

УДК 577.115

## ОЦЕНКА ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ В ТКАНЯХ РЫБ ИЗ ОЗЕР СИСТЕМЫ РЕКИ КЕНТИ, РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ

О. Б. Васильева<sup>1</sup>, М. А. Назарова<sup>2</sup>, Н. Н. Немова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup> Вологодский государственный университет, Россия

Установлено, что в тканях щуки *Esox lucius* Linnaeus, 1758 и плотвы *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758), обитающих в озере Костомукшское, которое является местом захоронения техногенных отходов переработки сырья Костомукшского горно-обогатительного комбината, перекисное окисление липидов протекает активнее, чем у рыб, обитающих ниже по течению реки Кенти. Установлен высокий уровень первичных продуктов перекисного окисления липидов – диеновых конъюгатов и диенкетонов в печени плотвы и щуки из хвостохранилища, что отражает активацию начальных этапов пероксидации в тканях рыб при влиянии техногенных стоков Костомукшского ГОКа. Наличие мелкодисперсной взвеси в озере Костомукшском приводит к уменьшению оксигенации жабр плотвы и щуки, что влияет на интенсивность перекисных процессов. У рыб в озере Койвас, наиболее удаленном от предприятия, степень пероксидации тканей наименьшая. Активность перекисных процессов снижается в ряду: жабры – печень – мышцы. Наиболее выраженные различия в содержании продуктов перекисного окисления липидов обнаружены в печени рыб, что, возможно, определяется высокой метаболической и детоксикационной активностью этого органа. Исходя из анализа изученных параметров у двух видов рыб, наиболее устойчивой к техногенному влиянию является щука, что, вероятно всего, объясняется особенностями ее экологии.

Ключевые слова: антропогенное влияние; щука; плотва; перекисное окисление липидов; малоновый диальдегид.

### О. В. Vasil'eva, М. А. Nazarova, N. N. Nemova. ESTIMATION OF LIPID PEROXIDATION IN TISSUES OF FISH FROM LAKES OF THE KENTI RIVER SYSTEM, REPUBLIC OF KARELIA

Lipid peroxidation in tissues of pike *Esox lucius* Linnaeus, 1758 and roach *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758) from Lake Kostomukshskoe (storing tailings from the Kostomuksha ore mining and processing enterprise) was found to be more intensive than in fish living downstream the Kenti River. The content of lipid peroxidation products in the liver of fish from Lake Koivas was significantly lower than in fish living higher up the Kenti River. This may be due to significant differences in the concentration of ions in these water bodies. A high level of primary lipid peroxidation products – diene conjugates and diene ketones, was detected in the liver of roach and pike from the tailing pond, indicating the activation of the initial stages of peroxidation in fish tissues in response to a high level of minerals from the tailings pond. Among all the studied fish tissues the highest level of lipid peroxidation products was found in gills. This can be explained by the higher degree of oxygenation in this organ and, as a consequence, enhanced oxidation of membrane lipids

in gills. The high mineralization of the Kostomuksha mining plant's tailing dump creates an unusual, hypertonic habitat for freshwater fish. This affects, above all, the functioning of their gills, which regulate the body's water-salt balance. Fine suspended solids in Lake Kostomukshskoe reduce the oxygenation of gills in roach and pike, thus affecting the rate of peroxidation processes. The tissue with the lowest content of lipid peroxidation products was muscles. The activity of peroxidation processes in muscles showed no significant variation among fish from different waterbodies. Fish from Lake Koivas (the farthest away from the industrial source) demonstrated the lowest degree of tissue peroxidation. The activity of peroxidation processes declines in the following sequence: gills-liver-muscles. The most pronounced variation in the content of lipid peroxidation products was found in the liver, presumably due to the high metabolic and detoxification activity of this organ. Based on the analysis of the studied parameters in the two fish species, pike is more resistant to industrial impact, most likely due to the characteristics of its ecology.

**Key words:** human impact; pike; roach; lipid peroxidation; malondialdehyde.

## Введение

Местом захоронения техногенных отходов переработки сырья (хвостов) одного из крупнейших промышленных предприятий Северо-Западного региона России – Костомукшского горно-обогатительного комбината (ГОК) является озеро Костомукшское, что привело к изменению основных физико-химических характеристик этого водоема. В настоящее время вода в озере Костомукшское (хвостохранилище) является высокоминерализованной (свыше 600 мг/л) со слабощелочной реакцией среды, сульфатного класса группы калия с низким содержанием органического вещества и железа, а также характеризуется повышенным уровнем взвешенных в воде частиц (табл. 1) [Биота..., 2012]. Химический состав поступающей в водоем взвеси вследствие выщелачивания различных компонентов непосредственно влияет на химические показатели воды Костомукшского водохранилища и озер, расположенных ниже. Сточные воды Костомукшского ГОКа из озера Костомукшское поступают в ближайшее к хвостохранилищу озеро Окуновое и затем через ряд водоемов – в озеро Койвас, которое находится ниже по течению реки Кенти (рис.). Сток органических и биогенных веществ в водоемы озерно-речной системы реки Кенти незначителен. Эти водоемы служат природным модельным объектом для изучения влияния антропогенного загрязнения на гидробионтов, поскольку все озера находятся в непосредственной близости друг от друга, имеют одинаковое происхождение, но отличаются гидрохимическими и гидрологическими показателями воды (табл. 1). Общая длина исследуемой озерно-речной системы составляет 75 км, она представляет собой каскад из 10 озер, чередующихся с порожистыми участками.

Биоиндикация техногенных воздействий на организмы, обитающие в водоемах с высокой антропогенной активностью, включает исследования, связанные с поиском наиболее информативных критериев оценки состояния гидробионтов. Одним из инструментов такой оценки является характеристика биохимического статуса рыб, который может изменяться в ответ на токсическое воздействие [Биота..., 2012]. К классическим биохимическим показателям состояния животных, которые используются при оценке влияния различных токсикантов на организм, относятся продукты перекисного окисления липидов (ПОЛ), оценить которое можно по накоплению первичных продуктов ПОЛ – диеновых конъюгатов (ДК) и диенкетонов (Д), а также одного из конечных метаболитов ПОЛ – малонового диальдегида (МДА) [Hochachka, Somero, 2002; Lushchak, 2011]. В данной работе впервые изучены продукты ПОЛ для оценки влияния техногенных стоков Костомукшского ГОКа на биохимический статус тканей щуки *Esox lucius* Linnaeus, 1758 и плотвы *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758), которые, по данным ихтиологических наблюдений [Биота..., 2012], относятся к наиболее распространенным видам рыб озерно-речной системы Кенти.

## Материалы и методы

Сбор проб органов и тканей щуки *Esox lucius* Linnaeus, 1758 и плотвы *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758) из трех водоемов – озер Костомукшское, Окуновое и Койвас – проводили в июне. Исследования осуществляли на самцах рыб 3–4 стадии зрелости гонад; их линейно-весовые характеристики, возраст и количество в выборках приведены в табл. 2.

Содержание ДК и Д оценивали, используя методику В. Б. Гаврилова с соавт. [1987]:

Таблица 1. Гидрологические и гидрохимические показатели озер системы р. Кенти

Table 1. Hydrological and hydrochemical indicators of lakes of the Kenti River system

Показатели Index	Водоёмы Lakes		
	Костомукшское Kostomukshskoe	Окунеевое Okunevoe	Койвас Koivas
Площадь зеркала, км <sup>2</sup> Lake area, km <sup>2</sup>	34,2	0,3	21,4
Площадь водосбора, км <sup>2</sup> Catchment area, km <sup>2</sup>	68,4	51,0	356,0
Средняя глубина, м Average depth, m	-	2,6	4,1
Максимальная глубина, м Maximum depth, m	25	5,6	21,0
Объем водной массы, млн м <sup>3</sup> Volume of water mass, mln m <sup>3</sup>	430	0,86	89,6
Период условного водообмена, сут. Period of conditional water exchange, days	-	15	285
Ca <sup>2+</sup> , мг/л Ca <sup>2+</sup> , mg/l	40,1	36,7	21,9
Mg <sup>2+</sup> , мг/л Mg <sup>2+</sup> , mg/l	17,8	14,7	9,3
K <sup>+</sup> , мг/л K <sup>+</sup> , mg/l	154,5	155,9	91,4
Na <sup>+</sup> , мг/л Na <sup>+</sup> , mg/l	17,9	20,8	11,7
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mg/l	124,8	103,4	61,8
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , mg/l	270,4	305,6	198,6
Cl <sup>-</sup> , мг/л Cl <sup>-</sup> , mg/l	6,9	5,6	3,2
Σ ионов, мг/л Σ ions, mg/l	632,4	642,7	397,9
pH	7,6–7,7	7,42	7,05

их экстрагировали смесью гептан : изопропиловый спирт (1 : 1) и затем фотометрировали гептановую фракцию. Концентрацию ДК и Д рассчитывали с учетом разведения с использованием молярного коэффициента. Концентрацию МДА определяли по методике И. Д. Стальной и Т. Г. Гаришвили [1977] путем взаимодействия гомогената тканей исследуемых образцов с тиобарбитуровой кислотой (ТБК) в кислой среде. Экспозиция опыта составляла 45 минут. Количественное содержание экстрагированных бутанолом ТБК-продуктов оценивали спектрофотометрически при длине волны 352 нм и рассчитывали с учетом разведения и коэффициента пересчета. Концентрацию продуктов ПОЛ выражали в нмоль/г ткани. Обработку данных выполняли статистическими методами, оценку нормальности распределения проводили тестом Колмогорова – Смирнова и Лиллифорса, сравнение двух выборок осуществляли при помощи критерия Стьюдента ( $p \leq 0,05$ ).

Исследования выполнены на оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

### Результаты и обсуждение

В результате проведенного исследования установлено, что уровень ДК и Д в печени плотвы и щуки из хвостохранилища и озера Окунеевое достоверно не различался и был значительно выше концентрации данных показателей у рыб из озера Койвас (табл. 3, 4). Вероятно, это объясняется высоким уровнем начальных этапов пероксидации в тканях рыб при влиянии техногенных стоков Костомукшского ГОКа, поскольку накопление ДК и Д в тканях гидробионтов отражает раннюю стадию ПОЛ. Концентрация МДА была одинакова в печени рыб из озер Окунеевое и Койвас и при этом ниже, чем у рыб из хвостохранилища. МДА является одним из конечных продуктов ПОЛ, и его уро-

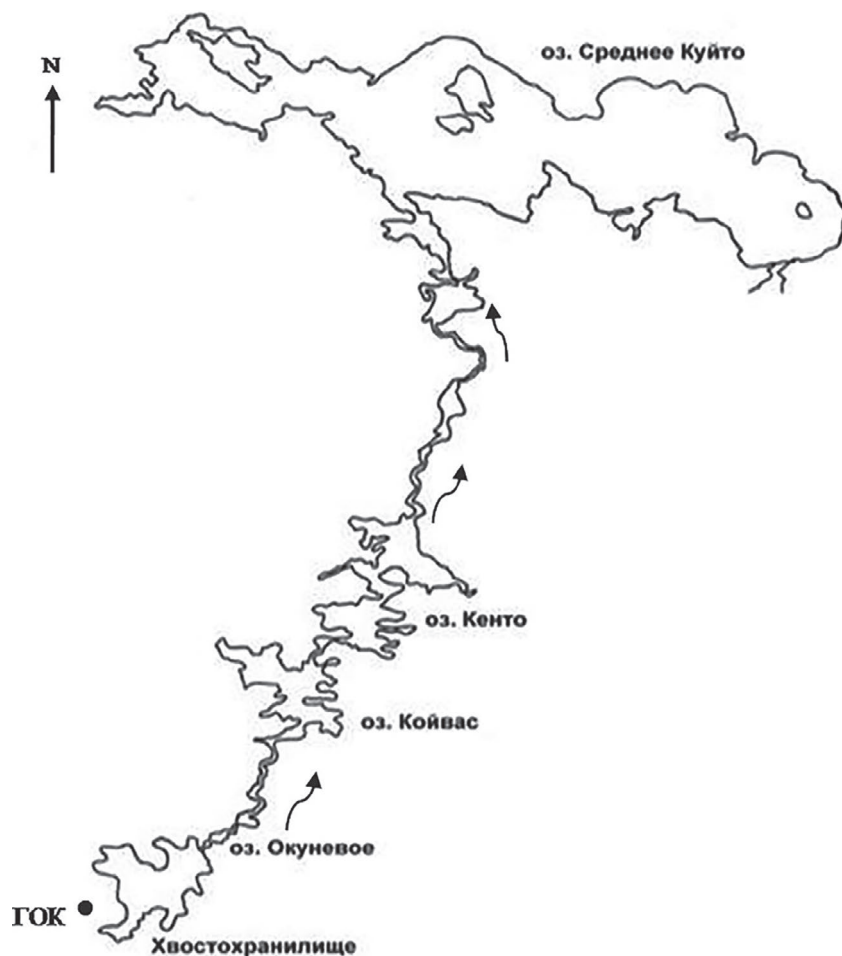


Схема озерно-речной системы Кенти  
Map of the lake-river system of the Kenti River

вень в тканях может служить критерием оценки степени интенсивности данных процессов.

Перекисное окисление липидов характеризуется образованием большого числа чрезвычайно реакционноспособных свободных радикалов, оказывающих разрушительное воздействие на биологические структуры, и неконтролируемым развитием по типу цепной реакции [Владимиров, Арчаков, 1972; Rahman, 2007; Голованова, 2008; Моисеенко, 2009]. Увеличенное образование свободных радикалов и связанное с этим усиление процессов перекисидации липидов может привести к изменению физико-химических свойств мембранных белков и липидов, активности мембраносвязанных ферментов, нарушению проницаемости мембран (в т. ч. для протонов и ионов кальция), ионного транспорта (ингибирование  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -АТФазы), уменьшению электрической стабильности липидного бислоя мембран [Владимиров, Арчаков, 1972; Пименов и др., 2004].

Озеро Окуневое топографически занимает промежуточное положение между озерами

Костомукшское и Койвас и по своим гидрохимическим характеристикам близко к озеру Костомукшское. В печени рыб из озера Койвас содержание продуктов ПОЛ значительно ниже, чем у рыб, обитающих выше по течению реки Кенти (табл. 3, 4), что может быть связано с существенными различиями в концентрации ионов в воде данных водоемов. Таким образом, установлена взаимосвязь степени перекисидации липидов в печени плотвы и щуки с концентрацией минеральных ионов в исследованных озерах.

Среди всех изученных тканей рыб наибольший уровень продуктов ПОЛ установлен в жабрах (табл. 3, 4). Вероятно, это объясняется повышенной степенью оксигенации в данном органе, что, как следствие, приводит к усиленному окислению мембранных липидов жабр. Исключение составили рыбы из озера Костомукшское, где концентрация МДА, ДК и Д в жабрах была ниже, чем в печени рыб (табл. 3, 4). Вероятно, это объясняется тем, что взмученность хвостохранилища способствует механи-

Таблица 2. Возраст и линейно-весовые параметры рыб из озер системы р. Кенти

Table 2. Age and linear-weight parameters of fish from the lakes of the Kenti River system

Показатели Index	Щука Pike			Плотва Roach		
	Костомукшское Kostomukshskoe	Окунеевое Okunevoe	Койвас Koivas	Костомукшское Kostomukshskoe	Окунеевое Okunevoe	Койвас Koivas
Выборка, n Sample, n	10	10	10	10	10	10
Возраст рыб, лет Age of fish, years	4+ – 5+	4+ – 5+	4+ – 5+	4+ – 5+	4+ – 5+	4+ – 5+
Масса рыб, г Weight, g	473 ± 11,6	612,8 ± 12,2	723,8 ± 18,1	48,9 ± 4,7	54,3 ± 5,1	58,6 ± 7,3
Длина рыб, см Length, cm	48,1 ± 3,2	50,5 ± 4,7	53,8 ± 4,3	13,9 ± 1,7	14,8 ± 1,5	15,2 ± 1,1

Таблица 3. Содержание продуктов перекисного окисления липидов (в нмоль/г ткани) в тканях плотвы *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758)

Table 3. Content of lipid peroxidation products (nmol/g of tissue) in the tissues of roach *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758)

Показатели Index	Жабры Gills			Печень Liver			Мышцы Muscles		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Малоновый диальдегид Malonic dialdehyde	86,8 ± 1,7	114,3 ± 1,8 <sup>a</sup>	86,2 ± 2,1 <sup>a,b</sup>	142,6 ± 3,2	80,4 ± 2,1 <sup>a</sup>	77,3 ± 2,8 <sup>a</sup>	25,4 ± 2,3	22,7 ± 2,5	21,7 ± 2,7
Диеновые конъюгаты Diene conjugates	107,6 ± 3,4	120,8 ± 3,8 <sup>a</sup>	76,9 ± 2,8 <sup>a,b</sup>	113,7 ± 4,4	108,3 ± 3,1	39,7 ± 2,9 <sup>a,b</sup>	29,6 ± 2,6	27,3 ± 2,3	24,9 ± 3,1
Диенкетоны Dienketons	91,3 ± 2,8	117,6 ± 2,9 <sup>a</sup>	80,8 ± 1,9 <sup>a,b</sup>	106,3 ± 2,6	101,7 ± 3,4	68,1 ± 3,0 <sup>a,b</sup>	28,1 ± 3,3	25,9 ± 1,9	25,7 ± 2,2

Примечание. Здесь и в табл. 4: 1 – оз. Костомукшское; 2 – оз. Окунеевое; 3 – оз. Койвас; а – различия достоверны при сравнении рыб из данного озера и оз. Костомукшское, при  $p \leq 0,05$ ; b – различия достоверны при сравнении рыб из оз. Койвас и оз. Окунеевое, при  $p \leq 0,05$ .

Note. Here and in Tab. 4: 1 – Lake Kostomukshskoe; 2 – Lake Okunevoe; 3 – Lake Koivas; a – differences are significant when comparing fishes from this lake and Lake Kostomukshoe, at  $p \leq 0.05$ ; b – differences are significant when comparing fishes from Lake Koivas and Lake Okunevoe, at  $p \leq 0.05$ .

ческому забиванию тычинок жабр мелкодисперсной взвесью, приводящему к уменьшению оксигенации ткани, снижению аэробного обмена и, как следствие, снижению активности перекисных процессов [Моисеенко, 2009]. Недостаток поступления кислорода приводит к накоплению в жабрах триацилглицеринов и низкому уровню холестерина [Васильева и др., 2012]. Снижение холестерина в жабрах влияет на изменение микровязкости биомембран, что может стать причиной нарушения осморегуляторной функции данного органа. Подобные модификации липидных компонентов при влиянии техногенного загрязнения были установлены в ранее проведенных исследованиях [Tkacheva et al., 2004; Zaman et al., 2008; Биота..., 2012]. У пресноводных рыб, обитающих в гипотоничной среде, вода проникает в организм через жабры, кожу и перорально с пищей. Для предупреждения обводнения организма в почках

хорошо развит фильтрационный аппарат (многочисленные клубочки и канальцы) и выделяется большое количество гипотоничной мочи. Потеря солей компенсируется реабсорбцией их в дистальных почечных канальцах, а также проникновением через жабры и поступлением с кормом [Анисимова, Лавровский, 1983]. Высокая минерализация хвостохранилища Костомукшского ГОКа создает непривычную – гипертоничную – среду обитания для пресноводных рыб, что влияет прежде всего на функционирование их жабр, регулирующих водно-солевой баланс организма. Интересно отметить, что уже в озере Окунеевое уровень МДА в жабрах плотвы и щуки значительно выше, чем в жабрах рыб из хвостохранилища, что может быть связано с отсутствием в озере Окунеевое мелкодисперсной взвеси.

В мышцах рыб обнаружено самое низкое содержание продуктов ПОЛ по сравнению с дру-

Таблица 4. Содержание продуктов перекисного окисления липидов (в нмоль/г ткани) в тканях щуки *Esox lucius* Linnaeus, 1758

Table 4. Content of lipid peroxidation products (nmol/g of tissue) in the tissues of pike *Esox lucius* Linnaeus, 1758

Показатели Index	Жабры Gills			Печень Liver			Мышцы Muscles		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Малоновый диальдегид Malonic dialdehyde	50,7 ± 3,1	77,3 ± 1,9 <sup>a</sup>	53,1 ± 2,3 <sup>a,b</sup>	74,3 ± 3,2	46,6 ± 2,8 <sup>a</sup>	40,3 ± 2,5 <sup>a</sup>	17,1 ± 1,9	17,5 ± 2,1	15,3 ± 2,3
Диеновые конъюгаты Diene conjugates	88,9 ± 6,4	119,6 ± 5,7 <sup>a</sup>	85,4 ± 2,8 <sup>a,b</sup>	96,7 ± 4,2	94,9 ± 2,4	60,4 ± 3,5 <sup>a,b</sup>	20,5 ± 2,0	18,3 ± 1,5	17,4 ± 2,2
Диенкетоны Dienketons	90,4 ± 2,9	104,8 ± 3,3 <sup>a</sup>	86,3 ± 2,5 <sup>a,b</sup>	95,4 ± 6,1	94,6 ± 2,3	52,4 ± 3,5 <sup>a,b</sup>	15,3 ± 1,5	15,9 ± 1,7	14,8 ± 1,4

гими тканями (табл. 3, 4). Активность перекисных процессов в данной ткани у рыб из разных водоемов достоверно не различалась. Учитывая крайнюю чувствительность перекисных процессов к различного рода воздействиям, можно сделать предположение о достаточно высоких адаптивных способностях мышц у изученных видов рыб.

### Закключение

Таким образом, наибольшая активность перекисных процессов была установлена в печени рыб, обитающих в озере Костомукшское. Наименьшая степень перекисной окисления установлена в тканях рыб из озера Койвас, которое географически наиболее удалено от Костомукшского горно-обогатительного комбината. Активность перекисных процессов снижается в ряду: жабры – печень – мышцы. Наиболее выраженные различия в содержании продуктов ПОЛ обнаружены в печени рыб, что, возможно, определяется высокой метаболической и детоксикационной активностью этого органа. Исходя из анализа уровня изученных параметров ПОЛ у двух видов рыб, наиболее устойчивой к техногенному влиянию является щука, что, вероятнее всего, объясняется особенностями ее экологии. Щука, в отличие от плотвы, относится к консументам более высокого порядка, и можно полагать, что в процессе эволюции у нее сформировались особые приспособительные механизмы, позволяющие пластичнее адаптироваться к меняющимся условиям внешней среды.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (0218-2019-0076).

### Литература

Анисимова И. М., Лавровский В. В. Ихтиология. М.: Высш. шк., 1983. 255 с.

Биота северных озер в условиях антропогенного воздействия / Ред. Н. Н. Немова и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. 230 с.

Васильева О. Б., Назарова М. А., Рипатти П. О., Немова Н. Н. Липидный состав и некоторые показатели перекисного окисления липидов в печени рыб в условиях антропогенной нагрузки // Физиологические, биохимические и молекулярно-генетические механизмы адаптации гидробионтов: Мат-лы Всерос. конф. с междунар. участием (Борок, 22–27 сентября 2012 г.). Борок, 2012. С. 60–65.

Владимиров Ю. А., Арчаков А. И. Перекисное окисление липидов. М.: Академия, 1972. 252 с.

Гаврилов В. Б., Гаврилова А. Р., Мажуль Л. М. Анализ методов определения продуктов перекисного окисления липидов в сыворотке крови по тесту с тиобарбитуровой кислотой // Вопросы медицинской химии. 1987. № 1. С. 118–121.

Голованова И. Л. Влияние тяжелых металлов на физиолого-биохимический статус рыб и водных беспозвоночных // Биология внутренних вод. 2008. № 1. С. 99–108. doi: 10.1007/s12212-008-1014-1

Моисеенко Т. И. Водная экотоксикология: теоретические и прикладные аспекты. М.: Наука, 2009. 400 с.

Пименов Ю. Т., Осипова В. П., Дьякова Л. А., Берберова Н. Т., Милаева Е. Р., Филиппова Л. А., Броцман И. В. Определение скорости перекисного окисления липидов в печени русского осетра (*Acipenser güldenstädti* Brandt) *in vitro* в присутствии соединений ртути и порфиринов // Вестник АГТУ. 2004. № 4. Т. 23. С. 46–51.

Стальная И. Д., Гаришвили Т. Г. Метод определения малонового диальдегида // Современные методы в биохимии. М.: Медицина, 1977. С. 66–68.

Hochachka P. W., Somero G. N. Biochemical adaptation: Mechanism and process in physiological evolution. New York: Oxford University Press, 2002. 466 p.

Lushchak V. I. Environmentally induced oxidative stress in aquatic animals // Aquatic Toxicol. 2011. Vol. 101. P. 13–30. doi: 10.1016/j.aquatox.2010.10.006

Rahman K. Studies on free radicals, antioxidants, and co-factors // *Clin. Interv. Aging*. 2007. Vol. 2. P. 219–236.

Tkacheva V., Hyvärinen H., Kukkonen J., Ryzhkov L. P., Holopainen I. J. Toxic effects of mining effluents on fish gills in a subarctic lake system in NW Russia // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2004. No. 57. P. 278–289. doi: 10.1016/S0147-6513(03)00079-4

Zaman M. U., Sarker S. R., Hossain S. The effects of industrial effluent discharge on lipid peroxide levels of punti fish (*Puntius sophore*) tissue in comparison with those of freshwater fish // *J. Food Lipids*. 2008. Vol. 15, no. 2. P. 198–208.

Поступила в редакцию 08.07.2019

## References

Anisimova I. M., Lavrovskii V. V. *Ikhtiologiya* [Ichthyology]. Moscow: Vyssh. shk., 1983. 255 p.

*Biota severnykh ozer v usloviyakh antropogennogo vozdeistviya* [Biota of Northern Lakes under human impact]. Eds. N. N. Nemova et al. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2012. 230 p.

Gavrilov V. B., Gavrilova A. R., Mazhul' L. M. Analiz metodov opredeleniya produktov perekisnogo okisleniya lipidov v syvorotke krvi po testu s tiobarbiturovoi kislotoi [Analysis of methods for determining the products of lipid peroxidation in serum according to the test with thiobarbituric acid]. *Voprosy med. khim.* [Issues of Med. Chem.]. 1987. No. 1. P. 118–121.

Golovanova I. L. Vliyaniye tyazhelykh metallov na fiziologo-biokhimeskii status ryb i vodnykh bespozvochnykh [Effects of heavy metals on the physiological and biochemical status of fishes and aquatic invertebrates]. *Biol. vnutr. vod* [Inland Water Biol.]. 2008. No. 1. P. 99–108. doi: 10.1007/s12212-008-1014-1

Moiseenko T. I. *Vodnaya ekotoksikologiya: teoreticheskie i prikladnye aspekty* [Aquatic ecotoxicology: Theoretical and applied aspects]. Moscow: Nauka, 2009. 400 p.

Pimenov Yu. T., Osipova V. P., D'yakova L. A., Berberova N. T., Milaeva E. R., Filippova L. A., Brotsman I. V. Opredelenie skorosti peroksidnogo okisleniya lipidov v pecheni ruskogo osetra (*Acipenser güldenstädti* Brandt) *in vitro* v prisutstvii soedineniy rtuti i porfirinov [Determination of the rate of lipid peroxidation in the liver of Russian sturgeon (*Acipenser güldenstädti* Brandt) *in vitro* in the presence of mercury compounds and porphyrins]. *Vestnik AGTU* [Vestnik ASTU]. 2004. Vol. 23, no. 4. P. 46–51.

Stal'naya I. D., Garishvili T. G. Metod opredeleniya malonovogo dial'degida [A method for determining malonic dialdehyde]. *Sovr. metody v biokhim.* [Modern Methods in Biochem.]. Moscow: Meditsyna, 1977. P. 66–68.

Vasil'eva O. B., Nazarova M. A., Ripatti P. O., Nemova N. N. Lipidnyi sostav i nekotorye pokazateli perekisnogo okisleniya lipidov v pecheni ryb v usloviyakh antropogennoi nagruzki [Lipid composition and some indicators of lipid peroxidation in fish liver under the conditions of anthropogenic load]. *Fiziol., biokhim. i molekulyarno-geneticheskie mekhanizmy adaptatsii gidrobiontov*: Mat-ly Vseros. konf. s mezhdunarod. uch. (Borok, 22–27 sent. 2012 g.) [Physiol., biochem., and molecular genetic mechanisms of aquatic organisms adaptation: Proceed. All-Russ. conf. with int. part. (Borok, Sept. 22–27, 2012)]. Borok, 2012. P. 60–65.

Vladimirov Yu. A., Archakov A. I. Perekisnoe okislenie lipidov [Lipid peroxidation]. Moscow: Akademiya, 1972. 252 p.

Hochachka P. W., Somero G. N. *Biochemical adaptation: Mechanism and process in physiological evolution*. New York: Oxford Univ. Press, 2002. 466 p.

Lushchak V. I. Environmentally induced oxidative stress in aquatic animals. *Aquatic Toxicol.* 2011. Vol. 101. P. 13–30. doi: 10.1016/j.aquatox.2010.10.006

Rahman K. Studies on free radicals, antioxidants, and co-factors. *Clin. Interv. Aging*. 2007. Vol. 2. P. 219–236.

Tkacheva V., Hyvärinen H., Kukkonen J., Ryzhkov L. P., Holopainen I. J. Toxic effects of mining effluents on fish gills in a subarctic lake system in NW Russia. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2004. No. 57. P. 278–289. doi: 10.1016/S0147-6513(03)00079-4

Zaman M. U., Sarker S. R., Hossain S. The effects of industrial effluent discharge on lipid peroxide levels of punti fish (*Puntius sophore*) tissue in comparison with those of freshwater fish. *J. Food Lipids*. 2008. Vol. 15, no. 2. P. 198–208.

Received July 08, 2019

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Васильева Ольга Борисовна

старший научный сотрудник лаб. экологической биохимии, к. б. н.

Институт биологии КарНЦ РАН,  
Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр РАН»

ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910

эл. почта: vasil@krc.karelia.ru

## CONTRIBUTORS:

### Vasil'eva, Olga

Institute of Biology, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: vasil@krc.karelia.ru

**Назарова Марина Александровна**

доцент кафедры химии, к. б. н.  
Вологодский государственный университет  
ул. Ленина, 15, Вологда, Россия, 160000  
эл. почта: marinamarina35@yandex.ru

**Немова Нина Николаевна**

руководитель научного направления КарНЦ РАН,  
главный научный сотрудник лаб. экологической биохимии,  
чл.-корр. РАН, д. б. н., проф.  
Институт биологии КарНЦ РАН,  
Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр РАН»  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: nemova@krc.karelia.ru

**Nazarova, Marina**

Vologda State University  
15 Lenina St., 160000 Vologda, Russia  
e-mail: marinamarina35@yandex.ru

**Nemova, Nina**

Institute of Biology, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: nemova@krc.karelia.ru