–23,70; Cu — 0,49–6,80 (Ковековдова, 2011). Как видно, концентрации свинца в ламинарии из бухты Козьмина выше в 4–5 раз, чем в водорослях из прикамчатских вод, т.е. изучаемая нами бухта действительно заметно загрязнена свинцом. Для саргассов из порта Сантос (самый большой порт в южном полушарии) в Бразилии приводятся следующие значения концентраций элементов (мкг/г сухой массы): Cd — 0,719; Zn — 26,600; Pb — 3,020; Mn — 83,200; Ni — 9,930; Cu — 4,750 (Brito et al., 2012). Как можно видеть, концентрации Ni и Cu в саргассах из этого порта практически в 3 раза выше, чем в *S. miyabei* из бухты Козьмина, что свидетельствует о гораздо большем техногенном и атропогенном прессе, обусловленном активной портовой деятельностью, частым заходом крупных судов. В то же время невысокое содержание Mn в бразильских саргассах свидетельствует о небольшом терригенном стоке, поступающем в воды порта Сантос. Сравнение с водорослями бухты Козьмина показывает, что по загрязнению свинцом акватории находятся на близком уровне. Что касается кадмия, то наша бухта несколько более загрязнена им, чем порт Сантос.

Литературные данные позволяют также сравнить загрязнение тяжелыми металлами наших бухт с вьетнамской бухтой Ня Чанг (Южно-Китайское море). Концентрации

тяжелых металлов во вьетнамских саргассах в 2002 г. находились в следующих диапазонах (мкг/г сухой массы): Cu — 1,90–4,0; Zn — 6,20–46,50; Pb — 0,81–2,35; Cd — 0,27–1,01; Ni — 0,47–1,64; Mn — 17,90–284,30; Fe — 93,0–779,0 (Chernova, Sergeeva, 2008). Как можно видеть, воды бухты Ня Чанг сходны с водами бухт Козьмина и Врангеля по терригенному стоку, но менее загрязнены техногенными элементами, о чем свидетельствуют показатели Ni, Cd и Pb. Однако концентрации трассеров антропогенного загрязнения — Cu и Zn — выше во вьетнамских водах.

Задача мониторинга — регулярный контроль измеряемых показателей, производимый через некоторый промежуток времени. Как видно на рис. 3, от 1995 к 2008 г. в макрофитах обеих бухт произошло заметное снижение концентраций элементов техногенного воздействия — Ni и Cd, — но возросло содержание Mn, Zn и Fe. Прокладка дороги вдоль моря в бухте Врангеля к мысу Петровского, дноуглубительные работы в бухте Козьмина перед началом строительства терминала, снятие грунта, сооружение подпорной стенки и площадки-хранилища для цистерн с нефтью, а также другие работы с участием крупной техники и сотен строителей — все это отразилось на росте концентраций данных элементов в водорослях.

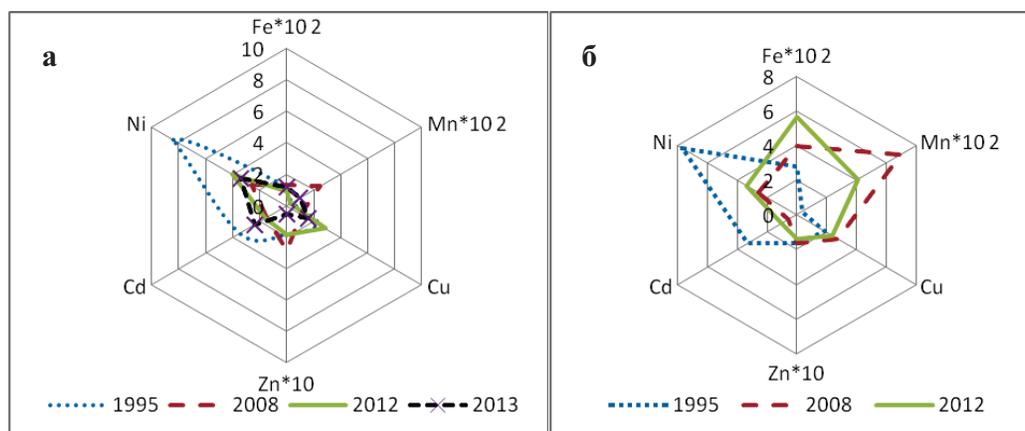


Рис. 3. Концентрации тяжелых металлов (мкг/г) в талломах *S. miyabei*, собранных в бухте Козьмина на скалах напротив терминала СМНП (а) и в бухте Врангеля у мыса Петровского (б) в разные годы

Fig. 3. Concentration of heavy metals ($\mu\text{g/g}$) in *S. miyabei* on reefs in front of the oil terminal in the Kozmin Bay (a) and at Cape Petrovsky in the Wrangel Bay (b) in different years

Строительство нефтяного терминала началось в 2007 г., в конце декабря 2009 г. под загрузку встал первый танкер. Ситуация стала меняться, и уже летом 2012 г. это изменение отразилось на содержании микроэлементов в водорослях. В саргассах бухты Козьмина в 2012 г. возросли концентрации Ni и Cu, в 2013 г. — концентрации Cd, в саргассах бухты Врангеля — Ni и Fe.

Заключение

Таким образом, в связи с интенсивным развитием портовой деятельности и возросшим грузооборотом в последние годы увеличилось и продолжает нарастать поступление в акватории бухт Козьмина и Врангеля тяжелых металлов — свидетелей техногенного воздействия. Хотя уровень содержания Ni и Cd в макрофитах этих бухт еще далек до значений, регистрировавшихся в начале 1990-х гг., факт нарастания техногенного пресса очевиден.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (соглашение № 14-50-000-34).

Список литературы

Бондарев Л.Г. Ландшафты, металлы и человек : монография. — М. : Мысль, 1976. — 73 с.

Волгин А.А., Красковская Г.Н., Семенихина О.Я. Угольный порт и экология: компромисс или противостояние? // Морские порты. — 2014. — № 4(125). — С. 34–38.

Григорьева Н.И., Питрук Д.Л. Оценка состояния водной среды и донных отложений бухт Козьмина — Озеро Второе (Залив Находка, Залив Петра Великого, Японское море) // Водные ресурсы. — 2010. — Т. 38, № 3. — С. 359–372.

Кобзарь А.Д., Христофорова Н.К. Оценка загрязнения вод залива Петра Великого тяжелыми металлами по их содержанию в бурых водорослях-макрофитах // Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря. — Владивосток : Издат. дом ДВФУ, 2012. — С. 362–381.

Ковековдова Л.Т. Микроэлементы в морских промысловых объектах Дальнего Востока России : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток, 2011. — 40 с.

Коженкова С.И., Христофорова Н.К., Чернова Е.Н. Долговременный мониторинг загрязнения морских вод северного Приморья тяжелыми металлами с помощью бурых водорослей // Экология. — 2000. — № 3. — С. 233–237.

Суховеева М.В., Подкорытова А.В. Промысловые водоросли и травы морей Дальнего Востока: биология, распространение, запасы, технология переработки : монография. — Владивосток : ТИПРО-центр, 2006. — 243 с.

Федорченко В.П., Макаров Е.О., Ключкова Н.Г. О возможности использования *Saccharina bongardiana* в качестве индикатора металлического загрязнения морских прибрежных вод Камчатки // Вестн. КамчатГТУ. — 2011. — № 17. — С. 101–106.

Христофорова Н.К. Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжелыми металлами : монография. — Л. : Наука, 1989. — 192 с.

Христофорова Н.К. Ламинариевые водоросли как индикатор геохимических условий среды и как морепродукт // Камчатка — здравница северо-восточных регионов России : мат-лы и докл. Второй межрегион. науч.-практ. конф., посвящ. 65-летию юбилею военного санатория «Паратунка». — Петропавловск-Камчатский, 2011. — С. 64–68.

Христофорова Н.К., Чернова Е.Н. Сравнение содержания тяжелых металлов в бурых водорослях и морских травах // Докл. РАН. — 2005. — Т. 400, № 4. — С. 571–573.

Brito G.B., de Souza T.L., Bressy F.C. et al. Levels and spatial distribution of trace elements in macroalgae species from Todos os Santos Bay, Bahia, Brazil // Mar. Pollut. Bull. — 2012. — Vol. 64(10). — P. 2238–2244.

Bryan G.V. Recent trends in research on heavy-metal contamination in the sea // Helgolander Meeresunters. — 1980. — Vol. 33. — P. 6–25.

Chernova E.N., Sergeeva O.S. Metal concentrations in Sargassum algae from coastal waters of Nha Trang Bay (South China Sea) // Russ. J. Mar. Biol. — 2008. — Vol. 34. — P. 57–63.

Khristoforova N.K., Kozhenkova S.I. The use of the brown algae *Sargassum* spp. in heavy metal monitoring of the marine environment near Vladivostok, Russia // Ocean and Polar Res. — 2002. — Vol. 2, № 4. — P. 325–329.

Phillips D.J.H. The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments — a review // Environ. Pollut. — 1977. — Vol. 13. — P. 381–417.

Поступила в редакцию 28.10.14 г.