

НАКОПЛЕНИЕ тяжелых МЕТАЛЛОВ В ОРГАНАХ **БОЛЬШОГО БАКЛАНА**

(*Phalacrocorax carbo* (Linnaeus, 1758))
В МОРСКОМ **национальном** ПАРКЕ
НАЙБАНД (Иран)

Изучено накопление тяжелых металлов Co, Zn, Cr, Cd, Fe в мышцах, печени и почках большого баклана (*Phalacrocorax carbo*) из морского национального парка Найбанд (Иран). Среднее содержание тяжелых металлов в органах большого баклана было либо в пределах нормы (Cr, Cd), либо превышало фоновые значения (Co, Zn, Fe). За исключением накопления цинка в печени и мышцах, накопление других элементов в различных органах имело значимые отличия. Не наблюдалось различий в накоплении металлов самцами и самками, а также между половозрелыми и неполовозрелыми особями. Необработанные сточные воды, поступающие от производств экономической зоны, расположенной рядом с природным парком и содержащие тяжелые металлы, являются серьезной угрозой для обитающих в этом регионе организмов. Предложены направления научно-исследовательских работ, которые являются актуальными в связи с загрязнением парка Найбанд тяжелыми металлами.



Введение

Выявление уровней накопления и последствий воздействия тяжелых металлов (ТМ) в пищевых сетях является эффективным механизмом биологического мониторинга для определения уровня загрязнения морских и прибрежных экосистем, особенно в условиях усиливающейся антропогенной нагрузки [1, 2].

Хищные птицы, находящиеся на вершине пищевой пирамиды, имеют значительную продолжительность жизни, поэтому использование их в качестве индикаторов загрязнения ТМ дает хорошую информа-

Д. Акбарпур*,
аспирант кафедры экологической безопасности и устойчивого развития регионов, ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный университет

цию о степени загрязнения в пищевой сети водных экосистем [3, 4].

При этом оценка накопления ТМ птицами может быть более полезна для понимания полной картины экологических угроз по сравнению с измерениями уровня содержания ТМ в физической среде (вода, почва, донные отложения), а также в растениях и беспозвоночных [5].

Птицы часто использовались как индикаторы раннего обнаружения загрязнения экосистем ТМ, пестицидами (например, ДДТ) и другими ядохимикатами [6].

Морской национальный парк Найбанд является одной из приоритетных охраняемых территорий в Иране [7]. В настоящее время его экосистемы, характеризующиеся очень высоким видовым разнообразием [8],

*Адрес для корреспонденции: dariyoushak@yahoo.com

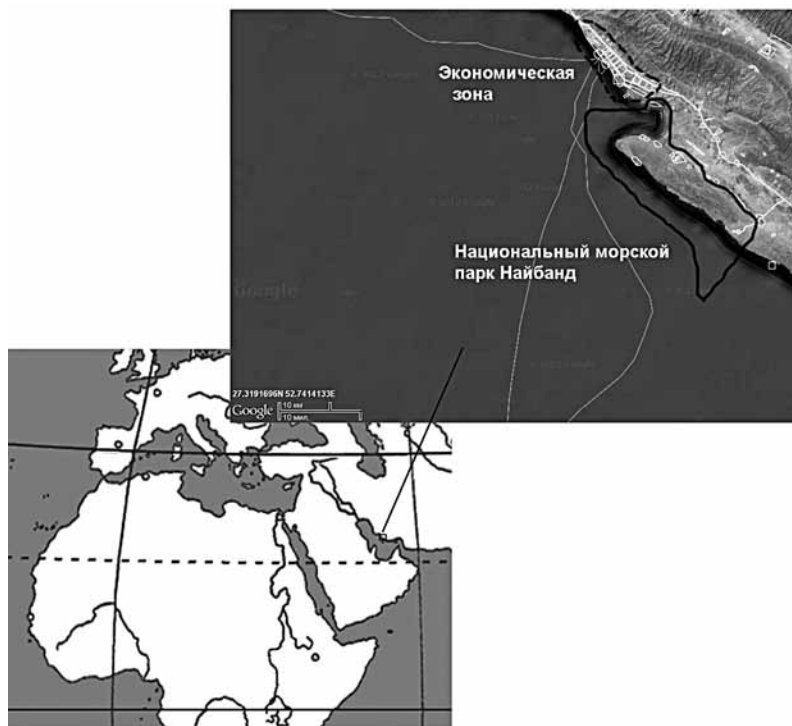


Рис. 1. Местоположение национального морского парка Найбанд и расположенной рядом экономической зоны (пунктир), (использованы картографические материалы с сайтов <http://wikimapia.org> и <http://map.ucoz.com>).

подвергаются значительной антропогенной нагрузке, поскольку в непосредственной близости от охраняемой территории в экономической зоне функционируют предприятия нефтегазовой и нефтехимической промышленности (рис. 1).

Информация о накоплении ТМ в птицах морского национального парка Найбанд отсутствует. Ранее были проведены исследования содержания ТМ в донных осадках и беспозвоночных парка [7].

На территории парка обитает около 110 водоплавающих и береговых водных видов птиц, из которых некоторые обитают постоянно, а другие являются мигрантами из Западной Европы и России, прилетающими сюда в зимний период [8].

Большой баклан (*Phalacrocorax carbo* (L.)) (рис. 2) является одним из ключевых видов среди водных и околоводных птиц парка, постоянно обитая на его территории. Поэтому оценка накопления этим видом ТМ позволит объективно оценить степень антропогенного воздействия на экосистемы уникальной территории парка Найбанд.

Выбор большого баклана как объекта исследования был обусловлен его соответствием следующим критериям:

- 1) вид должен быть местным и присутствовать на территории на протяжении всего года;
- 2) должен быть рыбадным и добывать пищу в водных экосистемах парка;
- 3) плотность популяции должна быть высока и вид должен быть доступен для отлова (добычи);
- 4) должен быть легко идентифицируем;
- 5) должен иметь достаточно большой размер, значительную продолжительность жизни и возможность определения возраста особи.

P. carbo идеально соответствует этим условиям, а поскольку этот вид является широко распространенным (Азия, Океания, Северная Африка, Америка, Европа) [9], то результаты настоящего исследования в дальнейшем могут быть сравнимы с полученными в других местообитаниях Ирана (север и юг), а также других стран.

В связи с этим, основная цель данного исследования — выявить уровни содержания ТМ в различных органах большого баклана, как одного из ведущих представителей конечных хищников водных и околоводных экосистем парка Найбанд (Иран).



Рис. 2. Большой баклан (*P. carbo*) (фото Д. Акбарпур).

Таблица 1

Среднее содержание ТМ (X_{cp} , мкг/г) и стандартное отклонение (S , мкг/г) показателя в органах *P. carbo* из парка Найбанд

	Zn		Co		Fe		Cd		Cr	
	X_{cp}	S	X_{cp}	S	X_{cp}	S	X_{cp}	S	X_{cp}	S
Печень	133,94	0,500	22,63	0,675	1120,4	9,077	0,309	0,004	0,568	0,003
Почка	76,10	0,425	8,28	0,505	472,35	0,431	0,707	0,003	0,910	0,003
Мышцы	69,12	0,194	68,17	0,065	368,04	0,373	0,046	0,002	0,114	0,002

Материалы и методы исследования

Область исследований

Национальный морской парк и залив Найбанд ($27^{\circ}17'12''N$; $52^{\circ}41'16''E$) в Персидском заливе расположены в провинции Бушер (Иран). Эта область характеризуется уникальным биоразнообразием, которое обусловлено наличием разнотипных экосистем, включая песчаные пляжи, коралловые рифы и скалы. Здесь обитают 42 эндемичных вида растений и животных [8, 10].

Наземная растительность в основном представлена акациями, мескитами, молочаями, многочисленными кустарниками и травами. На побережье развиты мангровые леса (*Avicennia marina* (Forssk.) Vierh.) и пальмы, в море — разнообразные водоросли.

Фауна парка (беспозвоночные и позвоночные) также весьма разнообразна [8, 11]. Среди наиболее интересных представителей могут быть упомянуты панцирные моллюски, рыбы семейства горбылевых, *Grammoplites suppositus* (Troschel), *Epinephelus coioides* (Hamilton), *Alectis indicus* (Rüppell), *Alepes djedaba* (Forsskål), *Parastromateus niger* (Bloch), *Pomadasy kaakan* (Cuvier) и десятки др. видов, зеленая черепаха *Chelonia mydas* L., черепаха бисса *Eretmochelys imbricata* L. [11]. Коммерческий интерес представляют креветки сем. Penaeidae и Pandalidae, для которых воды парка служат природным рефугиумом.

Особенно многочисленны на данной территории птицы, обитатели мангровых лесов, побережий, островов и водных пространств. Многие из встречающихся здесь видов являются мигрирующими из различных регионов. 32 семейства и 110 видов перелетных и местных птиц были выявлены в этой области [12].

Е.А. Курашов, доктор биологических наук, заведующий лабораторией гидробиологии, ФГБУН Институт озераведения Российской академии наук, профессор кафедры экологической безопасности и устойчивого развития регионов, ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный университет

Методы исследования

Отлов особей большого баклана производился в различных частях национального парка Найбанд в ноябре и декабре 2009 г. Все экземпляры птиц взвешивались на электронных весах (с точностью до 1 г), определялся пол и проводились следующие промеры: длина тела, головы, крыльев, хвоста, клюва, 1-го и 4-го пальцев, ширина крыла (точность измерений 0,01 мм). Для анализов было получено 11 самцов и 9 самок *P. carbo*.

Для оценки накопления металлов в органах из птиц удалялись ткани печени, почек и грудных мышц.

Образцы этих тканей выдерживались в автоклаве при $T = 65^{\circ}C$ в течение 24 ч, затем образцы сушились и выдерживались в полиэтиленовых контейнерах.

Таблица 2

Результаты теста Вилкоксона по оценке различий в уровне накопления элементов в органах *P. carbo* из парка Найбанд

Значение P		
0,000	печень — почка	Fe
0,002	почка — мышцы	
0,000	печень — мышцы	Zn
0,000	печень — почка	
0,000	почка — мышцы	
0,058*	печень — мышцы	Co
0,000	печень — почка	
0,000	почка — мышцы	
0,000	печень — мышцы	Cd
0,000	печень — почка	
0,000	почка — мышцы	
0,001	печень — мышцы	

Примечание: * — различия недостоверны (уровень достоверности 99 %, $P < 0,01$).

Таблица 3

Результаты теста по U-критерию Манна-Уитни для оценки различий в накоплении элементов в органах самцов и самок *P. carbo* из парка Найбанд

Значение P	Общее число	Пол	Металл Орган
0,080	11 9	самец самка	Fe Печень
0,228	11 9	самец самка	Cd Печень
0,974	11 9	самец самка	Cr Печень
0,159	11 9	самец самка	Zn Печень
0,674	11 9	самец самка	Co Печень
0,582	11 9	самец самка	Fe Почка
0,228	11 9	самец самка	Cd Почка
0,005	11 9	самец самка	Cr Почка
0,771	11 9	самец самка	Zn Почка
0,582	11 9	самец самка	Co Почка
0,001*	11 9	самец самка	Fe Мышцы
0,821	11 9	самец самка	Cd Мышцы
0,772	11 9	самец самка	Cr Мышцы
0,25	11 9	самец самка	Zn Мышцы
0,123	11 9	самец самка	Co Мышцы

Примечание: * — различия достоверны (уровень достоверности 99 %, $P < 0,01$).

Высушенные образцы перетирались в фарфоровой ступке и по 1 г вещества каждого образца помещали в пластиковые контейнеры. К перетертым образцам добавляли по 10 мл 65 % азотной кислоты. На следующем этапе пробы выдерживали на водяной бане (100 °С) до достижения желеинового состояния. Далее в каждый образец добавляли 5 мл соляной кислоты, отфильтровывали и доводили до объема 25 мл азотной кислотой [13].

Металлы Cr, Cd, Fe, Co и Zn анализировали на атомно-абсорбционном спектрофотометре (модель Philips PU9400) по стандартной методике, описанной в [13]. Предварительно был проведен анализ стандартных образцов для каждого элемента согласно [14].

Результаты и их обсуждение

Среднее содержание ТМ (мкг/г) в тканях печени, почек и мышц (20 особей) большого баклана из парка Найбанд приведены в *табл. 1*.

Использование критерия Вилкоксона для исследования разницы накопления элементов в органах большого баклана (попарные сравнения) показало, что за исключением накопления цинка в печени и мышцах накопление других элементов в различных органах имело значимые отличия (*табл. 2*).

Для проверки различий в накоплении металлов самцами и самками применяли U-критерий Манна-Уитни. Этот тест используется для оценки различий

Таблица 4

Результаты теста по U-критерию Манна-Уитни для оценки различий в накоплении элементов в органах половозрелых (П) и неполовозрелых (НП) особей *P. carbo* из парка Найбанд (уровень достоверности 99 %, $P < 0,01$)

Значение P	Общее число		
0,949	10 10	П НП	Fe Печень
0,013	10 10	П НП	Cd Печень
0,151	10 10	П НП	Cr Печень
0,365	10 10	П НП	Zn Печень
0,699	10 10	П НП	Co Печень
0,847	10 10	П НП	Fe Почка
0,243	10 10	П НП	Cd Почка
0,151	10 10	П НП	Cr Почка
0,748	10 10	П НП	Zn Почка
0,270	10 10	П НП	Co Почка
0,797	10 10	П НП	Fe Мышцы
1,000	10 10	П НП	Cd Мышцы
0,748	10 10	П НП	Cr Мышцы
0,478	10 10	П НП	Zn Мышцы
0,332	10 10	П НП	Co Мышцы

Таблица 5

Значимые корреляции (в скобках — уровень значимости *P*) между показателями накопления ТМ в отдельных органах и между органами у особей *P. carbo* из парка Найбанд

		Zn			Co			Fe	
		печень	почки	мышцы	печень	почки	мышцы	печень	почки
Zn	печень		нз	0,556 (0,011)	нз	нз	нз	нз	нз
	почки	нз		0,499 (0,025)	нз	нз	нз	нз	нз
Co	печень	нз	-0,727 (0,0003)	0,499 (0,025)		нз	0,452 (0,046)	нз	нз
	почки	-0,579 (0,007)	нз	нз	нз		нз	нз	нз
	мышцы	нз	нз	0,53 (0,016)	нз	нз		нз	нз
Fe	почки	нз	0,613 (0,004)	нз	-0,582 (0,007)	0,573 (0,008)	нз	нз	
	мышцы	нз	нз	0,653 (0,002)	нз	нз	нз	нз	нз
Cd	печень	нз	нз	нз	нз	нз	нз	-0,495 (0,027)	нз
Cr	печень	нз	нз	нз	нз	нз	нз	нз	0,444 (0,0497)
	почки	нз	0,671 (0,001)	нз	-0,505 (0,023)	нз	нз	нз	нз

Примечание: нз — корреляция незначима.

между двумя малыми выборками по уровню количественно измеряемого признака. Результаты, приведенные в *табл. 3*, показывают, что в целом не наблюдалось различий в накоплении металлов самцами и самками. Только для мышц были получены достоверные различия в накоплении железа.

В то же время имеются сведения о большой разнице в накоплении ТМ у самцов и самок уток [2, 15].

Использование этого же теста не выявило различий в накоплении металлов между половозрелыми и неполовозрелыми особями (*табл. 4*). Однако в литературе имеются данные о таких различиях [16]. Сообщается также об увеличении уровня накопления кадмия в почках с увеличением возраста [17, 18].

В *табл. 5* представлены только значимые коэффициенты корреляции между показателями накопления ТМ в различных органах большого баклана. Для Zn отмечена положительная связь в его накоплении

в печени и мышцах, а также положительные корреляции с накоплением Co (печень, мышцы) и Fe (мышцы). Накопление Zn в почках положительно коррелирует с накоплением в этом органе Fe и Cr, в то же время отмечается антагонизм в накоплении Zn и Co. Накопление Co в печени отрицательно коррелирует с накоплением Fe и Cr в почках. В то же время накопление Co и Fe в почках идет синхронно. Полученные данные показывают также антагонизм в накоплении Fe и Cd в печени.

Сравнение полученных данных по накоплению Cd и Cr у большого баклана в парке Найбанд с фоновыми значениями для морских птиц [19, 20] (*табл. 6*) показывает, что эти значения находятся в пределах нормы. Значения накопления для других металлов (особенно для Zn) находятся на границе фоновых значений или превышают их (иногда значительно). Высокие уровни накопления металлов у большого баклана в парке Найбанд свидетельствуют о высоких антропо-

Таблица 6

Сравнение средних концентраций ТМ в органах *P. carbo* из парка Найбанд с фоновыми значениями по литературным данным

Элемент	<i>P. carbo</i>			Морские птицы*	Млекопитающие**		Рыбы*	Морская вода**	Пресная вода**
	Мышцы	Почка	Печень		Мышцы	Кости			
Cd	0,046	0,707	0,309	0,3-6	0,1-3,2	1,8	0,03–4,2	0,0001	0,0001
Cr	0,114	0,910	0,568	<1	<0,002-0,84	0,1-33	0,2-0,8	0,0003	0,001
Co	68,17	8,28	22,63	10-20	10	1-26	2-42	0,0003	0,003
Fe	368,04	472,35	1120,40	100-500	180	3-380	5-20	0,002	0,5
Zn	69,12	76,10	133,94	50	240	75- 70	1-100	0,005	0,015

Примечание: * – [19]; ** – [20].

погенных нагрузках на окружающую среду в рассматриваемой области, прежде всего со стороны нефтегазовой и нефтехимической отраслей, наиболее здесь развитых.

Результаты по содержанию ТМ в органах *P. carbo* из парка Найбанд показывают, что необработанные сточные воды, поступающие от производств экономической зоны, расположенной рядом с природным парком и содержащие ТМ, являются серьезной угрозой для обитающих в этом регионе организмов. Стоки производств вокруг парка являются основным источником загрязнения и увеличения концентраций ТМ в прибрежных и морских экосистемах данной территории.

Непрерывный мониторинг загрязняющих веществ (включая ТМ) и определение их влияния на какой-то один или несколько видов требует учета широкого спектра физических, химических и экологических факторов. Устойчивость видовых популяций на разных уровнях трофической пирамиды к воздействию загрязнителей будет зависеть, в том числе, от скорости передачи загрязняющих веществ по пищевым сетям, от процессов их накопления и выведения из активного взаимодействия [21, 22].

Общая схема путей перераспределения загрязняющих веществ (в том числе ТМ) в водных экосистемах парка Найбанд представлена на рис. 3.

Заключение

Определение уровней накопления ТМ и анализ особенностей их распределения в живых организмах, включая птиц, на территории морского национального парка Найбанд может быть очень

Ключевые слова:
экологический мониторинг, морской национальный парк Найбанд, тяжелые металлы, накопление тяжелых металлов, *Phalacrocorax carbo*

полезным для выработки конкретных региональных стандартов, которые будут использоваться для контроля состояния окружающей среды. При этом должен быть учтен целый ряд факторов, влияющих на характер накопления металлов в объектах окружающей среды и формирование доз загрязнителей, изменяющих нормальное протекание физиологических процессов в организмах. Это, прежде всего, возраст, пол, диета, состав ТМ, физиологические особенности действия различных металлов в различных органах, уровни поступления ТМ в окружающую среду, особенности производств — источников этих металлов.

Данные по содержанию ТМ в органах *P. carbo* из парка Найбанд свидетельствуют о необходимости принятия комплекса мер, направленных на уменьшение нагрузки со стороны экономической зоны вокруг национального парка на водные экосистемы и предотвращение их разрушения. Результаты проведенного исследования могут быть использованы для оптимизации постоянного мониторинга ТМ в морском национальном парке Найбанд, в *P. carbo* и других видах морских и околотовных организмах.

Следующие направления научно-исследовательских работ представляются актуальными в связи с загрязнением парка Найбанд ТМ:

- ♦ оценка уровней накопления ТМ в других видах в водных и наземных экосистемах парка;
- ♦ оценка уровней содержания ТМ в других органах большого баклана (например, кости и яйца);
- ♦ изучение содержания ТМ у *P. carbo* за пределами парка Найбанд для получения сравнительного материала;

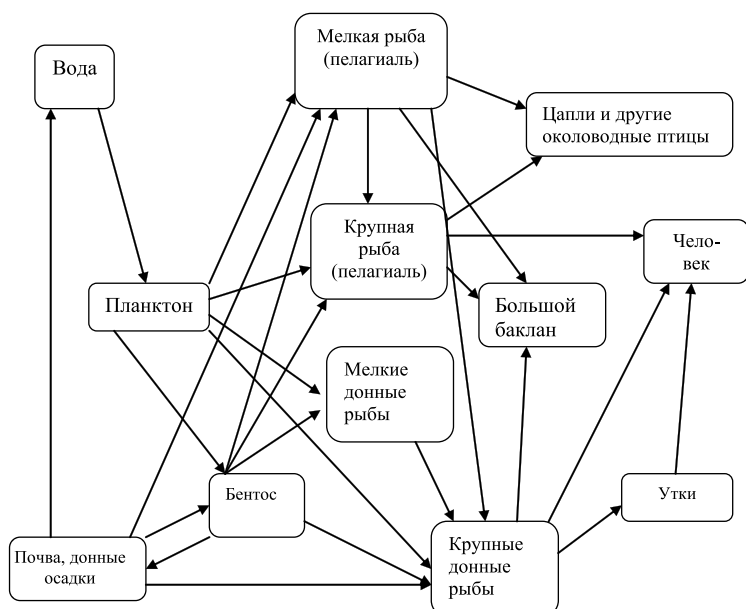


Рис. 3. Общая схема путей перераспределения загрязняющих веществ в водных экосистемах парка Найбанд (по [22] с изменениями).

- изучение особенностей питания и пищевого поведения большого баклана для установления путей распространения ТМ по пищевым сетям в экосистемах парка;
- исследование токсикологических последствий воздействия ТМ на *P. carbo*;
- изучение интегральных генетических, биологических и экологических эффектов влияния ТМ на популяцию большого баклана и популяции других видов в парке Найбанд;
- дифференциальная оценка поступления ТМ из различных промышленных источников экономической зоны вблизи национального парка;
- выработка рекомендательных мер для снижения уровня загрязнения экосистем парка Найбанд ТМ.

Литература

1. Enes M. Great and blue tits as indicators of heavy metal contamination in terrestrial ecosystems / Enes M., Pinxten R., Verheyen R.F., Blust R., Bervoets L. // *Ecotox. Environ. Safe.* 1999. V. 44. P. 81-85
2. Burger J. Heavy metal and selenium levels in feathers of Franklin's gulls in interior North America // *The Auk.* 1996. V. 113. P. 399-407.

3. Furness R.W. Birds as monitors of environmental changes / Furness R.W., Greenwood, J.J.D. (eds.). Chapman & Hall. London. UK. 1993. 342 p.
4. Hernández L.M. Accumulation of heavy metals and as in wetland birds in the area around Donana National Park affected by the Aznalcollar toxic spill / Hernández L.M., Gómara G., Fernández M., Jiménez B., González M.J., Baos R., Hiraldo F., Ferrer M., Benito V., Suñer M.A., Devesa V., Muñoz O., Montoro R. // *Sci. Total Environ.* 1998. V. 242. P. 293-308.
5. Akbarpour D. Site selection of residential area around pars special economic energy zone and its environmental impacts using GIS. M. Sc. Thesis in Environmental Science. Branch of Pollution. Islamic Azad University. Science and Research. 2008. 111 p. Электронный ресурс: <http://srbiau.ac.ir/Files/environment/19982.pdf>
6. Burger J. Metals in avian feathers: bioindicators of environmental pollution // *Rev. Environ. Toxicol.* 1993. V. 5. P. 203-311.
7. The organization of environmental protection. Report Series and Government regulatory approvals. Tehran. Iran. 2008. P. 107-133.
8. Darvishsefat A. Atlas of protected areas of Iran. Tehran University Press. 2007. 30 p.



9. Campbell B. A dictionary of birds / Campbell B., Lack E. (eds.). Calton, Staffs, England: T & A D Poyser. 1985. 670 p.
10. Magnonian H. Handbook of protected areas of Iran // Environ. protect. organization Press. 2000. №. 2. P. 105-109.
11. Kanin A. Fishes of the Persian Gulf // Bushehr Encyclopedia Academic Press. Tehran. 2010. №. 1. P. 23-182.
12. Firouz E. A guide to the fauna of Iran / Firouz E., Dahi M. Academic Press. Tehran. 2000. №. 1. P. 122-414.
13. Roger N.R. Environmental analysis / Roger N.R., Jochen. D.B. 13th Edn., John Wiley and Sons, New York. 1994. 263 p.
14. Van Loon J.C. Analytic Atomic Absorption Spectroscopy. Academic. Press. N.Y. 1980. 355 p.
15. Gochfeld M. Heavy metal in laughing gulls: gender, age and tissue differences / Gochfeld M., Belant J.L., Shukla T., Benson T., Burger J. // Environ. Toxicol. Chem. 2006. V.15. №. 12. P. 2275-2283.
16. Kalisinska E. Using the mallard to biomonitor heavy metal contamination of wetlands in north-western Poland // Pol. J. Total Environ. 2003. V. 320. P. 145-161.
17. Furness R.W. Pollutant levels in the great Skua // Environ. Pollut. 1979. V. 19. P. 261-268.
18. Hutton M. Accumulation of heavy metals and selenium in three seabird species from the United Kingdom // Environ. Pollut. Ser. A. 1981. V. 26. P. 45-129.
19. Calow P.P. Handbook of ecotoxicology. Blackwell Science, Oxford. 1998. 164 p.
20. Bryan G.W. Pollution due to heavy metals and their compounds // Marine Ecology: A Comprehensive, Integrated Treatise on Life in the Oceans and Coastal Waters. New York: John Wiley & Sons. 1984. V. 5. Part. 3. P.1289-1431.
21. Craig R.B. The ecosystem approach to toxic chemicals in the biosphere / Craig R.B., Rudd R.L. // Survival in Toxic Environments. M.A.G. Khan, J.P.Bederka (eds.). Academic Press, New York. 1974. P. 1-24.
22. Moriarty F. Ecotoxicology: The Study of Pollutants in Ecosystems. Academic Press. London. 1983. 233 p.



D. Akbarpour, E.A. Kurashov

ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN THE ORGANS OF THE GREAT CORMORANT (*Phalacrocorax carbo* (Linnaeus, 1758)) IN THE MARINE NATIONAL PARK NAIBAND (IRAN)

Accumulation of heavy metals (Co, Zn, Cr, Cd, Fe) in muscle, liver and kidneys in the great cormorant (*Phalacrocorax carbo*) in the Marine National Park Naiband (Iran) was studied. The average content of heavy metals in the organs of cormorant was either within normal limits (Cr, Cd) or greater than the background values (Co, Zn, Fe). Except the accumulation of zinc in the liver and muscle, the accumulation of other elements in various organs had significant differences. Differences in the accumulation of metals by males and females were not observed. Differences in the accumulation of metals between mature and immature individuals are also not identified. Untreated waste water coming from the industrial economic zone, located near the natural park and containing heavy metals are a serious threat to living organisms in this region. Directions of researches that are relevant in connection with the contamination of the park Naiband by heavy metals are offered.

Key words: environmental monitoring, Nayband Marine-Coastal National Park, heavy metals, accumulation of heavy metals, *Phalacrocorax carbo*.