

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 577.115:597.5

ЛИПИДЫ ТКАНЕЙ РЫБ ИЗ АКВАТОРИЙ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

О. Б. Васильева¹, М. А. Назарова², Н. В. Ильмаст¹, Н. Н. Немова¹

¹ Институт биологии Карельского научного центра РАН, ФИЦ КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

² Вологодский государственный университет, Россия

Проведено исследование содержания общих липидов и индивидуальных фосфолипидов в тканях окуня *Perca fluviatilis* L. и ерша *Gymnocephalus cernuus* L. из двух акваторий Онежского озера (Петрозаводская губа и Повенецкий залив) с разной степенью антропогенного влияния. Анализ гидрохимических данных воды показал, что Петрозаводская губа по сравнению с Повенецким заливом более загрязнена: акватория Онежского озера в районе города Петрозаводска характеризуется более высоким (в 2–3 раза) содержанием биогенных элементов, нефтепродуктов в воде и донных отложениях. Выявлены различия в содержании практически всех исследованных липидных показателей в печени окуня и ерша из разных акваторий Онежского озера. Установлено более высокое содержание общих липидов в печени окуня и ерша из Петрозаводской губы, чем из Повенецкого залива, обусловленное возрастанием доли запасных липидов, накопление которых в печени свидетельствует о дисфункции гепатоцитов. Показано снижение содержания основных фосфолипидов (фосфатидилхолина и фосфатидилэтаноламина) в печени окуня и ерша из акватории Петрозаводского промузла. Обнаружены модификации некоторых липидных компонентов в жабрах рыб из Петрозаводской губы, что, вероятно, обусловлено формированием адаптивных механизмов осморегуляции в условиях повышенной концентрации органических элементов. На фоне различий в уровне липидных показателей практически для всех изученных тканей окуня и ерша из двух акваторий сравнительно низкая чувствительность к антропогенному воздействию выявлена для мышечной ткани рыб. Сравнение межвидовых особенностей липидного статуса рыб из разных акваторий показало, что наиболее выраженные различия биохимических параметров установлены в тканях окуня.

Ключевые слова: липиды; фосфолипиды; окунь; ерш; антропогенное загрязнение.

O. B. Vasil'eva, M. A. Nazarova, N. V. Ilmast, N. N. Nemova. LIPIDS OF FISH FROM LAKE ONEGO AREAS WITH DIFFERENT LEVELS OF ANTHROPOGENIC POLLUTION

The content of total lipids and individual phospholipids was studied in perch *Perca fluviatilis* L. and ruffe *Gymnocephalus cernus* L. from two areas of Lake Onego differing in

human impact (Petrozavodsk Bay and Povenets Bay). The analysis of hydrochemical data showed that Petrozavodsk Bay is more polluted than Povenets Bay: Lake Onego near the city of Petrozavodsk has a higher (2–3-fold) content of nutrients and oil products in the water and bottom sediments. The content of total lipids in the liver of perch and ruffe from Petrozavodsk Bay was higher than in Povenets Bay. This is explained by an increase in the share of storage lipids, whose accumulation in the liver indicates a dysfunction of hepatocytes. A decrease in the content of basic phospholipids (phosphatidylcholine and phosphatidylethanolamine) was observed in the liver of perch and ruffe from the lake area at the Petrozavodsk industrial hub. Modifications were detected in some lipid components in the gills of the fish from Petrozavodsk Bay, probably due to the formation of adaptive osmoregulatory mechanisms under exposure to elevated concentrations of organic elements. As opposed to the variation of the lipid indices in nearly all the studied tissues of perch and ruffe from the two areas, the muscle tissue of the fish demonstrated a comparatively low sensitivity to human impact. The comparison scope of the lipid status variation between the fish species showed that differences in biochemical parameters between the areas were more pronounced in perch.

Key words: lipids; phospholipids; perch; ruffe; anthropogenic pollution.

Введение

Онежское озеро является вторым по величине пресноводным водоемом Европы. На его долю приходится около 40 % общего улова рыбы в пресных водах Карелии [Состояние..., 2007]. Ихтиофауна водоема довольно разнообразна и представлена 36 видами (15 семейств), в том числе и ценными промысловыми – лососевыми и сиговыми рыбами [Ильмаст и др., 2010]. Однако их ареал пространственно неоднороден: наиболее многообразен видовой состав в центральной части Онежского озера, которая сохраняет черты олиготрофного водоема, а в загрязненных губах прослеживается тенденция к снижению разнообразия и численности гидробионтов. Поэтому среди всех рыбных ресурсов особое значение приобретают виды, массово не используемые в промышленном рыболовстве, – окуневые, карповые и другие.

Одним из основных источников загрязнения Онежского озера являются сточные воды промышленных центров, к которым относятся Петрозаводск и Медвежьегорск. Большой объем хозяйственно-бытовых сточных вод Петрозаводского промцентра обуславливает сравнительно высокое содержание биогенных и взвешенных веществ в Петрозаводской губе Онежского озера, и, напротив, вклад Медвежьегорского промцентра в общее поступление антропогенных продуктов в Повенецкий залив незначителен [Состояние..., 2007]. Локальное влияние на качество вод в губах оказывают дренажные и ливневые воды, поступающие с территорий данных городов [Состояние..., 2007].

В настоящее время ведется активный поиск универсальных биологических маркеров,

дающих достоверную информацию о развитии общих и специфических механизмов адаптивного ответа у гидробионтов из антропогенно-трансформированных водоемов [Немова, Высоцкая, 2004]. В эколого-токсикологических исследованиях в качестве биомаркеров часто используются липиды, поскольку их концентрация в органах и тканях рыб меняется уже на ранних этапах влияния различных факторов среды [Hochachka, Somero, 2002; Tkatcheva et al., 2004]. Фосфатидилхолин (ФХ) и фосфатидилэтанолламин (ФЭА) являются основными компонентами биологических мембран и играют структурообразующую роль, а также определяют жидкостность бислоя, тем самым влияя на функциональную активность многих мембраносвязанных ферментов. Минорные фосфолипиды, такие как фосфатидилинозитол (ФИ), фосфатидилсерин (ФС) и лизофосфатидилхолин (ЛФХ), относятся к биоэфекторам, которые участвуют в регуляции многих физиологически значимых процессов [Tocher et al., 2008]. В данной работе проведен сравнительный анализ липидного состава тканей окуня и ерша, обитающих в акваториях, непосредственно примыкающих к основным промышленным центрам Онежского озера.

Материалы и методы

В данной работе проведен сравнительный анализ состава общих липидов и индивидуальных фосфолипидов печени, мышц и жабр окуня *Perca fluviatilis* L. и ерша *Gymnocephalus cernuus* L. из Петрозаводской губы, куда поступают сточные воды Петрозаводского промзла, и из Повенецкого залива – акватории Медвежьегорского промзла. Районы отбора проб

Таблица 1. Среднегодовые показатели водоотведения и выноса химических веществ со сточными водами основных промцентров в Онежское озеро

Table 1. Average annual indices of wastewater disposal and influx of chemicals to Lake Onego with wastewater from major industrial hubs

Показатель Index	Промцентр Industrial hub	
	Петрозаводский Petrozavodsk	Медвежьегорский Medvezhyegorsk
Водоотведение, млн м ³ Wastewater disposal, mln m ³	49,2	0,9
Взвешенное вещество, тыс. т/год Suspended matter, kt/year	1,2	0,2
Сухой остаток, тыс. т/год Dry residue, kt/year	9,1	0,5
БПК _{полн.} , тыс. т/год BOD _{total} , kt/year	0,5	0,2
Фосфор общ., т/год Total phosphorus, t/year	103,6	4,8
Азот общ., т/год Total nitrogen, t/year	543,0	17,8
Азот аммонийный, т/год Ammonia nitrogen, t/year	59,0	16,2

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3 данные по: [Состояние..., 2007].

Note. Data here and in Tables 2 and 3 are given after [Sostojanie vodnyh ..., 2007]

Таблица 2. Некоторые гидрохимические показатели Петрозаводской губы и Повенецкого залива Онежского озера

Table 2. Some hydrochemical indices for Petrozavodsk Bay and Povenets Bay of Lake Onego

Район Area	Показатели Index			
	ПО, мг О/л permanganate index, mg O/l	БПК ₅ , мг О ₂ /л BOD ₅ , mg O ₂ /l	Р _{общ.} , мкг/л P _{tot} , µg/l	N _{общ.} , мг/л N _{tot} , mg/l
Петрозаводская губа Petrozavodsk Bay	9,3	1,7	30,0	0,7
Повенецкий залив Povenets Bay	4,6	0,7	10,0	0,5

Таблица 3. Химический состав донных отложений исследуемых районов Онежского озера, % от в.-с. н.

Table 3. Chemical composition of bottom sediments of Lake Onego, % of air-dry sample

Район Area	Показатели Index					
	N _{орг.}	N-NH ₄ ⁺	P _{общ.}	P _{лаб.}	Fe	Mn
Петрозаводская губа Petrozavodsk Bay	0,12–0,77	0,01–0,03	0,09–0,90	0,03–0,89	0,38–0,91	0,08–1,60
Повенецкий залив Povenets Bay	0,09–0,51	0,01–0,03	0,05–0,27	0,02–0,15	0,11–0,90	0,05–0,32

значительно отличаются по гидрохимическим показателям (табл. 1, 2, 3). Выборка рыб была однородна по линейно-весовым, возрастным и иным характеристикам и составляла 10 особей в каждой из исследованных групп рыб (табл. 4).

С помощью стандартных биохимических методов проведен анализ липидных показателей в печени, жабрах и мышцах рыб. Экстракцию липидов проводили по методу Фолча [Folch

et al., 1957]. Содержание общих фосфолипидов (ФЛ), триацилглицеринов (ТАГ), холестерина (ХС) и его эфиров (ЭХС) определяли спектрофотометрическим методом [Сидоров и др., 1972; Engelbrecht et al., 1974]. Анализ фракций фосфолипидов проводили с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии [Arduini et al., 1996]. Полученные данные анализировали с помощью стандартных методов статистики, применяя при сравнении двух

Таблица 4. Характеристика объектов исследования

Table 4. Characteristics of study objects

Показатели Index	Район Area			
	Петрозаводская губа Petrozavodsk Bay		Повенецкий залив Povenets Bay	
Рыба Fish	Окунь Perch	Ерш Ruffe	Окунь Perch	Ерш Ruffe
Выборка, n Sample, n	10	10	10	10
Возраст рыб, лет Age of fish, years	4+...6+	3+...5+	4+... 6+	3+... 6+
Длина, см Length, cm	14,4 ± 2,7	9,8 ± 3,1	15,7 ± 3,1	10,4 ± 2,9
Масса, г Weight, g	25,6 ± 4,3	17,5 ± 3,1	29,2 ± 3,5	19,1 ± 4,3

Таблица 5. Содержание липидов (% сухой массы) в тканях окуня *Perca fluviatilis* L. из разных акваторий Онежского озера

Table 5. Lipid content (% dry mass) in tissues of perch *Perca fluviatilis* L. from different areas of Lake Onego

Показатели Index	Печень Liver		Жабры Gills		Мышцы Muscles	
	П	М	П	М	П	М
Общие липиды Total lipids	19,54 ± 1,2	15,44 ± 1,3*	10,56 ± 1,5	10,38 ± 1,1	16,04 ± 0,9	16,87 ± 1,2
Триацилглицеролы Triacylglycerols	6,09 ± 0,8	3,94 ± 0,5*	2,90 ± 0,8	3,25 ± 0,5*	3,83 ± 0,7	3,15 ± 0,8
Холестерин Cholesterol	3,32 ± 0,4	2,06 ± 0,4*	0,94 ± 0,2	2,10 ± 0,6*	2,82 ± 0,5	3,37 ± 0,4
Эфиры холестерина Cholesterol esters	2,15 ± 0,6	0,52 ± 0,1*	2,74 ± 0,2	3,02 ± 0,1*	3,74 ± 0,3	2,52 ± 0,2
Общие фосфолипиды Total phospholipids	7,68 ± 0,3	8,80 ± 0,4	5,54 ± 0,4	6,11 ± 0,5	3,01 ± 0,5	3,75 ± 0,8
Фосфатидилхолин Phosphatidylcholine	3,71 ± 0,7	5,5 ± 0,5*	2,69 ± 0,5	4,47 ± 0,6*	2,01 ± 0,3	2,51 ± 0,4
Фосфатидилэтаноламин Phosphatidylethanolamine	1,28 ± 0,4	2,17 ± 0,3*	0,91 ± 0,3	1,92 ± 0,4*	0,62 ± 0,1	0,88 ± 0,1*
Фосфатидилсерин Phosphatidylserine	0,2 ± 0,1	0,1 ± 0,1*	0,09 ± 0,03	0,07 ± 0,04	0,11 ± 0,06	0,10 ± 0,05
Фосфатидилинозитол Phosphatidylinositol	0,3 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,15 ± 0,03	0,20 ± 0,04
Сфингомиелин Sphingomyelin	0,4 ± 0,1	0,4 ± 0,1	0,07 ± 0,03	0,13 ± 0,03*	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01
Лизофосфатидилхолин Lysophosphatidylcholine	0,8 ± 0,1	0,1 ± 0,1*	0,56 ± 0,08	0,31 ± 0,06*	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01
Неидентифицированные фосфолипиды Unidentified phospholipids	0,9 ± 0,2	0,2 ± 0,1*	1,19 ± 0,11	0,17 ± 0,04*	0,05 ± 0,01	0,01 ± 0,01

Примечание. *Различия достоверны при $p \leq 0,05$ при сравнении показателей у окуня из двух акваторий. Здесь и в табл. 6: П – Петрозаводский промцентр, М – Медвежьегорский промцентр.

Note. *Differences are significant at $p \leq 0.05$ when comparing perch from the two water areas. Here and in Table 6: П – Petrozavodsk hub, М–Medvezhyegorsk hub.

выборок критерий Вилкоксона – Манна – Уитни ($p \leq 0,05$) [Елисеева, 2007].

Исследования выполнены с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

Результаты и обсуждение

Окунь *Perca fluviatilis* L. и ерш *Gymnocephalus cernuus* L. (семейство окуневые) являются одними из самых распространенных и массовых видов, обитающих почти во всех реках и озерах Карелии. Они относятся к промысловым видам,

Таблица 6. Содержание липидов (% сухой массы) в тканях ерша *Gymnocephalus cernuus* L. из разных акваторий Онежского озера

Table 6. Lipid content (%dry mass) in tissues of ruffe *Gymnocephalus cernuus* L. from different areas of Lake Onego

Показатели Index	Печень Liver		Жабры Gills		Мышцы Muscles	
	П	М	П	М	П	М
Общие липиды Total lipids	19,81 ± 1,2	16,31 ± 1,1*	5,69 ± 1,1	6,42 ± 0,9	22,78 ± 1,2	23,53 ± 1,4
Триацилглицерины Triacylglycerols	9,19 ± 1,3	2,51 ± 0,9*	1,88 ± 0,7	2,43 ± 0,9*	9,34 ± 1,4	8,15 ± 1,1
Холестерин Cholesterol	2,13 ± 0,2	1,29 ± 0,3*	0,39 ± 0,1	0,42 ± 0,1	1,67 ± 0,6	1,97 ± 0,7
Эфиры холестерина Cholesterol esters	0,83 ± 0,1	0,94 ± 0,1	0,18 ± 0,1	0,66 ± 0,1*	0,73 ± 0,1	0,77 ± 0,1
Общие фосфолипиды Total phospholipids	7,55 ± 1,0	11,53 ± 1,3*	3,01 ± 0,7	2,91 ± 0,6	11,02 ± 1,4	12,67 ± 1,3
Фосфатидилхолин Phosphatidylcholine	3,65 ± 0,7	6,77 ± 1,1*	1,33 ± 0,6	1,55 ± 0,4	6,44 ± 0,9	6,90 ± 1,3
Фосфатидилэтаноламин Phosphatidylethanolamine	1,25 ± 0,6	3,43 ± 0,9*	0,62 ± 0,1	0,99 ± 0,1*	2,54 ± 0,3	4,12 ± 0,4*
Фосфатидилсерин Phosphatidylserine	0,24 ± 0,05	0,17 ± 0,05*	0,11 ± 0,04	0,06 ± 0,03	0,44 ± 0,06	0,49 ± 0,09
Фосфатидилинозитол Phosphatidylinositol	0,27 ± 0,09	0,23 ± 0,07	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,54 ± 0,11	0,38 ± 0,04
Сфингомиелин Sphingomyelin	0,42 ± 0,04	0,40 ± 0,05	0,05 ± 0,01	0,11 ± 0,02*	0,85 ± 0,07	0,71 ± 0,04
Лизофосфатидилхолин Lysophosphatidylcholine	0,81 ± 0,07	0,22 ± 0,04*	0,29 ± 0,09	0,09 ± 0,01*	0,08 ± 0,02	0,06 ± 0,01
Неидентифицированные фосфолипиды Unidentified phospholipids	0,90 ± 0,08	0,31 ± 0,03*	0,58 ± 0,06	0,09 ± 0,01*	0,13 ± 0,02	0,11 ± 0,02

Примечание. *Различия достоверны при $p \leq 0,05$ при сравнении показателей у ерша из двух акваторий.

Note. *Differences are significant at $p \leq 0.05$ when comparing ruffe from the two water areas.

и основная доля уловов окуня приходится на Онежское озеро, составляя около 7 % общего вылова (порядка 130 тонн в год) [Состояние..., 2007]. В промысловом отношении ерш большой ценности не представляет. Однако его вылов в Онежском озере достигает 70 и более тонн в год, или около 4 % общего вылова рыбы [Ильмаст и др., 2010].

Анализ гидрохимических данных показывает, что Петрозаводская губа Онежского озера по сравнению с Повенецким заливом более загрязнена – в ней наблюдается повышенное содержание (в 2–3 раза) биогенных элементов, нефтепродуктов в воде и донных отложениях (табл. 1, 2, 3).

Установлены различия в содержании практически всех исследованных липидных показателей в печени окуня и ерша из разных акваторий Онежского озера. Показано более высокое содержание общих липидов в печени окуня и ерша из Петрозаводской губы, чем из Повенецкого залива (табл. 5, 6). Увеличение содержания липидов в печени рыб обусловлено возрастанием доли триацилглицеринов (ТАГ). Кроме того, у окуня из акватории Петрозаводского

промцентра выявлено возрастание и других запасных липидов – эфиров холестерина. Накопление запасных липидов в печени свидетельствует о дисфункции гепатоцитов, что со временем может привести к жировому перерождению [Speranza, Colombo, 2009].

Биохимические механизмы адаптации рыб при техногенном воздействии прежде всего связаны с изменением функционирования биологических мембран, одним из критериев которого является содержание структурных липидов – холестерина и фосфолипидов [Tkatcheva et al., 2004]. Обнаружены различия ($p \leq 0,05$) в содержании данных компонентов в печени рыб из двух водоемов (табл. 5, 6). Более высокий уровень холестерина в печени окуня и ерша из Петрозаводской губы, возможно, связан с индукцией синтеза стероидных компонентов при неблагоприятном воздействии внешней среды. Согласно литературным данным, влияние техногенного загрязнения на метаболизм печени рыб активирует синтез холестерина и жирных кислот, что в дальнейшем приводит к дисфункции печени и ее жировому перерождению [Speranza, Colombo, 2009].

Выявлены различия в содержании фосфолипидов в печени рыб из двух водоемов (табл. 5, 6). Обнаружен низкий уровень основных фосфолипидов (фосфатидилхолина (ФХ) и фосфатидилэтаноламина (ФЭА)) и более высокое содержание сфингомиелина (СФМ) и лизофосфатидилхолина (ЛФХ) в печени окуня и ерша из акватории Петрозаводского промузла. Известно, что данные модификации связаны с жировой дистрофией печени [Tocher et al., 2008]. Лизофосфатидилхолин играет моделирующую роль в биомембранах и в небольших концентрациях выполняет медиаторную функцию, однако значительное возрастание доли ЛФХ по отношению к своему метаболическому предшественнику (ФХ/ЛФХ) может свидетельствовать о деструкции биомембран гепатоцитов [Tocher et al., 2008]. Аналогичные модификации фосфолипидных компонентов в тканях рыб, обитающих в условиях техногенного загрязнения, нами были показаны в ранее проведенных исследованиях [Васильева и др., 2011, 2012].

Сравнительный анализ состава общих липидов жабр у изученных видов рыб достоверных различий не выявил (табл. 5, 6). Однако установлены изменения в концентрации запасных липидных компонентов. Показан более низкий уровень ($p \leq 0,05$) триацилглицеринов и эфиров холестерина в жабрах окуня и ерша из Петрозаводской губы по сравнению с рыбами из Повенецкого залива (табл. 5, 6). Следует отметить, что наиболее выражены данные отличия у окуня. Высокий уровень органических элементов в Петрозаводской губе, вероятно, негативно влияет на оксигенацию жабр и приводит к снижению аэробного обмена; как следствие, происходит снижение содержания одного из основных субстратов окисления – триацилглицеринов в жабрах рыб [Моисеенко, 2009]. Возможно, недостаток поступления кислорода также определяет и низкое содержание холестерина (ХС) и его эфиров в жабрах окуня из акватории Петрозаводского промузла (табл. 5, 6), поскольку количество стероидных компонентов в клеточных мембранах во многом зависит от уровня кислорода [Ночачка, Somero, 2002]. Снижение ХС в жабрах влияет на изменение микровязкостности биомембран, что может привести к нарушению осморегуляторной функции данного органа. Подобные модификации структурных и запасных липидов у гидробионтов в условиях стресса были уже установлены [Tkatcheva et al., 2004; Speranza, Colombo, 2009; Васильева и др., 2011], что позволяет уверенно использовать данные параметры как критерий оценки токсического воздействия на организм рыб. Обнаруженные различия в

концентрации ФЭА, СФМ, ЛФХ и неидентифицированных фосфолипидов в жабрах окуня и ерша из разных акваторий Онежского озера аналогичны распределению фосфолипидного спектра в печени рыб и свидетельствуют о негативном эффекте гидрохимического состава Петрозаводской губы на регуляцию газообмена, поддержание ионного и осмотического гомеостаза у рыб из этой акватории.

Интересно отметить, что при анализе липидного и фосфолипидного состава мышц не установлено существенных различий между исследуемыми группами рыб (табл. 5, 6). Учитывая крайнюю чувствительность фосфолипидных компонентов к различного рода воздействиям, можно сделать предположение о достаточно высокой адаптивной устойчивости мышц изученных видов рыб к влияниям, исследуемым в данной работе.

Таким образом, наиболее выраженные различия в содержании изученных липидных компонентов обнаружены в печени рыб, что, возможно, определяется высокой метаболической активностью этого органа. Установленные изменения в содержании липидов в жабрах рыб из Петрозаводской губы, вероятно, связаны с регуляцией осмотического давления и поддержанием ионообмена в условиях повышенной концентрации органических элементов. Согласно полученным данным, мышцы рыб наименее подвержены токсической нагрузке. Сравнение межвидовых особенностей липидного статуса рыб из разных акваторий показало, что наиболее выраженные различия биохимических параметров установлены в тканях окуня.

Исследования осуществлялись при финансовой поддержке федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (0221-2017-0050 (№ АААА-А17-117031710039-3)) и Программы Президиума РАН «Биоразнообразии природных систем. Биологические ресурсы России: оценка состояния и фундаментальные основы мониторинга» № 0221-2015-0003: «Динамика изменений ихтиофауны пресноводных экосистем Европейского Севера России при климатическом и антропогенном воздействии».

Литература

Васильева О. Б., Назарова М. А., Немова Н. Н. Влияние техногенных стоков Костомукшского ГОКа на некоторые липидные показатели тканей сига *Coregonus lavaretus* L. // Современное состояние биоресурсов внутренних водоемов: Матер. докл.

I Всерос. конф. с междунар. участием (Борок, 12–16 сентября 2011 г.). М., 2011. Т. 1. С. 108–112.

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 // Матер. Всерос. конф. с международным участием «Физиологические, биохимические и молекулярно-генетические механизмы адаптации гидробионтов» (Борок, 22–27 сентября 2012 г.). Борок, 2012. С. 60–65.

Елисеева И. И. Статистика. М.: Высш. образ., 2007. 566 с.

Ильмаст Н. В., Стерлигова О. П., Первозванский В. Я. Ресурсные виды // Мониторинг и сохранение биоразнообразия таежных экосистем Европейского Севера России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. С. 81–85.

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

Немова Н. Н., Высоцкая Р. У. Биохимическая индикация состояния рыб. М.: Наука, 2004. 215 с.

Сидоров В. С., Лизенко Е. И., Болгова О. М., Неведова З. А. Липиды рыб. 1. Методы анализа. Тканевая специфичность ряпушки *Coregonus albula* L. // Лососевые (Salmonidae) Карелии. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1972. Вып. 1. С. 152–163.

Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 210 с.

References

Eliseeva I. I. Statistika [Statistics]. Moscow: Vyssh. obraz., 2007. 566 p.

Il'mast N. V., Sterligova O. P., Pervozvanskii V. Ya. Resursnye vidy [Resource species]. *Monitoring i sokhranenie bioraznoobraziya taezhnykh ekosistem Evropeiskogo Severa Rossii* [Monitoring and Conservation of Biological Diversity of the Taiga Ecosystems in the European North of Russia]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2010. P. 81–85.

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

Nemova N. N., Vysotskaya R. U. Biokhimicheskaya indikatsiya sostoyaniya ryb [Biochemical indication of fish state]. Moscow: Nauka, 2004. 215 p.

Sidorov V. S., Lizenko E. I., Bolgova O. M., Nefedova Z. A. Lipidy ryb. 1. Metody analiza. Tkanevaya spetsifichnost' ryapushki *Coregonus albula* L. [Lipids of fish. 1. Methods of analysis. The tissue specificity of the vendace *Coregonus albula* L.]. *Lososevye (Salmonidae) Karelii [Salmonidae in Karelia]*. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR, 1972. Vol. 1. P. 152–163.

Sostoyanie vodnykh ob'ektov Respubliki Kareliya. Po rezul'tatam monitoringa 1998–2006 gg. [The state of the water bodies in the Republic of Karelia (according to the monitoring in 1998–2006)]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2007. 210 p.

Vasil'eva O. B., Nazarova M. A., Nemova N. N. Vliyanie tekhnogennykh stokov Kostomukshskogo GOKa

Arduini A., Peschechera A., Dottori S. High performance liquid chromatography of long-chain acylcarnitine and phospholipids in fatty acid turnover studies // *J. Lipid Res.* 1996. Vol. 37, no. 2. P. 684–689.

Engelbrecht F. M., Mari F., Anderson J. T. Cholesterol determination in serum. A rapid direction method // *Med. J.* 1974. Vol. 48, no. 7. P. 250–356.

Folch J., Lees M., Stanley G. H. S. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues // *J. Biol. Chem.* 1957. Vol. 226. P. 497–509.

Hochachka P. W., Somero G. N. *Biochemical Adaptation: Mechanism and Process in Physiological Evolution*. New York: Oxford University Press, 2002. 466 p.

Speranza E. D., Colombo J. C. Biochemical composition of a dominant detritivorous fish *Prochilodus lineatus* along pollution gradients in the Paraná-Río de la Plata Basin // *J. of Fish Biol.* 2009. Vol. 74, no. 6. P. 1226–1244. doi: 10.1111/j.1095-8649.2009.02191.x

Tkatcheva 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 (3). P. 278–89. doi: 10.1016/S0147-6513(03)00079-4

Tocher D. R., Bendiksen E. Å., Campbell P. J., Bell J. G. The role of phospholipids in nutrition and metabolism of teleost fish // *Aquaculture*. 2008. Vol. 280. P. 21–34. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.04.034

Поступила в редакцию 12.10.2017

na nekotorye lipidnye pokazateli tkanei sigov *Coregonus lavaretus* L. [Influence of industrial effluents of the Kostomuksha ore mining and processing enterprise (GOK) on some lipid indices of the freshwater whitefish *Coregonus lavaretus* L.]. *Sovremennoe sostoyaniye biosferosov vnutrennikh vodoemov: Materialy dokladov I Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem (Borok, 12–16 sentyabrya 2011 g.)* [The Current State of the Biological Resources of Inland Water Bodies: Proceed. of the I All-Russ. Conf. with Int. Part. (Borok, September 12–16, 2011)]. Moscow, 2011. Vol. 1. P. 108–112.

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 parameters of lipid peroxidation in the liver of fish under anthropogenic load]. *Materialy Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem "Fiziologicheskie, biokhimicheskie i molekulyarno-geneticheskie mekhanizmy adaptatsii gidrobiontov"* (Borok, 22–27 sentyabrya 2012 g.) [Proceed. of the All-Russ. Conf. with Int. Part. "Physiological, Biochemical, and Molecular Genetic Mechanisms of Hydrobionts Adaptation" (Borok, September 22–27, 2012)]. Borok, 2012. P. 60–65.

Arduini A., Peschechera A., Dottori S. High performance liquid chromatography of long-chain acylcarnitine and phospholipids in fatty acid turnover studies. *J. Lipid Res.* 1996. Vol. 37, no. 2. P. 684–689.

Engelbrecht F. M., Mari F., Anderson J. T. Cholesterol determination in serum. A rapid direction method. *Med. J.* 1974. Vol. 48, no. 7. P. 250–356.

Folch J., Lees M., Stanley G. H. S. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 1957. Vol. 226. P. 497–509.

Hochachka P. W., Somero G. N. *Biochemical Adaptation: Mechanism and Process in Physiological Evolution.* New York: Oxford University Press, 2002. 466 p.

Speranza E. D., Colombo J. C. Biochemical composition of a dominant detritivorous fish *Prochilodus lineatus* along pollution gradients in the Paraná-Río de la Plata Basin. *Journal of Fish Biology.* 2009. Vol. 74, no. 6. P. 1226–1244. doi: 10.1111/j.1095-8649.2009.02191.x

Tkatcheva 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(3). P. 278–89. doi: 10.1016/S0147-6513(03)00079-4

Tocher D. R., Bendiksen E. Å., Campbell P. J., Bell J. G. The role of phospholipids in nutrition and metabolism of teleost fish. *Aquaculture.* 2008. Vol. 280. P. 21–34. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.04.034

Received October 12, 2017

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Васильева Ольга Борисовна

старший научный сотрудник, к. б. н.
Институт биологии Карельского научного центра РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск,
Республика Карелия, Россия, 185910
эл. почта: vasil@krc.karelia.ru
тел.: 89114114742

Назарова Марина Александровна

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

Ильмаст Николай Викторович

заведующий лаб., доцент, д. б. н.
Институт биологии Карельского научного центра РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск,
Республика Карелия, Россия, 185910
эл. почта: ilmast@krc.karelia.ru

Немова Нина Николаевна

главный научный сотрудник, чл.-корр. РАН, д. б. н., проф.
Институт биологии Карельского научного центра РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск,
Республика Карелия, Россия, 185910
эл. почта: nemova@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
tel.: +79114114742

Nazarova, Marina

Vologda State University
15 Lenin St., 160000 Vologda, Russia
marinamarina35@yandex.ru

Ilmast, Nikolai

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