

УДК 574.4. 504.05 (268.45)
DOI: 10.7868/S25000640190207

СОДЕРЖАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПТИЦАХ БАРЕНЦЕВА МОРЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОРГАНИЗМ

© 2019 г. И.С. Усягина¹, В.В. Куклин¹, М.М. Куклина¹

Аннотация. Представлены результаты радиоэкологических исследований птиц Баренцева моря, проведенных на базе Мурманского морского биологического института. Выявлены различия в накоплении радиоактивного цезия в баренцевоморских птицах разных видов в зависимости от их экологии. Наибольшие концентрации ^{137}Cs (10,5–17,3 Бк/кг сырой массы) в печени обнаружены в чайках, за исключением бургомистров. Содержание радиocesия в птицах других видов было невысоким – 3,0–5,3 Бк/кг сырой массы. Сопоставление данных по аккумуляции инкорпорированного в печени птиц ^{137}Cs с результатами изучения содержимого их желудков показало, что концентрация ^{137}Cs была низкой у птиц, основу рациона которых составляют корма, добываемые в море. Птицы, наиболее тесно связанные с Баренцевым морем и близлежащими районами Северной Атлантики, содержат незначительные количества ^{137}Cs . Морские и серебристые чайки в связи с особенностями миграционного поведения и большим разнообразием пищевого рациона, в котором значительную долю составляют наземные виды кормов, не могут использоваться в качестве индикаторов состояния баренцевоморской экосистемы. Предпринята попытка определить характер и механизм ответных реакций организма птиц на радиоактивное загрязнение по интенсивности перекисного окисления липидов (ПОЛ), содержанию антиоксидантов (каталазы, каротиноидов и витамина А), модифицированной форме альбумина, а также по микроядерным нарушениям в эритроцитах. Возможно, накопление ^{137}Cs в печени птиц может вызывать ряд неспецифических негативных изменений в организме животных. В печени птиц с повышенным содержанием ^{137}Cs отмечено увеличение интенсивности ПОЛ и уменьшение активности каталазы. Повышенное содержание модифицированной формы альбумина в плазме крови и микроядерные нарушения в эритроцитах птиц могут свидетельствовать о стрессовой реакции организма животных в ответ на техногенное радиоактивное загрязнение среды.

Ключевые слова: морские птицы, Баренцево море, ^{137}Cs , состав кормов, биохимические и гематологические показатели.

CONTENTS OF ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN BIRDS OF THE BARENTS SEA AND THEIR IMPACT ON THE ORGANISM

I.S. Usyagina¹, V.V. Kuklin¹, M.M. Kuklina¹

Abstract. The results of radio-ecological analyses of the Barents Sea birds carried out by the Murmansk Marine Biological Institute are presented in the article. Definite differences in radioactive cesium accumulation in the Barents Sea birds belonging to different genera depending on their ecology are revealed. The greatest concentrations of ^{137}Cs (10.5–17.3 Bq/kg of wet weight) in the liver are found in the sea gulls, with the exception of glaucous gull (*Larus hyperboreus*). Radio-cesium contents in the birds belonging to other species were not high – 3.0–5.3 Bq/kg wet weight. Comparison of the data on the accumulation of ^{137}Cs incorporated in the birds liver with the results of analyses of their stomachs content showed, that concentration of ^{137}Cs was low in the birds which basis of diet consisted of forages taken at sea. Birds densely connected with the Barents Sea and nearby areas of the North Atlantic contain insignificant amounts of ^{137}Cs . Great black-backed gulls and herring gulls due to their peculiarities of the migratory behavior and large diversity of the food diet in which terrestrial

¹ Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра Российской академии наук (Murmansk Marine Biological Institute, Kola Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russian Federation), Российская Федерация, 183010, г. Мурманск, ул. Владимирская, 17, e-mail: usyagina@mmbi.info

forage types constitute a significant part cannot be used as the indicators of the Barents Sea ecosystem state. The estimation of response to the radionuclides of the anthropogenic origin on some physiological and biochemical parameters of the organism is given. These parameters are lipid peroxidation intensity, antioxidants content (catalase, carotinoids and vitamin A), modified form of albumin and micronucleus defects of red blood cell. The data obtained allow to suppose that contamination of the birds organisms with ^{137}Cs causes a series of non-specific negative changes in their physiological state. An increase in the lipid peroxidation intensity and a decrease in the activity of catalase were revealed in birds liver with a high content of ^{137}Cs . The increased content of the modified form of albumin in the blood plasma and micronucleus disorders in birds erythrocytes may indicate a stressful reaction of the animal organism in response to anthropogenic radioactive contamination of the environment.

Keywords: seabirds, Barents Sea, ^{137}Cs , feed composition, biochemical and hematological parameters.

ВВЕДЕНИЕ

Птицы широко используются в качестве биологических индикаторов состояния окружающей среды. Исследовано немало случаев гибели птиц при разливах нефти, запутывании их в рыболовных сетях и в результате голодания при резком уменьшении запасов рыбы из-за интенсивного промысла. Но такие ситуации случаются редко и не оказывают значительного влияния на состояние популяций. В то же время существуют факторы как природного, так и антропогенного происхождения, с негативным воздействием которых птицы могут сталкиваться постоянно [1–4]. В Баренцевом море к таким факторам относится радиоактивное загрязнение, сформировавшееся во второй половине XX века после проведения надземных и подземных испытаний ядерного оружия на архипелаге Новая Земля, трансокеанического переноса отходов завода по переработке оружейного плутония «Селлафилд» из Ирландского моря, сбросов жидких радиоактивных отходов атомным флотом и др. Следствием интенсивного использования атомной энергии стало повсеместное распространение в среде и биоте техногенного изотопа ^{137}Cs [5].

Период полураспада ^{137}Cs составляет 30,2 лет, поэтому его циркуляция в организмах животных и дальнейшее поступление по пищевым цепям при обитании на «цезиевых пятнах» определяют постоянное воздействие ионизирующей радиации на организмы. Биологическая эффективность высокотоксичного ^{137}Cs при внешнем и внутреннем облучении в сопоставимых поглощенных дозах практически одинакова. Равномерное распределение инкорпорированного в организме радиоцезия приводит к постоянному воздействию гамма-лучей на органы и ткани, чему способствует большая проникающая способность гамма-квантов дочернего нуклида $^{137\text{m}}\text{Ba}$ ($E_\gamma = 0,662$ МэВ) [6].

Важная роль птиц как индикаторов радиологической обстановки подтверждена результатами исследований в «неблагополучных» регионах [6–9]. Накопление (инкорпорирование) радиоактивных веществ в тканях определялось длительностью пребывания животных на загрязненной территории (внешнее облучение), особенностями их питания (внутреннее облучение), а также свойствами изотопов, вовлеченных в круговорот веществ в биогеоценозе. В умеренных или южных широтах на территориях, подверженных долговременному радиоактивному загрязнению, отмечались повышенная способность тканей и внутренних органов животных к накоплению ^{137}Cs и вызванные его длительным воздействием изменения состояния организмов [10].

В условиях постоянно низких температур и повышенной влажности Арктики жизнедеятельность морских птиц протекает более интенсивно, чем в умеренных или южных широтах, что, в свою очередь, требует активного пополнения запасов энергии [11]. Исследование особенностей накопления искусственных радионуклидов в баренцевоморских птицах разных видов поможет не только получить новые знания о биогенных путях миграций антропогенных изотопов в арктических широтах, но и оценить возможные ответные реакции организма птиц на радиоактивное загрязнение.

Ответные реакции организмов на радиоактивное загрязнение наблюдались как в экспериментальных условиях [12; 13], так и на территориях, загрязненных после аварийных ситуаций на атомных объектах [14; 15]. Наиболее чувствительны к действию ионизирующего излучения такие биохимические показатели, как интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ), параметры антиоксидантной системы защиты (активность каталазы, содержание каротиноидов и витамина А), образование модифицированных форм альбумина (индикаторы пато-

Таблица 1. Относительная встречаемость различных групп кормов у птиц Баренцева моря в 1999–2004 гг., %
Table 1. Relative forage occurrence (%) in stomach of birds of the Barents Sea in 1999–2004

Корм Diet	Птицы Баренцева моря, вид Barents sea birds, species									
	<i>Larus argentatus</i>	<i>Larus marinus</i>	<i>Larus hyperboreus</i>	<i>Cepphus grylle</i>	<i>Somateria mollissima</i>	<i>Phalacrocorax carbo</i>	<i>Rissa tridactyla</i>	<i>Fulmarus glacialis</i>	<i>Uria aalge</i>	<i>Uria lomvia</i>
Embryophyta	8,6	6,1								
Algae	15,5	15,6	37,5							
Polychaeta								7,1		
Echinodermata	1,7	3,2								
Gastropoda	3,4			9,0	20,0					
Bivalvia	10,3	4,2			80,0					
Cephalopoda								28,6		
Crustacea	1,7	2,3		45,5		20,0		14,3		
Insecta	6,9	8,8								
Pisces (личинки рыб, тресковые, сельдь, мойва) (larvae, cod, herring, capelin)	25,9	33,1	12,5	45,5		80,0	100,0	50,0	100,0	100,0
Aves (птенцы, яйца) (juvenile, eggs)	12,1	11,1	25,0							
Mammalia (мышевидные грызуны) (rodents)	1,7	2,3								
Антропогенные корма Anthropogenic food	12,2	13,3	25,0							

логического состояния организма), а также микро-ядерные нарушения в эритроцитах крови.

Определение содержания ^{137}Cs в печени морских птиц Баренцева моря, изучение ответных реакций организма птиц на радиоактивное загрязнение среды с использованием гематологических и биохимических методов стало целью представленной работы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования послужили следующие виды птиц: морская чайка *Larus marinus* Linnaeus, 1758 – 20 экз., серебристая чайка *L. argentatus* Pontoppidan, 1763 – 16 экз., бургомистр *L. hyperboreus* Gunnerus, 1767 – 6 экз., моевка *Rissa tridactyla* (Linnaeus, 1758) – 8 экз., обыкновенная гайка *Somateria mollissima* (Linnaeus, 1758) – 8 экз.,

чистик *Cepphus grylle* Linnaeus, 1758 – 5 экз., тонкоклювая кайра *Uria aalge* (Pontoppidan, 1763) – 10 экз., толстоклювая кайра *U. lomvia* (Linnaeus, 1758) – 10 экз., глупыш *Fulmarus glacialis* (Linnaeus, 1761) – 10 экз., большой баклан *Phalacrocorax carbo* (Linnaeus, 1758) – 1 экз. Сборы птиц проводили в 1999–2004 гг. в районе архипелага Семь островов (68°48'56" с.ш., 37°19'39" в.д.) и в окрестностях пос. Дальние Зеленцы (69°07'05" с.ш., 36°03'30" в.д.), а также в 2001 г. в заливе Исфьорд, Западный Шпицберген (78°20'00" с.ш., 15°00'00" в.д.). Данные сборов обрабатывали по мере поступления материала.

В связи со сложностями, связанными с отбором птиц, главными из которых являются труднодоступность мест обитания и способы лова, полученный материал для каждого вида получился неоднород-

ным, поэтому при анализе результатов измерений допускалось сравнение групп птиц с неравнозначным объемом выборки.

Состав кормов птиц изучали путем анализа содержимого их желудков. Результаты представлены в таблице 1 в виде относительной встречаемости кормов. За 100 % принимали общее число встреч различных видов кормов [16; 17].

Удельную активность ^{137}Cs в печени птиц определяли на гамма-спектрометрической установке фирмы «Canberra» (США), состоящей из цифрового многоканального анализатора InSpector-2000 и сверхчистого германиевого детектора с локальной защитой. Обработку спектров проводили с помощью программного обеспечения Canberra Genie-2000 (США). Активность радионуклида рассчитывали на дату отбора проб. Временной режим измерений не менее 24 ч. Предел обнаружения радионуклида не менее 3,6 Бк/кг сырой массы.

Ответные реакции морских птиц на содержание инкорпорированных радионуклидов в тканях организма оценивали на примере чаек, накопивших наибольшее количество ^{137}Cs по сравнению другими исследованными видами. Отлов птиц проводили в 1999–2002 гг. в районе пос. Дальние Зеленцы в период гнездования (июнь – август). Птиц вскрывали, извлекали печень. Печень и плазму крови замораживали до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ для дальнейших биохимических исследований. Кроме того, изготовлены мазки крови птиц, которые фиксировали и окрашивали по методу Романовского – Гимза. Подсчет и идентификацию нарушений микроядер в эритроцитах крови проводили под световым микроскопом с иммерсионным объективом ($\times 100$). У каждой особи исследовали по 2000 клеток. Учитывали такие нарушения микроядер, как инвагинация ядра, «перетяжка» ядра, ядерные «хвосты», а также образование микроядер [18]. Расчет проводили в соответствии с количеством нарушений на 1000 эритроцитов.

ПОЛ в печени определяли по накоплению малонового диальдегида (МДА) [19]. Состояние антиоксидантной системы в печени оценивали по активности каталазы [20] и содержанию общих каротиноидов и витамина А [21]. Наряду с этим в плазме крови исследовано содержание модифицированного альбумина (A_m) как одного из показателей физиологического состояния организма. Уровень A_m в плазме крови определяли с помощью электрофореза на бумаге методом переосаждения в системе трихлоруксусная кислота – этанол [22]. Содержание A_m выражали в процентах к общему содержанию альбумина, принятому за 100 %.

Рассчитана приблизительная поглощенная доза, полученная птицей в результате возможного радиационного воздействия. Для представителей характерной биоты пользуются методами расчета на основе конверсионных дозовых коэффициентов (КДК). Метод предполагает однородное распределение радионуклидов в организме, не рассматривая точную геометрию и физиологические особенности объектов. Понятие «характерная биота» включает представителей рыб, птиц, растений и млекопитающих как индикаторов доз для различных экосистем. КДК учитывают энергию всех видов излучения, испускаемого радионуклидом. Мощность дозы определяется в $\text{Гр/год} = \text{Дж/кг/год}$, и используется значение поглощенной дозы, а не эквивалентной, как в случае человека. Значения КДК для внутренних и внешних источников определяют отдельно, но каждое значение суммирует энергии от всех источников излучения [23]. При значении энергии излучения $8,12 \cdot 10^{-1} \text{ МэВ/Бк/с}$ (материнский нуклид ^{137}Cs) внутренние КДК у птиц составляют $4,10 \cdot 10^{-6} \text{ Гр/год}$ на 1 Бк/кг сырой массы, внешние, с учетом того, что большую часть времени чайки проводят в воздушном пространстве (организм расположен на высоте 1 м над границей раздела и погружен в полубесконечный равномерно загрязненный объем воздуха плотностью $1,189 \text{ кг/м}^3$), – $1,72 \cdot 10^{-6} \text{ Гр/год}$ на 1 Бк/м [23]. Исходя из этого, общая поглощенная птицами доза как сумма внутреннего и внешнего воздействия составит $5,82 \cdot 10^{-6} \text{ Гр/год}$.

Обработка полученных данных выполнена с помощью статистического пакета Microsoft Excel и Statistica 10. Результаты представлены в виде средних значений и ошибок среднего. Достоверность различий между сравниваемыми параметрами оценивали по непараметрическому критерию Уилкоксона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Удельная активность ^{137}Cs в морских птицах разных видов. Наибольшие удельная активность ^{137}Cs (10,5–17,3 Бк/кг сырой массы) в печени обнаружена в чайках, за исключением бургомистров. В птицах других видов она была невысокой – 3,0–5,3 Бк/кг сырой массы (табл. 2). Удельная активность ^{137}Cs была низкой у тех видов птиц, основу рациона которых составляют корма, добываемые в море. При этом различия в кормовом спектре и в способах добывания пищи не оказали существенного влияния на характер накопления ^{137}Cs у птиц разных видов из этой группы. В частности, не отмечено принципиальных отличий в аккумуляции

Таблица 2. Удельная активность ^{137}Cs в печени птиц Баренцева моря, Бк/кг сырой массы
Table 2. Specific activity of ^{137}Cs in the liver of birds of the Barents Sea, Bq/kg wet weight

Район Area	Экологический статус / Ecological status	Вид Species	n, экз. n, amount	^{137}Cs
Поселок Дальние Зеленцы Dalniye Zelentsy	полифаги polyphage	морская чайка птенцы / juvenile great black-backed gull	6	$3,8 \pm 1,4$
		морская чайка взрослые / особи adult great black-backed gull	11	$17,3 \pm 6,5$
		серебристая чайка птенцы / juvenile herring gull	2	$<3,1^*$
		серебристая чайка взрослые особи / adult herring gull	11	$10,5 \pm 8$
	бентофаги benthophage	чистик, взрослые особи black guillemot, adult	5	$4,1 \pm 0,6$
		обыкновенная гага, взрослые особи common eider, adult	6	$<3,6^*$
	ихтиофаги ichthyophage	большой баклан, взрослая особь great cormorant, adult	1	$<3,5^*$
Архипелаг Семь Островов Seven Islands Archipelago	полифаги polyphage	морская чайка, взрослые особи great black-backed gull, adult	3	$17,9 \pm 6,9$
		серебристая чайка, взрослые особи herring gull, adult	3	$7,2 \pm 5,1$
	ихтиофаги ichthyophage	тонкоклювая кайра, взрослые особи common guillemot, adult	10	$<3,3^*$
		толстоклювая кайра, взрослые особи thick-billed murre, adult	10	$<3,3^*$
		моевка, взрослые особи black-legged kittiwake, adult	8	$5,1 \pm 2,1$
Архипелаг Шпицберген Svalbard	полифаги polyphage	бургомистр, взрослые особи glaucous gull, adult	6	$3,7 \pm 0,7$
		глупыш, взрослые особи northern fulmar, adult	10	$<5,3^*$
	бентофаги benthophage	обыкновенная гага, взрослые особи common eider, adult	2	$<3,6^*$

Примечание. * – минимально детектируемая активность, регистрируемая прибором на участке спектра с энергией 0,662 МэВ.
 Note. * – the minimum detected activity recorded by the device on a part of the spectrum with an energy of 0.662 MeV.

радионуклидов у обыкновенных гаг, питающихся в основном бентосными беспозвоночными, у тонкоклювых и толстоклювых кайр, большого баклана, моевок (преимущественных ихтиофагов) и у глупышей и чистиков (умеренных полифагов) (табл. 1, 2). В то же время у птиц, в рационе которых значительную долю составляют наземные корма (насекомые, ягоды, мелкие млекопитающие, пищевые отходы), удельная активность ^{137}Cs была гораздо более высокой. Наиболее показательны в этом плане серебристые и морские чайки (табл. 2).

Однако и в группе эврифагов у одного вида птиц (бургомистра) накопление ^{137}Cs было низким и не превышало значений, определенных у птиц с исключительно морским рационом. По всей веро-

ятности, это связано с тем, что бургомистры наряду с другими птицами этой группы (в частности с кайрами и моевками) не совершают значительных перелетов, ограничиваясь кочевками в пределах Баренцева моря и прилежащих районов Северной Атлантики (рис. 1). На архипелаг Шпицберген бургомистры прилетают в марте – апреле, а улетают в середине сентября. Большинство возвратов птиц, окольцованных на архипелаге, было из Гренландии (28 %), с Фарерских островов (25 %) и из Исландии (8 %). Остальные – с акватории Атлантического океана, побережий Норвегии и России [24].

Для морских и серебристых чаек, гнездящихся на побережье Баренцева моря, характерны протяженные сезонные миграции. Согласно данным

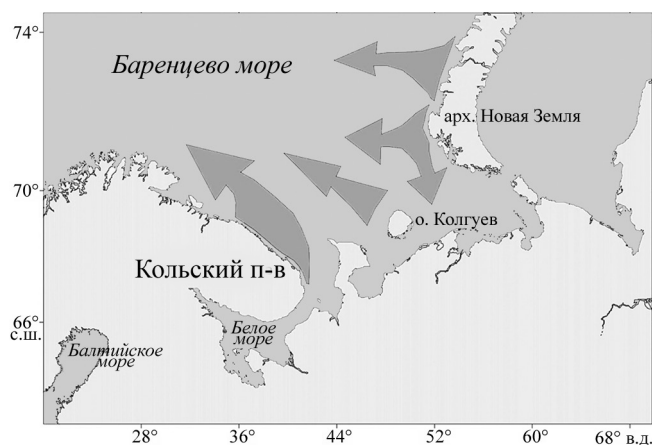


Рис. 1. Основные направления осенней миграции кайр и меевок [9].

Fig. 1. The main routes of the autumn migrations of murre and black-legged kittiwake [9].

кольцевания [25], морские чайки способны совершать перелеты на побережья Северного, Черного и Каспийского морей (рис. 2). Морские чайки баренцевоморской популяции могут зимовать в Северо-Восточной Англии [26]. Скандинавская популяция серебристых чаек зимует как в Северном море, так и на побережье Ботнического залива (Балтика). Есть данные о встречах окольцованных взрослых серебристых чаек на побережье Великобритании (февраль) и Германии (январь) [26]. В весенне-осенний период птицы кочуют по всему побережью Скандинавского полуострова, в зависимости от состояния кормовой базы того или иного района [24]. Вероятно, частая смена мест обитания и длительное пребывание в антропогенных ландшафтах может быть причиной получения искусственных радионуклидов.

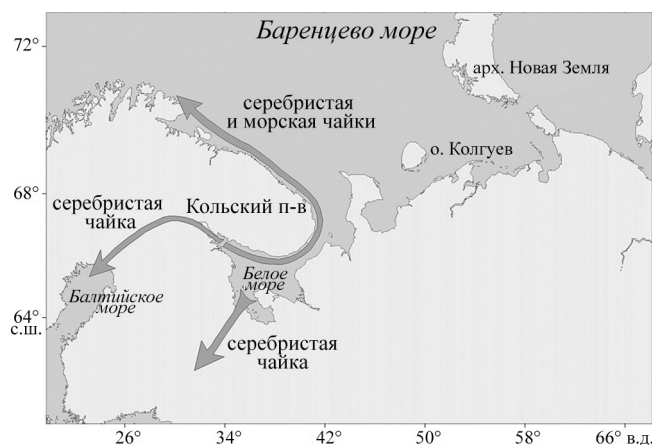


Рис. 2. Основные пути осенней миграции серебристых и морских чаек [9].

Fig. 2. The main routes of autumn migrations of herring and great black-backed gulls [9].

Изменения биохимических параметров печени и крови в птицах с разным содержанием ^{137}Cs . Данные по среднему содержанию ^{137}Cs в печени исследованных птиц представлены в таблице 3. Различия в удельной активности ^{137}Cs у особей разных видов и полов не определены. Вероятно, это связано со сходством пищевых рационов морских и серебристых чаек в период гнездования и однородностью распространения ^{137}Cs в объектах окружающей среды на Восточном Мурмане [27; 28].

На основании результатов гамма-спектрометрических измерений все исследованные птицы разделены на две группы в зависимости от удельной активности ^{137}Cs в печени. Группа I ($n = 22$) – птицы, в печени которых среднее значение активности ^{137}Cs составляло $19,7 \pm 6,5$ Бк/кг сырой массы. В некоторых случаях регистрировали относительно высокие значения активности ^{137}Cs в печени – 33,9, 49,9 и 75,9 Бк/кг сырой массы. Группа II ($n = 18$) – птицы, у которых удельная активность ^{137}Cs в печени была ниже предела обнаружения гамма-спектрометром ($< 3,6$ Бк/кг сырой массы). В настоящем исследовании животные группы II служили контролем.

Сравнительный анализ показал, что в печени птиц группы I процессы ПОЛ идут более интенсивно, чем в печени птиц группы II. У птиц с высоким содержанием ^{137}Cs наблюдалось повышение уровня МДА на 30,6 % ($p < 0,05$) (табл. 4). Аналогичные результаты получены при исследовании птенцов мухоловки-пеструшки из районов техногенного загрязнения [29], в результате которого установлено увеличение МДА в печени загрязненных птиц на 30,0 % по сравнению с особями из чистых районов. ПОЛ – это универсальный биологический процесс, продукты которого участвуют в регуляции структурно-функционального состояния мембран, активности ферментов, пролиферации, в синтезе различных биологически активных соединений, в адаптации организмов к условиям среды [30; 31]. При нормальных условиях в любом организме ПОЛ осуществляется на определенном постоянном уровне благодаря деятельности системы антиоксидантной защиты.

Исследование активности каталазы в печени птиц выявило ее повышение у птиц группы I на 8,2 % по сравнению с птицами группы II (табл. 4). Концентрация общих каротиноидов и витамина А в печени птиц группы I была выше, чем в контрольной группе, на 30,5 и 57,1 % ($p < 0,05$) соответственно. Сходные результаты получены при исследовании действия антропогенных факторов на организм рыб [32].

Установлено, что уровень A_m в плазме крови у птиц группы I был в 1,5 раза выше ($p < 0,01$), чем группы II (табл. 4). Альбумин может изменять свою структуру практически при всех нарушениях обмена веществ и интоксикации организма [33]. Это связано, по-видимому, с его транспортной функцией в отношении как метаболитов, так и посторонних веществ, поступающих в кровь в больших количествах. Изменение структуры белка выражается в появлении различных модифицированных форм альбумина (например в результате гликозилирования и модификации аминокислотных остатков). Несмотря на то, что эти изменения являются неспецифическими, повышение уровня модифицированного альбумина свидетельствует о нарушении обмена веществ и об интоксикации организма [33].

Для оценки действия факторов среды на живые организмы довольно широко применяется микроядерный тест, который показывает неспецифическую реакцию организма в ответ на действие различных стрессовых факторов [18; 34]. Увеличение микроядерных нарушений в эритроцитах крови отмечены у животных из загрязненных районов Астраханской области, а также в лимфоцитах крови облученных людей – ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС [29; 35]. Полученные нами результаты показали, что у чаек с повышенной удельной активностью ^{137}Cs в печени наблюдается двукратное увеличение количества микроядерных нарушений (14,1 на 1000 эритроцитов, $p < 0,05$) по сравнению с птицами контрольной

Таблица 3. Удельная активность ^{137}Cs в печени половозрелых чаек, Бк/кг сырой массы

Table 3. Specific activity of ^{137}Cs in the liver of mature gulls, Bq/kg wet weight

Вид Species	Пол Sex	Объем выборки, экз. / Sample size, amount	^{137}Cs
<i>Larus marinus</i>	♀	7	$13,7 \pm 7,8$
		13	$16,4 \pm 6,8$
<i>Larus argentatus</i>	♀	9	$10,6 \pm 9,4$
		11	$7,5 \pm 4,2$

группы (7,8 на 1000 эритроцитов). Повышенный показатель может быть связан не только с радиоактивностью, вероятно влияние на систему крови птиц и естественных факторов, к которым можно отнести неблагоприятные условия среды (погодные, температурные, кормовые и др.) [36].

Приведенные в работе материалы показывают, что птицы, наиболее тесно связанные с Баренцевым морем, содержали низкие уровни радиоактивного цезия. Исключение составили морские и серебристые чайки. Причиной большего накопления ^{137}Cs в печени послужили особенности их миграционного поведения и разнообразие пищевого рациона, в котором значительную долю составляют корма, собираемые на суше. Чайки добыты на территории пос. Дальние Зеленцы, где распределение ^{137}Cs в почве, как и на всем Кольском полуострове, не превышало $0,1 \text{ Ки/км}^2$. По данным наблюдений

Таблица 4. Биохимические показатели антиоксидантной системы защиты и ПОЛ в печени морских и серебристых чаек в зависимости от удельной активности ^{137}Cs

Table 4. Biochemical parameters of antioxidant protection system and lipid peroxidation in gulls liver depending on specific activity of ^{137}Cs .

Показатель Parameter	Исследованные группы птиц Bird groups	
	группа I / group I, $n = 22$	группа II / group II, $n = 18$
ПОЛ, МДА нмоль/г ткани Lipid peroxidation, malonic dialdehyde nmol / g tissue	$83,4 \pm 4,8^*$	$53,4 \pm 2,1$
Активность каталазы, ммоль/мин г белка Catalase activity, mmol / min g protein	$277,8 \pm 26,6$	$302,6 \pm 24,1$
Общие каротиноиды, г/100 г сырой ткани Total carotenoids, g / 100 g wet tissue	$4,1 \pm 0,8$	$2,85 \pm 0,4$
Витамин А, г/100 г сырой ткани Vitamin A, g / 100 g of wet tissue	$60,4 \pm 7,3^*$	$34,5 \pm 4,8$

Примечание. Для биохимических показателей приведены средние значения $\pm$ ошибка среднего. * – различия достоверны относительно показателей незагрязненных птиц ($p < 0,05$) по непараметрическому критерию Уилкоксона.

Note. For biochemical parameters, mean values are given $\pm$ error of the mean. * – the differences are significant with respect to indicators of uncontaminated birds ($p < 0.05$) according to the Wilcoxon nonparametric criterion.

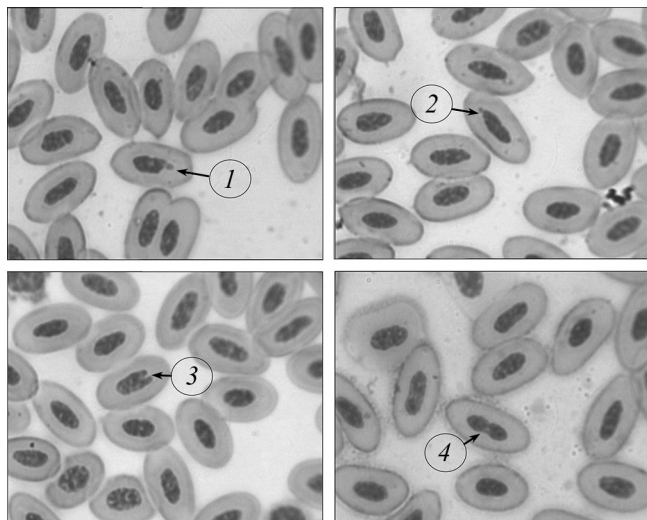


Рис. 3. Зрелые эритроциты периферической крови чаек с микроядерными нарушениями (по типам микроядер, описанных в работе [18]): 1 – оформленные микроядра; 2 – микроядра с мостиками; 3 – инвагинации ядра; 4 – перетяжки ядра.

Fig. 3. Micronucleus disorders of mature erythrocytes of peripheral blood gulls (by types of micronucleus, described in [18]): 1 – micronucleation; 2 – micronucleus with bridges; 3 – micronucleus invagination; 4 – micronucleus constriction.

радиологической лаборатории центра Госсанэпиднадзора Мурманской области, максимальный уровень радиации (мощности экспозиционной дозы) в населенных пунктах региона в начале 2000-х гг. изменялся в пределах 5–28 мкР/час, что соответствует флуктуациям естественного природного фона [28; 37]. В районе исследований содержание ^{137}Cs в пробах воды и донных отложений составляло 3,6 Бк/м и 5,0 Бк/кг соответственно. Удельная активность ^{137}Cs в рыбе не превышала 0,2 Бк/кг, в ягодах 2 Бк/кг и в макрофитах 1,8 Бк/кг. Уровни загрязнения ^{137}Cs среды и биоты практически не отличались от уровней, обнаруженных в других районах [38]. В организм чаек, являющихся конечным звеном пищевой цепи в морских и наземных экосистемах района исследования, ^{137}Cs мог поступить

по пищевым цепям: вода → макрофиты → птица, вода → рыба → птица, почва → ягоды → птица и др. Период полувыведения ^{137}Cs из печени птиц составляет 90 дней [6], следовательно, птицы могли получить радионуклиды ранее и в других районах. Различия в удельной активности ^{137}Cs у морских и серебристых чаек, обитающих на относительно чистой территории пос. Дальние Зеленцы, возможно, обусловлены использованием ими в качестве корма отходов с многочисленных свалок, расположенных на побережье региона. Птицы также могли получить случайную дозу радиоактивного загрязнения во время кочевок, питаясь на акваториях, включенных в активную хозяйственную деятельность заливов и губ Кольского полуострова, или в период сезонной миграции в районе зимовок (в местах сбросов западноевропейских радиохимических предприятий) [26].

Таким образом, морские птицы, питание которых происходит не только в водной, но и в наземной среде, накапливают больше ^{137}Cs , чем виды, корма которых добываются исключительно в море. Возможно, инкорпорированный в печени радионуклид приводит к достоверному изменению некоторых биохимических параметров организма: увеличению интенсивности ПОЛ и витамина А в печени, повышенному содержанию модифицированной формы альбумина в плазме, а также микроядерным нарушениям в эритроцитах. Сходные результаты были получены при изучении влияния последствий аварий на Чернобыльской АЭС и на «Фукусиме-1» на птиц, обитающих в загрязненных зонах [39].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60249 «Радиоактивное загрязнение и вторичные источники антропогенных изотопов в морях Северного Ледовитого океана на рубеже XX–XXI веков».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блиновская Я.Ю., Бочарников В.Н. 2008. Птицы в экосистемах морского побережья как индикатор чувствительности прибрежно-морской зоны к нефтяному загрязнению. *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2: 35–39.
2. Fort J., Grémillet D., Traisnel G., Amélineau F., Bustamante P. 2016. Does temporal variation of mercury levels in Arctic seabirds reflect changes in global environmental contamination, or a modification of Arctic marine food web functioning? *Environmental pollution*. 211: 382–388. doi: 10.1016/j.envpol.2015.12.061
3. Krivolutski D.A., Lebedeva N.V., Shuktomova I.I. 1999. Birds as objects in bioindication of radioactive pollution. *Acta Biologica Hungarica*. 50(1–3): 145–160.
4. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Лебедева Н.В. 2003. Содержание искусственных радионуклидов в птицах Баренцева и Азовского морей. *Доклады Академии наук*. 389(3): 424–426.
5. Matishov D.G., Matishov G.G. 2004. *Radioecology in northern European seas*. Berlin, Springer: 336 p.
6. Моисеев А.А., Иванов В.И. 1990. *Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене*. М., Энергоатомиздат: 252 с.
7. Лебедева Н.В., Рябцев И.А. 1999. Накопление радионуклидов в птицах. В кн.: *Биоиндикация радиоактивных загрязнений*. М., Наука: 72–85.

8. Шуктомова И.И. 1999. Роль птиц в накоплении и перераспределении тяжелых естественных радионуклидов в разных радиоэкологических условиях северной тайги. В кн.: *Биоиндикация радиоактивных загрязнений*. М., Наука: 212–213.
9. Saito R., Kabeya M., Nemoto Y., Oomachi H. 2019. Monitoring ¹³⁷Cs concentrations in bird species occupying different ecological niches; game birds and raptors in Fukushima Prefecture. *Journal of Environmental Radioactivity*. 197: 67–73. doi: 10.1016/j.jenvrad.2018.10.016
10. Лебедева Н.В. 1999. *Экотоксикология и биогеохимия географических популяций птиц*. М., Наука: 199 с.
11. *Птицы северных и южных морей России: фауна, экология*. 2013. Апатиты, изд-во КНЦ РАН: 294 с.
12. Морозкина Т.С., Захаревский А.С., Суколинский В.И., Тройская Н.Н., Рутковская Ж.А., Ермаков Н.Б., Стома О.В. 1993. Содержание каротиноидов и витаминов АО-действия в организме животных, находившихся на загрязненной радионуклидами территории. *Здравоохранение Беларуси*. 8: 11–15.
13. Полякова Н.В., Шишкина Л.Н. 1995. Воздействие γ-радиации разной мощности на процессы перекисного окисления липидов в тканях мышей. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 35(2): 181–188.
14. Чаяло П.П., Береза В.Я., Чоботько Г.М. 1991. Свободнорадикальные процессы и антиоксидантные системы крови в отдаленные сроки после острой лучевой болезни. *Медицинская радиология*. 36(5): 20–21.
15. Шишкина Л.Н., Кудяшева А.Г., Загорская Н.Г., Шевченко О.Г., Таскаев А.И. 2011. Участие процессов перекисного окисления липидов в механизме адаптации мышевидных грызунов к радиоактивному загрязнению зоны Чернобыльской АЭС. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 51(1): 185–200.
16. Белопольский Л.О. 1957. *Экология морских колониальных птиц Баренцева моря*. М. – Л., изд-во АН СССР: 460 с.
17. Краснов Ю.В., Матишов Г.Г., Галактионов К.В., Савинова Т.Н. 1995. *Морские колониальные птицы Мурмана*. СПб., Наука: 224 с.
18. Жулева Л.Ю., Дубинин Н.П. 1994. Использование микроядерного теста для оценки экологической обстановки в районах Астраханской области. *Генетика*. 30(7): 999–1004.
19. Esterbauer H., Cheesman K.H. 1990. Determination of aldehydic lipid peroxidation products: malonaldehyde and 4-hydroxynonenal. In: *Methods in enzymology*. Vol. 186. *Oxygen Radicals in Biological Systems Part B: Oxygen Radicals and Antioxidants*. Elsevier: 407–421. doi: 10.1016/0076-6879(90)86134-H
20. Королюк М.А., Иванова Л.И., Майорова И.Г., Токарев В.Е. 1988. Метод определения активности каталазы. *Лабораторное дело*. 1: 16–19.
21. Карнаухов В.Н., Федоров Г.Г. 1982. *Методы определения содержания каротиноидов и витамина А в тканях животных*. Пушино, изд-во НЦБИ АН СССР: 29 с.
22. Троицкий Г.В., Борисенко С.Н., Касимова Г.А. 1986. Инвертированный метод обработки электрофореграмм для выявления модифицированных форм альбумина. *Лабораторное дело*. 4: 229–231.
23. Успенская Е.Ю. 1999. Приближенные методы оценки доз в радиоэкологических исследованиях диких животных. В кн.: *Биоиндикация радиоактивных загрязнений*. М., Наука: 297–303.
24. *The status of marine birds breeding in the Barents Sea region*. 2000. Tromsø, Norsk Polarinstitut: 213 p.
25. Татаринкова И.П. 1970. Результаты кольцевания больших морских и серебристых чаек на Мурмане. В кн.: *Труды Кандалакинского государственного заповедника*. Вып. 8. Мурманск, Книжное изд-во: 149–181.
26. Краснов Ю.В., Николаева Н.Г. 1998. Экология и морфология морских и серебристых чаек Баренцева моря. В кн.: *Биология и океанография Карского и Баренцева морей (по трассе Севморпути)*. Апатиты, изд-во КНЦ РАН: 260–325.
27. *Радиация. Дозы, эффекты, риск*. 1988. М., Мир: 79 с.
28. *Состояние окружающей природной среды Мурманской области на Кольском полуострове в 2000 году*. 2001. URL: https://gov-murman.ru/upload/iblock/49e/2000_.pdf (дата обращения: 11.04.2019).
29. Степанова З.Л., Лемешева С.А. 1993. Влияние техногенного загрязнения на содержание витаминов А и Е и перекисного окисления липидов в печени мухоловки-пеструшки. *Экология*. 6: 77–79.
30. Барабой В.А., Олейник С.А. 1999. Стресс в развитии радиационного поражения. Роль регуляторных механизмов. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 39(4): 438–443.
31. Бурлакова Е.Б., Сторожок Н.М., Храпова Н.Г. 1988. О взаимосвязи активности антиоксидантов и окисляемости субстратов в липидах естественного происхождения. *Биофизика*. 33(5): 781–786.
32. Руднева И.И., Скуратовская Е.Н., Вахтина Т.Б. 2004. Влияние антропогенного загрязнения на активность антиоксидантных ферментов крови некоторых видов черноморских рыб. *Вісник Одеського національного університету. Біологія*. 9(5): 116–120.
33. Троицкий Г.В. 1989. Молекулярные механизмы защитных реакций организма: шкала времени, шкала специфичности. *Український біохімічний журнал*. 61(5): 3–15.
34. Аклеев А.В., Алещенко А.В., Готлиб В.Я., Кудряшова О.В., Семенова Л.П., Серебряный А.М., Худякова О.И., Пелевина И.И. 2004. Адаптивные способности лимфоцитов крови у жителей Южного Урала, подвергшихся хроническому облучению. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 44(4): 426–431.
35. Кравцов В.Ю., Федорцева Р.Ф., Логинова Ю.А., Старкова Е.В., Тюкачева М.В., Яковлев А.Ф., Никифоров А.М. 1997. Морфологические аномалии ядер типа «хвостов» в лимфоцитах и их связь с дицентрическими хромосомами у облученных пациентов. *Генетика*. 33(12): 1675–1680.
36. Лебедева Н.В., Абакумова Л.В. 2003. Комплексная гематологическая оценка состояния популяций морских и околоводных птиц. В кн.: *Современные проблемы физиологии и экологии морских животных*. Апатиты, изд-во КНЦ РАН: 272–284.
37. *Доклад о состоянии и охране окружающей среды Мурманской области в 2002 году*. 2003. URL: https://gov-murman.ru/upload/iblock/56c/2002_.pdf (дата обращения: 11.04.2019).
38. Матишов Д.Г., Усягина И.С., Касаткина Н.Е., Павельская Е.В. 2007. Особенности накопления искусственных радионуклидов в элементах прибрежных экосистем Кольского полуострова. *Доклады Академии наук*. 413(5): 683–686.

39. Møller A.P., Mousseau T.A., de Lope F., Saino N. 2007. Elevated frequency of abnormalities in barn swallows from Chernobyl. *Biology letters*. 3(4): 414–417. doi: 10.1098/rsbl.2007.0136

REFERENCES

1. Blinovskaya Ya., Bocharnikov V. 2008. [Birds in seashore ecosystems as an indicator of seashore zone sensitivity to oil pollution]. *Environmental protection in oil and gas complex*. 2: 35–39. (In Russian).
2. Fort J., Grémillet D., Traisnel G., Amélineau F., Bustamante P. 2016. Does temporal variation of mercury levels in Arctic seabirds reflect changes in global environmental contamination, or a modification of Arctic marine food web functioning? *Environmental pollution*. 211: 382–388. doi: 10.1016/j.envpol.2015.12.061
3. Krivolutski D.A., Lebedeva N.V., Shuktomova I.I. 1999. Birds as objects in bioindication of radioactive pollution. *Acta Biologica Hungarica*. 50(1–3): 145–160.
4. Matishov D.G., Matishov G.G., Lebedeva N.V. 2003. Content of artificial radionuclides in the birds of the Barents Sea and the Sea of Azov. *Doklady Biological Sciences*. 389(1–6): 157–159. doi: 10.1023/A:1023487329173
5. Matishov D.G., Matishov G.G. 2004. *Radioecology in northern European seas*. Berlin, Springer: 336 p.
6. Moiseev A.A., Ivanov V.I. 1990. *Spravochnik po dozimetrii i radiatsionnoy gigiyene*. [Handbook of dosimetry and radiation hygiene]. Moscow, Energoatomizdat: 252 p. (In Russian).
7. Lebedeva N.V., Ryabtsev I.A. 1999. [Accumulation of radionuclides in birds]. In: *Bioindikatsiya radioaktivnykh zagryazneniy*. [Bioindication of radioactive contamination]. Moscow, Nauka: 72–85. (In Russian).
8. Shuktomova I.I. 1999. [Birds role in accumulation and redistribution of heavy natural radionuclides under various conditions of northern taiga]. In: *Bioindikatsiya radioaktivnykh zagryazneniy*. [Bioindication of radioactive contamination]. Moscow, Nauka: 212–213. (In Russian).
9. Saito R., Kabeya M., Nemoto Y., Oomachi H. 2019. Monitoring ¹³⁷Cs concentrations in bird species occupying different ecological niches; game birds and raptors in Fukushima Prefecture. *Journal of Environmental Radioactivity*. 197: 67–73. doi: 10.1016/j.jenvrad.2018.10.016
10. Lebedeva N.V. 1999. *Ekotoksikologiya i biogeokhimiya geograficheskikh populyatsiy ptits*. [The Ecotoxicology and Biogeochemistry of Geographic Bird Populations]. Moscow, Nauka: 199 p. (In Russian).
11. Ptitsy severnykh i yuzhnykh morey Rossii: fauna, ekologiya. [Birds of northern and southern Russian seas: fauna, ecology]. 2013. Apatity, Kola Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences: 294 p.
12. Morozkina T.S., Zakharevskiy A.S., Sukolinskiy V.I., Troyskaya N.N., Rutkovskaya Zh.A., Ermakov N.B., Stoma O.V. 1993. [Carotenoids and antioxidant vitamins in the animal organisms that were in the radionuclide contaminated area]. *Zdravookhranenie Belarusi*. 8: 11–15. (In Russian).
13. Polyakova N.V., Shishkina L.N. 1995. [The impact of γ -radiation of different power on the processes of lipid peroxidation in the tissues of mice]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*. 35(2): 181–188. (In Russian).
14. Chayalo P.P., Bereza V.Ya., Chobotko G.M. 1991. [Free radical processes and antioxidant blood systems in the long term after acute radiation sickness]. *Meditinskaya radiologiya*. 36(5): 20–21. (In Russian).
15. Shishkina L.N., Kudyasheva A.G., Zagorskaya N.G., Shevchenko O.G., Taskayev A.I. 2011. [Participation of the lipid peroxidation processes in the adaptation mechanism of rodents to the radioactive contamination of the Chernobyl NPP Zone]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*. 51(1): 185–200. (In Russian).
16. Belopolskiy L.O. 1957. *Ekologiya morskikh kolonial'nykh ptits Barentseva morya*. [Ecology of marine colonial birds of the Barents Sea]. Moscow, Leningrad, Academy of Sciences of the USSR: 460 p. (In Russian).
17. Krasnov Yu.V., Matishov G.G., Galaktionov K.V., Savinova T.N. 1995. *Morskie kolonial'nye ptitsy Murmana*. [Marine colonial birds of Murman]. St Petersburg, Nauka: 224 p. (In Russian).
18. Zhuleva L.Yu., Dubinin N.P. 1994. [The use of micronucleus test to assess the environmental situation in areas of the Astrakhan region]. *Genetika*. 30(7): 999–1004. (In Russian).
19. Esterbauer H., Cheesman K.H. 1990. Determination of aldehydic lipid peroxidation products: malonaldehyde and 4-hydroxynonenal. In: *Methods in enzymology. Vol. 186. Oxygen Radicals in Biological Systems Part B: Oxygen Radicals and Antioxidants*. Elsevier: 407–421. doi: 10.1016/0076-6879(90)86134-H
20. Korolyuk M.A., Ivanova L.I., Mayorova I.G., Tokarev V.E. 1988. [Method for the determination of catalase activity]. *Laboratornoe delo*. 1: 16–19. (In Russian).
21. Karnaukhov V.N., Fedorov G.G. 1982. *Metody opredeleniya soderzhaniya karotinoidov i vitamina A v tkanyakh zhivotnykh*. [Methods for determining the content of carotenoids and vitamin A in animal tissues]. Pushchino, Scientific Center for Biological Research of the Academy of Sciences of the USSR: 29 p. (In Russian).
22. Troitskiy G.V., Borisenko S.N., Kasymova G.A. 1986. [Inverted electrophoregram processing method for detecting modified forms of albumin]. *Laboratornoe delo*. 4: 229–231. (In Russian).
23. Uspenskaya E.Yu. 1999. [Approximate methods for assessing doses in radioecological studies of wild animals]. In: *Bioindikatsiya radioaktivnykh zagryazneniy*. [Bioindication of radioactive contamination]. Moscow, Nauka: 297–303. (In Russian).
24. *The status of marine birds breeding in the Barents Sea region*. 2000. Tromsø, Norsk Polarinstitutt: 213 p.
25. Tatarinkova I.P. 1970. [The results of ringing large sea and silver gulls on Murman]. In: *Trudy Kandalakshskogo gosudarstvennogo zapovednika. Vyp. 8*. [Proceedings of the Kandalaksha State Reserve. Iss. 8]. Murmansk, Book publishing: 149–181. (In Russian).
26. Krasnov Yu.V., Nikolaev N.G. 1998. [Ecology and morphology of sea and silver gulls of the Barents Sea]. In: *Biologiya i okeanografiya Karskogo i Barentseva morey (po trasse Sevmorputi)*. [Biology and Oceanography of the Kara and Barents Seas (along the Northern Sea Route)]. Apatity, Kola Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences: 260–325. (In Russian).
27. *Radiatsiya. Dozy, efekty, risk*. [Radiation. Doses, Effects, Risks]. 1988. Moscow, Mir: 79 p. (In Russian).

28. *Sostoyaniye okruzhayushchey prirodnoy sredy Murmanskoy oblasti na Kol'skom poluostrove v 2000 godu*. [The state of the environment of the Murmansk Region on the Kola Peninsula in 2000]. 2001. Available at: https://gov-murman.ru/upload/iblock/49e/2000_.pdf (accessed 11 April 2019). (In Russian).
29. Stepanova Z.L., Lemesheva S.A. 1993. [Effect of technogenic pollution on the content of vitamins A and E and lipid peroxidation in the liver of pied flycatchers]. *Ekologiya*. 6: 77–79. (In Russian).
30. Baraboy V.A., Oleynik S.A. 1999. [Stress in the development of radiation injury. The role of regulatory mechanisms]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*. 39(4): 438–443. (In Russian).
31. Burlakova E.B., Storozhok N.M., Khrapova N.G. 1988. [On the relationship between the activity of antioxidants and the oxidizability of substrates in natural lipids]. *Biofizika*. 33(5): 781–786. (In Russian).
32. Rudneva I.I., Skuratovskaya E.N., Vahtina T.B. 2004. [Effect of anthropogenic impact on antioxidant enzyme activities in blood of some Black sea fishes]. *Visnyk Odes'koho natsional'noho universytetu. Biologiya*. 9(5): 116–120. (In Russian).
33. Troitsky G.V. 1989. [Molecular mechanisms of defense reactions of the body: time scale, specificity scale]. *Ukrainskiy biokhimicheskiy zhurnal*. 61(5): 3–15. (In Russian).
34. Akleev A.V., Aleshchenko A.V., Gotlib V.Ya., Kudryashova O.V., Semenova L.P., Serebryanyi A.M., Khudyakova O.I., Pelevina I.I. 2004. [Adaptive response of blood lymphocytes of the inhabitants of the South Ural chronically exposed to radiation]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*. 44(4): 426–431. (In Russian).
35. Kravtsov V.Yu., Fedortseva R.F., Loginova Yu.A., Starkova E.V., Tyukacheva M.V., Yakovlev A.F., Nikiforov A.M. 1997. Morphologically abnormal “tailed” lymphocyte nuclei and their association with dicentric chromosomes in patients exposed to ionizing radiation. *Russian Journal of Genetics*. 33(12): 1430–1435.
36. Lebedeva N.V., Abakumova LV. 2003. [Complex hematological estimation of the state of the sea and near water birds populations]. In: *Sovremennye problemy ekologii i fiziologii morskikh zhivotnykh*. [Current problems of physiology and ecology of marine animals]. Apatity, Kola Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences: 272–284. (In Russian).
37. *Doklad o sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy Murmanskoy oblasti v 2002 godu*. [The state of the environment of the Murmansk Region in 2002]. 2003. Available at: https://gov-murman.ru/upload/iblock/56c/2002_.pdf (accessed 11 April 2019). (In Russian).
38. Matishov D.G., Usyagina I.S., Kasatkina N.E., Pavelskaya E.V. 2007. [Accumulation peculiarities of artificial radionuclides in the elements of coastal ecosystems on the Kola Peninsula]. *Doklady Earth Sciences*. 413(2): 448–451. doi: 10.1134/S1028334X07030294
39. Möller A.P., Mousseau T.A., de Lope F., Saino N. 2007. Elevated frequency of abnormalities in barn swallows from Chernobyl. *Biology letters*. 3(4): 414–417. doi: 10.1098/rsbl.2007.0136

Поступила 12.04.2019