

НИКОЛАЙ ВЛАДИМИРОВИЧ МЕДВЕДЕВ

доктор биологических наук, старший научный сотрудник,  
профессор кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета ПетрГУ

*nmedvedev@petrsu.ru*

АЛЕКСАНДР КОНСТАНТИНОВИЧ МОРОЗОВ

заведующий аналитической лабораторией Института леса  
КарНЦ РАН

*amorozov@krc.karelia.ru*

ТЕРО СИПИЛЯ

Ph. D., Сектор природного наследия Восточного отделения  
Лесной службы Финляндии; заведующий сектором при-  
родного наследия

*tero.sipila@metsa.fi*

## ЛАДОЖСКАЯ КОЛЬЧАТАЯ НЕРПА КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

В статье приводятся результаты исследования концентрации тяжелых металлов в волосяном покрове взрослых тюленей *Phoca hispida ladogensis* Nordq. и их щенков, погибших в 2000–2002 годах. На основе сравнения этих данных с результатами, полученными десятью годами ранее (в начале 90-х годов прошлого века), анализируется динамика концентрации поллютантов в организме ластоногих и делается вывод о снижении пресса техногенно-го загрязнения на популяцию нерпы и на экосистему Ладожского озера в указанный период времени.

Ключевые слова: ладожская нерпа, концентрация, тяжелые металлы, техногенное загрязнение, динамика, экосистема

### ВВЕДЕНИЕ

Ладожское озеро – крупнейшее озеро Европы общей площадью 17891 км<sup>2</sup>, заключающее в себе 837 км<sup>3</sup> воды, площадь его водосборного бассейна – 258 тыс. км<sup>2</sup> [15]. В пределах этого бассейна располагаются порядка 500 различных предприятий, их сточные воды содержат около 600 различных загрязняющих субстанций, 300 из которых считаются токсичными. По данным Г. Т. Фрумина и др. [16], в Ладожское озеро ежегодно поступает 400 тыс. т сточных вод, содержащих опасные загрязнители, среди них тяжелые металлы, хлорорганические соединения, фенолы, детергенты и др. Основные потребители и загрязнители ладожской воды – прежде всего предприятия целлюлозно-бумажной промышленности, цветной и черной металлургии, сельское хозяйство и многие другие.

Ладожское озеро населяет реликтовый подвид ледниковой эпохи – ладожская кольчатая нерпа, подвид кольчатой нерпы, ведущей свое проис-

хождение, как и два других близкородственных подвида – нерпа оз. Саймаа (*Ph. h. saimensis* Nordq.) и нерпа Балтийского моря (*Ph. h. botnica* Nordq.), от собственно арктической кольчатой нерпы (*Ph. h. hispida* Schreb.). Ладожская нерпа занесена в Красные книги РСФСР [9], СССР [10], Карелии [6], [7], [8], Восточной Фенноскандии [21] и в список уязвимых видов животных Всемирного союза охраны природы [19].

Попадая в озеро, токсиканты по пищевой цепи водоросли – зоопланктон – хищный зоопланктон – рыба – нерпа попадают в организм животного, где их концентрация в сотни тысяч раз превышает содержание токсичных веществ в воде. Являясь долгоживущим животным и благодаря избирательному способу охоты, нерпа способна накапливать такие количества токсикантов, которые могут оказывать крайне негативное влияние на организм тюленя. Одновременно с этим содержание поллютантов в органах нерпы отражает их общую нагрузку на экосистему Ладожского озера.

Одним из важнейших путей освобождения организма от токсикантов является накопление их в периодически сменяемых тканях (например, оперение птиц, волосяной покров и рога животных [11], [3]). Расчеты, выполненные К. Хондой с соавторами [17], показали, что в волосяном покрове японской антилопы – серао *Capricornis crispus* – заключено до 40 % всей содержащейся в организме ртути.

Уже упомянутые работы и работы, выполненные нами ранее [20], позволили прийти к заключению, что во многих случаях наружные покровы животных могут служить более информативным материалом при оценке степени загрязненности зверей и птиц антропогенными токсикантами, чем их внутренние органы и ткани, даже такие общепризнанные органы-накопители, как печень и почки. Например, определенная нами концентрация свинца в печени, почках и мышечной ткани ладожской нерпы была в 1,5 раза выше таковой в аналогичных органах нерпы Белого моря [20], [11], [4], [3], а в волосяном покрове зверей наблюдалось уже четырехкратное превышение содержания токсиканта. Концентрация цинка в волосяном покрове ладожской нерпы была достоверно в 2 раза выше, чем в волосяном покрове беломорских тюленей, хотя во внутренних органах и тканях животных статистически значимой разницы не прослеживалось. Все это позволяет сделать вывод о возможности использования волосяного покрова зверей в качестве индикатора загрязнения природной среды тяжелыми металлами, в данном случае – экосистемы Ладожского озера. Цель нашей работы – оценить изменения в нагрузке техногенного загрязнения на популяцию ладожской нерпы с 1990 по 2002 год.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пробы волосяного покрова отбирались от особей ладожской нерпы, погибших в орудиях рыболовного промысла. Следует особо подчеркнуть, что выборки ластоногих 1990–1993 годов и 2000–2002 годов были идентичны как по половозрастному составу, так и по основным факто-

рам, которые влияют на количество токсикантов в организме. У добывших взрослых тюленей возраст был определен путем подсчета годовых колец на поперечном шлифе клыка по методу Г. А. Клевезаль [5].

Образцы натального волосяного покрова новорожденных щенков нерпы были собраны в камерах детородных убежищ тюленей во время изучения особенностей их зимовки. В связи с тем что этого материала было недостаточно для корректного определения в нем токсикантов в каждом отдельном случае, из него была сформирована объединенная проба для последующего анализа. Концентрация тяжелых металлов (Hg, Cd, Pb, Cu, Ni, Zn, Cr, Fe и Mn) в волосяном покрове кольчатой нерпы определена методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Образцы высушивались при 105 °C до постоянного веса и затем подвергались мокрому озолению азотной кислотой марки «осч» при нагревании с добавлением H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> высокой чистоты во фторопластовой посуде до полного разложения. Определение металлов проводилось на атомно-абсорбционном спектрофотометре AA-6800 «Shimadzu» в пламенном варианте «ацетилен-воздух» с дейтериевой коррекцией фона.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Концентрация тяжелых металлов, определенная в волосяном покрове взрослых особей ладожской кольчатой нерпы с 1990 по 2002 год, представлена в табл. 1. Из этих данных видно, что в течение 10-летнего периода концентрация ряда элементов – опасных загрязнителей природной среды значительно снизилась. Так, концентрация ртути уменьшилась в 2 раза ( $p < 0,05$ ), меди – в 3 раза ( $p < 0,05$ ), кадмия – в 3 раза ( $p < 0,001$ ), цинка – почти в 6 раз ( $p < 0,001$ ). Уровень никеля снизился в 1,6 раза (но различия статистически недостоверны). Из всех проанализированных металлов только свинец продемонстрировал не уменьшение, а полуторакратное увеличение средней концентрации (различия статистически не достоверны).

Таблица 1

Концентрация тяжелых металлов (мкг/г сухого веса) в волосяном покрове ладожской нерпы

Год добычи	Hg	Cd	Pb	Cu	Ni	Zn	Cr	Fe	Mn
	M ± m min-max n	M ± m min-max n	M ± m min-max n	M ± m min-max n	M ± m min-max n	M ± m min-max n	M ± m min-max n	M ± m min-max n	M ± m min-max n
1990–1993	17,49 ± 4,00 4,80–79,5 18	0,96 ± 0,11 0,32–2,00 23	6,34 ± 1,90 0,34–40,0 23	22,5 ± 6,02 4,6–148,4 23	4,11 ± 0,82 0,01–15,0 18	323,8 ± 59,0 110,5–1466 23	не опр.	не опр.	не опр.
2000–2002	7,87 ± 1,09 1,49–13,6 12	0,32 ± 0,07 0,04–1,26 23	9,49 ± 1,45 2,30–28,7 22	7,51 ± 0,99 1,25–23,5 23	2,56 ± 6,08 0,55–9,32 23	57,73 ± 6,08 42–95,1 11	4,02 ± 0,89 0,57–19,9 11	266,8 ± 36,9 158–560 11	21,36 ± 4,71 5,94–61,8 11

Натальный волосяной покров новорожденных щенков ладожской нерпы содержал значительно меньшее количество тяжелых металлов (табл. 2), чем шерсть взрослых особей. Из представленных в табл. 1 и 2 данных видно, что концентрация и токсичных металлов (Hg, Cd, Pb), и жизненно важных элементов (железо) в волосяном покрове новорожденных щенков нерпы в несколько раз, а иногда и на порядок ниже, чем у взрослых особей. Уровень свинца у щенков ниже в 33,5 раза, кадмия – в 8 раз, ртути – в 10 раз, никеля – в 2,5 раза, хрома и железа – в 6 раз, марганца – в 20 раз. И только по уровню цинка не обнаружено различий между щенками и взрослыми нерпами.

Таблица 2

Концентрация тяжелых металлов (мкг/г сухого веса) в натальном волосяном покрове новорожденных щенков ладожской нерпы (объединенная проба 2000–2002 годов)

Pb	Cd	Hg	Ni	Zn	Cr	Fe	Mn
0,28	0,04	0,8	1,04	45,05	0,71	44,55	1,08

Исследования, выполненные в Финляндии на рубеже 70–80-х годов XX века по оценке влияния тяжелых металлов на популяцию нерпы оз. Саймаа [18], и наши работы по определению концентрации токсикантов в органах и тканях ладожской нерпы [11], [13], [20] в начале 90-х годов прошлого столетия показали, что концентрация ртути в натальном волосяном покрове новорожденных щенков нерпы была в несколько раз выше, чем таковая в волосяном покрове сеголетков и годовиков. Это обусловлено поступлением значительного количества ртути в организм щенка из организма матери через плацентарный барьер и во время молочного вскармливания. При переходе детенышей нерпы к самостоятельному питанию концентрация ртути в их наружных покровах резко снижается и вновь растет начиная со второго года жизни вследствие возрастной аккумуляции металла в организме. Наши новые данные показали, что концентрация ртути в волосяном покрове щенков нерпы в 3,5 раза ниже, чем таковая у сеголетков (0,8 и 2,73 мкг/г соответственно). Следовательно, и этот факт также свидетельствует о том, что степень загрязненности ртутью популяции нерпы уменьшилась в результате снижения загрязненности этим поллютантом экосистемы Ладожского озера в целом.

В наших предыдущих исследованиях установлено, что в 90-е годы прошлого века самые токсичные тяжелые металлы (ртуть, свинец и кадмий) распределялись в волосяном покрове ладожских нерп следующим образом: Hg >> Pb > Cd [20], [11], [4], [3]. В материале, добытом спустя 10 лет, наблюдается иной характер распределения концентрации ртути, свинца и кадмия, а именно: Hg ≈ Pb >> Cd как очевидное

следствие резкого сокращения концентрации этих поллютантов (за исключением свинца) в организме нерпы из-за уменьшения их поступления в экосистему Ладожского озера [12], [13].

Наблюдаемое двукратное уменьшение концентрации Hg и Ni в волосяном покрове нерпы и, следовательно, в экосистеме Ладоги, скорее всего, обусловлено сокращением объемов целлюлозно-бумажного производства в бассейне озера, в частности закрытием в 1988 году и последующим перепрофилированием целлюлозно-бумажного завода в Приозерске. Резкое снижение концентрации Cd может быть связано с сокращением объемов деятельности деревообрабатывающих, металлургических и глиноземных производств. Вместе с тем, учитывая длительный период полувыведения из организма тяжелых металлов (например, для кадмия он составляет порядка 25 лет [14]), в популяционном аспекте проблемы следует вести речь не столько об уменьшении концентрации тяжелых металлов в организме ладожской нерпы, сколько о сокращении в популяции доли «пораженных» особей, то есть тех тюленей, организм которых содержит значительное количество токсикантов. Таким образом, уменьшение некоторого «среднего уровня» загрязненности популяции тем или иным ксенобиотиком происходит не столько за счет снижения «индивидуального уровня» загрязненности, присущего каждой из особей, сколько за счет сокращения в популяции доли максимально загрязненных особей [1].

Сравнение концентрации кадмия в натальном волосяном покрове новорожденных щенков с таковой в волосяном покрове взрослых нерп (отношение 1:8) свидетельствует о продолжении аккумуляции этого металла в озерной биоте, хотя темпы этого процесса значительно ниже, чем мы наблюдали десятью годами ранее. Среди проанализированных металлов только свинец продемонстрировал не уменьшение, а даже некоторое увеличение концентрации. Логично предположить, что подобный тренд обусловлен резким увеличением в последние десятилетия количества автотранспорта и широким использованием в 1990-е годы этилированных низкокачественных сортов бензина. Кроме того, сравнение уровня свинца в натальном волосяном покрове новорожденных щенков с таковым в волосяном покрове взрослых нерп (отношение 1:30) говорит о том, что темп накопления этого металла в ладожской биоте остается высоким.

Хорошо известно, что среди абиотических факторов, влияющих на накопление химических элементов в тканях наземных и водных позвоночных, одним из наиболее значимых является концентрация доминирующих элементов в той или иной геохимической провинции, в границах которой эти животные обитают [22]. В нашем случае установлено, что факт столь значительного сокращения в течение 10 лет содержания в организме ладожской нерпы ртути, кадмия и никеля служит дополнительным подтверждением

того, что относительно экосистемы Ладожского озера, в частности обитающих в озере тюленей, на первое место по своей значимости выходит именно антропогенное загрязнение, а не особенности геохимических условий.

## ВЫВОДЫ

В современных условиях нагрузка тяжелых металлов (в первую очередь, ртути и свинца) на популяцию ладожской кольчатой нерпы весьма значительна. Эти токсиканты являются серьезным лимитирующим фактором для популяции, но на сегодняшний день непосредственной угрозы существованию нерпы в Ладожском озере они не представляют.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Неоценимую помощь в сборе экспериментального материала, послужившего основой для написания данной работы, оказали В. И. Богданов, М. Т. Макарова, М. А. Терехов, О. Стенмани, Б. Вестерлинг, М. В. Веревкин.

Особую благодарность хочется адресовать С. Л. Ерофеевской – сотруднику аналитической лаборатории Учреждения Российской академии наук Института леса Карельского научного центра РАН за помощь в выполнении химических анализов.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке фонда Raija ja Ossi Tuuliaisen Säätiö.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безель В. С., Большаков В. Н., Воробейчик Е. Л. Популяционная экоток-сикология. М.: Наука, 1994. 80 с.
2. Ивантер Э. В. Популяционная экология мелких млекопитающих таежного Северо-Запада СССР. Л.: Наука, 1975. 246 с.
3. Ивантер Э. В., Медведев Н. В. Экологическая токсикология природных популяций птиц и млекопитающих Севера. М.: Наука, 2007. 229 с.
4. Ивантер Э. В., Медведев Н. В., Паничев Н. А. Содержание тяжелых металлов в организме ладожской кольчатой нерпы // Экология. 1998. № 2. С. 116–120.
5. Клевезаль Г. А. Регистрирующие структуры млекопитающих в зоологических исследованиях. М.: Наука, 1988. 286 с.
6. Красная книга Карелии. Петрозаводск: Карелия, 1985. 184 с.
7. Красная книга Карелии. Петрозаводск: Карелия, 1995. 286 с.
8. Красная книга Республики Карелия. Петрозаводск: Карелия, 2007. 368 с.
9. Красная книга РСФСР (животные). М., 1983. 456 с.
10. Красная книга СССР: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных и растений. М., 1984. 392 с.
11. Медведев Н. В. Птицы и млекопитающие Карелии как биоиндикаторы химических загрязнений. Петрозаводск, 1998. 135 с.
12. Медведев Н. В. Комплексная оценка загрязненности природной среды с использованием теплокровных животных в качестве биоиндикаторов // Тез. докладов юбилейной науч. конф., посвященной 275-летию РАН. Петрозаводск, 2001 С. 88–89.
13. Медведев Н. В., Сипиля Т., Паничев Н. А. и др. Динамика концентрации тяжелых металлов в органах и тканях ладожской кольчатой нерпы с 1990 по 2000 г. // Динамика популяций охотничьих животных Северной Европы: Материалы III Международного симпозиума, 16–20 июня 2002 года, г. Сортавала, Республика Карелия, Россия. Петрозаводск, 2003. С. 130–134.
14. Москалев Ю. М. Минеральный обмен. М.: Наука, 1985. 288 с.
15. Drabkova V. G., Rumyantsev V., Sergeeva L. V., Slepukhina T. Ecological problems of Lake Ladoga: causes and solutions: The First International Lake Ladoga Symposium // Hydrobiologia. 1996. Vol. 322. P. 1–7.
16. Frumin G. T., Chernykh O. A., Krylenkova N. L., Scherbak V. A. Lake Ladoga: chemical pollution and biochemical self-purification: The First International Lake Ladoga Symp. // Hydrobiologia. 1996. Vol. 322. P. 143–147.
17. Honda K., Ichihashi H., Tatsukawa R. Tissue distribution of heavy metals and their variations with age, sex and habitat in Japanese serows (*Capricornis crispus*) // Arch. Environ. Contam. and Toxicol. 1987. Vol. 16. № 5. P. 551–561.
18. Hyvärinen H., Sipila T. Heavy Metals and High Pup Mortality in the Saimaa Ringed Seal Population in Eastern Finland // Mar. Pollut. Bull. 1984. Vol. 15. № 9. P. 335–337.
19. IUCN Red List of Threatened Animals. IUCN. Switzerland: Gland, 1996. 368 p.
20. Medvedev N., Panichev N., Hyvärinen H. Levels of heavy metals in seals of Lake Ladoga and the White Sea // Sci. Total Environ. 1997. Vol. 206. P. 95–105.
21. Red Data Book of East Fennoscandia. Helsinki, 1998. 351 p.
22. Wren C. D. Mammals as biological monitors of environmental metal levels // Environ. Monit. and Assessment. 1986. Vol. 6. P. 127–144.