

УДК 597+574.5+591.111.1

**Характеристика периферической крови и содержания тяжёлых металлов в органах и тканях окуня водоёмов бассейна р. Камы**

© 2014. Т. А. Гилева, аспирант, Н. В. Костицына, к.б.н., доцент,  
Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
e-mail: gilevata@yandex.ru, minimax@psu.ru

Среди множества веществ, загрязняющих водоёмы, тяжёлые металлы занимают особое место, они характеризуются высокой токсичностью и способны накапливаться в живых организмах. Актуальной в настоящее время задачей является изучение физиологического состояния рыб, обитающих в водоёмах с различной антропогенной нагрузкой.

Целью данной работы было сравнение показателей крови и содержания тяжёлых металлов в органах и тканях окуня, обитающего в разнотипных водоёмах Пермского края.

Сбор материала осуществляли в 2011 году на 7 водоёмах Пермского края: Мотовилихинском пруду, р. Мулянке; р. Сылве; Нытвенском пруду, Камском водохранилище, в верхней и средней части Воткинского водохранилища. В каждой из точек получения проб исследовалось по 30 окуней в возрасте 1 – 3 лет. Содержание микроэлементов определяли методом атомной абсорбции. В состав общего анализа крови входили подсчёт количества эритроцитов и лейкоцитов, подсчёт лейкоцитарной и эритроцитарной формул.

Было установлено, что кровь окуня имеет достаточно сложную морфологическую картину. Лейкоцитарный состав представлен четырьмя группами клеток: лимфоцитами, моноцитами, нейтрофилами и эозинофилами. Картина крови окуня, обитающего в р. Мулянке, Воткинском водохранилище, Мотовилихинском и Нытвенском прудах, достоверно отличается по большинству показателей от таковой у окуня р. Сылвы. Во всех водоёмах, за исключением Камского водохранилища, по отношению к р. Сылве обнаружены следующие закономерности: количество эритроцитов достоверно ниже, количество лейкоцитов, напротив, выше. Максимум накопления тяжёлых металлов характерен для костных тканей, минимум – мышц и печени. Анализ результатов содержания тяжёлых металлов в грунте, воде, а также органах и тканях окуня показал мозаичность их накопления в живых организмах в определённой связи с антропогенной нагрузкой.

Currently, aquatic ecosystems experience considerable stress under the influence of human activities. Heavy metals have a special place among the many pollutants in water bodies since they poorly decompose, are toxic and can accumulate in living organisms. Therefore, relevant task now is to study physiological state of fish inhabiting water bodies with different anthropogenic impact.

The aim of this study is to compare haematological parameters and the content of heavy metals in tissues and organs of perch inhabiting water bodies of different types in Perm region.

The material was collected in 2011 in 7 water bodies of Perm region: Motovilikhinsky pond; Mulyanka river; Sylva river; Nytva pond; Kama Reservoir; in the upper and middle parts of Votkinsk reservoir. 30 perches of age from 1 to 3 years were examined in each location of sampling. Contents of trace elements were determined by method of atomic absorption. General blood analysis included: counting of erythrocytes and leukocytes, calculation of leukocyte and erythrocyte formulas.

It was found that perch blood has rather complex morphological pattern. Leukocyte composition is represented by four groups of cells: lymphocytes, monocytes, neutrophils, and eosinophils. Blood state of perch inhabiting river Mulyanka, Votkinsk reservoir, Motovilikhinsky and Nytva ponds differs significantly from that of the perch of river Sylva by most of the indicators. The following patterns were discovered in respect of Sylva river: the quantity of erythrocytes was significantly lower, the quantity of leukocytes, on the contrary, was higher in all the water bodies except Kama Reservoir. Maximum accumulation of heavy metals is typical for bone tissue, minimum – for muscles and liver. Analysis of heavy metals content in soil, water, and also in organs and tissues of perch showed a mosaic structure of their accumulation in living organisms in certain relation to anthropogenic impact.

**Ключевые слова:** окунь, тяжёлые металлы, гематологические показатели, физиологическое состояние

**Keywords:** perch, heavy metals, hematological parameters, physiological state

В настоящее время природная среда под воздействием хозяйственной деятельности человека испытывает значительную нагрузку. Самым ранимым элементом природной среды являются водные экосистемы. Сбрасываемые сточные воды и воздушные выбросы

многопрофильных промышленных, сельскохозяйственных и коммунальных объектов способствуют изменениям гидрохимического и гидробиологического режимов водоёмов. Установлено, что со сточными водами в реки, озёра и водохранилища поступает около

40 тыс. поллютантов [1]. Среди множества органических и неорганических веществ, загрязняющих окружающую среду, тяжёлые металлы (ТМ) занимают особое место, т.к. они не разлагаются, токсичны, способны включаться в пищевые цепи и обладают потенциальной способностью аккумулироваться во многих живых организмах [2]. Актуальной в настоящее время задачей является изучение физиологического состояния рыб, обитающих в водоёмах с различной антропогенной нагрузкой. Гематологические исследования рыб в настоящее время приобретают всё возрастающее значение в связи с тем, что кровь является надёжным индикатором состояния организма. Поэтому изучение морфологии крови, динамики гематологических показателей и диапазона их изменений у рыб, различающихся по своему филогенетическому происхождению, образу жизни и месту обитания, представляет существенный интерес [3].

Цель данной работы состоит в сравнении показателей крови и содержания ТМ в органах и тканях окуня, обитающего в разнотипных водоёмах Пермского края.

#### Объекты и методы исследования

Сбор материала осуществляли в 2011 г. в период с 23 июня по 9 июля на водоёмах Пермского края: Мотовилихинском пруду, р. Мулянке (г. Пермь); р. Сылве (выше г. Кунгур); Нытвенском пруду (г. Нытва), Камском водохранилище, в верхней и средней части Воткинского водохранилища. Чтобы оценить суммарную степень антропогенной нагрузки, использовали данные, взятые из ежегодного сборника «Состояние и охрана окружающей среды Пермского края» [4]. Наиболее распространёнными загрязняющими веществами являются нефтепродукты, фенолы, соединения марганца, меди, железа, аммонийный азот, трудноокисляемые органические соединения. Для оценки водоёмов использовали значение удельного комбинаторного индекса загрязнённости воды, по значениям которого каждому водоёму присваивается определённый класс качества. Так, вода в р.Сылве и водохранилищах характеризуется как загрязнённая, в прудах – грязная [4].

В качестве объекта изучения был выбран окунь *Perca fluviatilis* L. в связи с возможностью получения массового материала. Лов рыбы проводили поплавочной удочкой. В каждой из семи точек получения проб исследовались по 30 рыб в возрасте 1–3 лет.

Получены обобщённые пробы по скелетной ткани, чешуе, печени и мышцам для 30 особей из изученных водоёмов, также взяты пробы воды и грунта. Содержание микроэлементов определяли методом атомной абсорбции на базе Уральской аналитической лаборатории. Пробоподготовку вели по типовой методике [5]. Общий анализ крови проводили индивидуально у каждой особи. В состав общего анализа крови входили подсчёт количества эритроцитов и лейкоцитов, подсчёт лейкоцитарной и эритроцитарной формул. Кровь брали из хвостовой артерии с помощью инсулинового шприца. Во избежание повышенной свёртываемости использовали гепарин. Для подсчёта эритроцитов и лейкоцитов использовали счётную камеру Горяева. Лейкоцитарную формулу и процентный состав зрелых и незрелых клеток красной крови определяли по мазкам, окрашенных по Май-Грюнвальду. Просмотр мазков крови проводили при увеличении 10 × 90. При установлении процентного состава клеток эритропоэтического ряда за 100% принимали 100 просчитанных эритроцитов, то же – при рассмотрении форм лейкоцитов. Идентификацию клеток красной и белой крови проводили по классификации Н. Т. Ивановой [6]. Статистический анализ результатов проводили с использованием *t*-критерия Стьюдента.

#### Результаты и их обсуждение

Получены данные по содержанию в окружающей среде и биологических пробах 28 химических элементов, однако анализ проводили только по 10 элементам, для которых известны ПДК. Содержание ТМ в воде было в пределах нормы для никеля, ванадия и свинца. Кобальт обнаружен только в Камском водохранилище и средней части Воткинского водохранилища. Цинк в пробах воды отсутствует. Во всех водоёмах содержание марганца и меди превышает ПДК. Наибольшая концентрация марганца отмечена в Нытвенском пруду, где его содержание в 63,5 раза больше ПДК. Для стронция отмечено превышение ПДК в р. Сылве, р. Мулянке, Мотовилихинском и Нытвенском прудах (табл. 1).

Несколько иная картина распределения загрязнителей в грунтах исследованных водоёмов. В верхней части Воткинского водохранилища отмечено превышение ПДК по 6 элементам: Cr, Mn, V, Ti, Zn, Cu; в средней части Воткинского водохранилища – Cr, Mn, V, Zn, Cu; в Камском водохранилище – Mn,

Таблица 1

Содержание ТМ в воде исследованных водоёмов, мг/л

Химический элемент	ПДК воды	р. Сытва	Мотовилихинский пруд	Нытвенский пруд	Камское водохранилище	Верхняя часть Воткинского водохранилища	Средняя часть Воткинского водохранилища	р. Мулянка
Ni	0,01	0,001	0,002	0,002	0,005	0,003	0,003	0,003
Co	0,01	н/о	н/о	н/о	0,001	н/о	0,001	н/о
Cr	0,001	н/о	н/о	0,003	0,003	0,007	0,002	0,002
Mn	0,01	0,062	0,029	0,635	0,275	0,126	0,087	0,463
V	0,1	0,002	0,004	0,022	0,005	0,002	0,003	0,002
Ti	0,06	0,007	0,029	0,01	0,193	0,084	0,145	0,015
Cu	0,001	0,002	0,003	0,002	0,006	0,004	0,006	0,003
Zn	0,01	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Pb	0,01	н/о	н/о	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001
Sr	0,4	1,721	1,263	0,9653	0,413	0,279	0,218	1,544

Примечание: н/о – не обнаружено.

Таблица 2

Содержание ТМ в грунте исследованных водоёмов, мг/кг сухой массы

Химический элемент	ПДК в грунте	р. Сытва	Мотовилихинский пруд	Нытвенский пруд	Камское водохранилище	Верхняя часть Воткинского водохранилища	Средняя часть Воткинского водохранилища	р. Мулянка
Ni	85	45,4	83,3	33,1	48,1	83,6	84,9	34,7
Co	50	16,3	18,5	5,5	14,4	13,9	28,3	8,7
Cr	100	90,8	92,6	110,2	57,7	167,2	169,9	43,4
Mn	1500	908,2	925,7	551,1	2885,4	2787,0	1698,8	781,3
V	150	90,8	166,6	110,2	96,2	278,7	283,1	78,1
Ti	5000	3632,8	3702,8	1469,6	2885,4	5574,0	4719,0	1562,6
Cu	55	45,4	55,5	18,4	48,1	55,7	56,6	34,7
Zn	70	63,6	64,8	66,1	86,6	167,2	94,4	60,7
Pb	30	13,6	16,7	36,7	19,2	27,9	28,3	13,0
Sr	350	272,5	185,1	55,1	288,5	92,9	94,4	347,2

Zn; Нытвенском пруду – Cr, Pb и Мотовилихинском пруду – V, Cu (табл. 2).

Реку Сытву выше г. Кунгура можно признать условно чистым водоёмом, однако количество стронция в воде здесь больше, чем в других местообитаниях, но учитывая коэффициент суммарной антропогенной нагрузки и сбросы загрязняющих веществ в водные объекты, участок р. Сытвы выше г. Кунгур принят нами в качестве контрольного, то есть условно чистого [7].

Нами был проведён также анализ содержания ТМ в органах и тканях окуня. Отмечена следующая закономерность: выше их концентрация в скелете и чешуе, меньше – в печени и мышцах. В наибольших концентрациях во всех исследуемых органах и тканях содержатся Sr, Zn и Mn; в наименьших – Cr и Co. Превышение значений допустимых остаточных концентраций (ДОК) наблюдается в скелете и чешуе почти по всем элементам, тогда как в печени оно заметно меньше. В печени превышение ДОК обнаружено только у окуня из Мотовилихинского пруда и р. Сытвы. К при-

меру, в первом водоёме количество Ni и Zn немного превышает ДОК, Mn – в 2 раза, а Pb – в 12 раз. У окуня из р. Сытвы ДОК по Pb и Zn превышает вдвое, а Mn – в 3 раза. В мышцах превышения ДОК не выявлено (табл. 3).

Считается, что рыбы чувствительнее к ТМ, чем высшие позвоночные, а повышенная концентрация в воде ионов цинка, ртути, кадмия, меди, помимо прочих эффектов, приводит к уменьшению титра антител в крови, концентрации лимфоцитов, подавлению фагоцитарной активности клеток [8]. В связи с указанным и попытками найти связь между накоплением ТМ и физиологическим состоянием рыб, были исследованы гематологические показатели окуня, обитающего в данных водоёмах. Эритроциты рыб переносят кислород, диоксид углерода, поддерживают кислотно-щелочное равновесие, транспортируют низкомолекулярные вещества, участвуют в механизме дезинтоксикации организма. Лейкоциты отвечают за иммунные реакции и восстановительные процессы в организме.

Таблица 3

Содержание ТМ (мг/кг) в органах и тканях окуня

Водоём	Элемент (ДОК)									
	Ni (0,5)	Co (0,5)	Cr (0,5)	Mn (10)	V (-)	Ti (-)	Cu (10)	Zn (40)	Pb (1,0)	Sr (100)
Скелет										
Мотовилихинский пруд	1,82	н/о	н/о	546,30	1,82	3,64	2,19	254,94	1,09	218,52
р. Сылва	1,06	1,06	н/о	529,50	2,12	н/о	1,77	317,70	0,71	247,10
Нытвенский пруд	1,06	н/о	н/о	528,75	1,76	н/о	3,17	246,75	н/о	211,50
Камское водохранилище	0,95	н/о	н/о	474,60	1,58	н/о	3,16	189,84	н/о	158,2
Воткинское водохр. (верхн. часть)	н/о	н/о	н/о	255,15	2,55	н/о	2,19	182,25	н/о	218,70
Воткинское водохр. (средн. часть)	0,92	н/о	н/о	458,55	1,53	н/о	4,59	305,70	1,22	183,42
р. Мулянка	н/о	н/о	н/о	326,3	1,6315	н/о	1,6315	130,52	0,9789	326,30
Чешуя										
Мотовилихинский пруд	1,57	н/о	н/о	521,80	2,61	н/о	2,61	365,26	2,61	260,90
р. Сылва	н/о	н/о	н/о	511,50	3,07	н/о	2,56	306,90	1,02	1023,00
Нытвенский пруд	н/о	н/о	н/о	316,50	2,64	н/о	2,64	369,25	1,58	316,50
Камское водохранилище	1,94	1,45	н/о	338,94	1,45	н/о	3,39	290,52	н/о	242,1
Воткинское водохр. (верхн. часть)	2,97	н/о	н/о	246,36	2,47	н/о	4,45	742,20	н/о	296,88
Воткинское водохр. (средн. часть)	1,92	н/о	н/о	478,80	2,39	н/о	2,39	718,20	1,44	335,16
р. Мулянка	н/о	н/о	н/о	18,16	0,23	0,91	4,54	27,24	0,27	525,80
Печень										
Мотовилихинский пруд	0,64	0,42	0,21	21,15	0,13	н/о	6,35	42,30	12,69	4,23
р. Сылва	0,25	0,45	н/о	30,00	0,35	2,50	7,50	75,00	2,00	30,00
Нытвенский пруд	0,35	0,35	н/о	1,96	0,20	1,18	3,92	35,28	0,78	11,76
Камское водохранилище	0,23	0,39	н/о	3,86	0,19	0,77	5,79	27,02	0,19	15,44
Воткинское водохр. (верхн. часть)	0,27	0,35	н/о	1,17	0,20	0,78	3,91	7,82	н/о	5,87
Воткинское водохр. (средн. часть)	0,14	0,28	0,08	1,95	н/о	1,40	4,19	19,53	0,42	8,37
р. Мулянка	0,18	0,45	н/о	18,16	0,23	0,91	4,54	27,24	0,27	4,54
Мышцы										
Мотовилихинский пруд	0,24	0,11	н/о	0,79	0,13	1,58	1,58	15,78	0,05	13,15
р. Сылва	0,10	н/о	н/о	0,58	0,06	н/о	0,97	5,82	0,06	9,70
Нытвенский пруд	0,40	0,11	н/о	1,85	0,13	н/о	1,85	2,64	0,05	13,20
Камское водохранилище	0,26	0,11	н/о	3,30	0,18	1,83	2,56	18,30	0,22	18,30
Воткинское водохр. (верхн. часть)	0,38	0,08	н/о	1,27	0,13	н/о	1,52	1,78	н/о	5,08
Воткинское водохр. (средн. часть)	н/о	0,12	н/о	0,81	н/о	0,61	1,21	2,02	1,62	12,12
р. Мулянка	0,18	н/о	н/о	2,96	н/о	н/о	1,77	17,73	0,53	н/о

Примечание: н/о – не обнаружено

Белая кровь окуня представлена четырьмя основными группами клеток: лимфоцитами, моноцитами, а из гранулоцитов – нейтрофилами и эозинофилами. В целом белая кровь окуня имеет ярко выраженный лимфоидный характер. Подавляющее большинство клеток зернистого ряда представлено нейтрофилами [6].

Выявлены достоверные различия в абсолютном количестве эритроцитов и лейкоцитов. Так, во всех исследованных водоёмах количество эритроцитов в периферической крови окуня достоверно ниже, а количество

лейкоцитов достоверно выше в сравнении с окунем, который обитает в р. Сылве. В Камском водохранилище не были выявлены достоверные различия в абсолютных показателях эритроцитов и лейкоцитов (табл. 4).

Наибольшее число лейкоцитов в крови окуня из всех исследованных водоёмов составляют лимфоциты: от 69,4% клеток белой крови у окуня из р. Мулянки до 84,6% – из р. Сылвы. Вместе с тем минимально абсолютное количество лейкоцитов в крови окуня в р. Сылве и Камском водохранилище, тогда

Таблица 4

Гематологические показатели периферической крови окуня *Perca fluviatilis* L.

Показатель		р. Сыльва	Мотовилихинский пруд	Нытвенский пруд	Камское водохранилище	Верхняя часть Воткинского водохранилища	Средняя часть Воткинского водохранилища	р. Мулянка
Количество клеток в 1 мкл	Эритроцитов, млн / 1 мкл	2,1± 0,071	1,74± 0,082*	1,54± 0,091*	1,92± 0,075	1,85± 0,051*	1,77± 0,06*	1,20± 0,084*
	Лейкоцитов тыс / 1 мкл	100,9± 1,38	141,4± 1,74*	146,5± 1,35*	98,4± 1,82	135,15± 1,47*	132± 1,15*	164± 1,28*
Состав красной крови, %								
Молодые эритроциты		7,4± 0,39	14,1± 0,52*	8,6± 0,32*	6,2± 0,27*	9,5± 0,64*	9,9± 0,52*	15,4± 0,54*
Зрелые эритроциты		92,6± 0,69	85,9± 0,52*	91,4± 0,47	93,8± 0,64	90,5± 1,02	90,1± 0,78	84,6± 0,66*
Абсолютные показатели красной крови, млн / 1 мкл								
Молодые эритроциты		0,16± 0,023	0,25± 0,012*	0,13± 0,030	0,12± 0,024	0,18± 0,051	0,18± 0,032	0,19± 0,015
Зрелые эритроциты		1,94± 0,086	1,49± 0,094*	1,41± 0,080*	1,80± 0,074	1,67± 0,089*	1,59± 0,098*	1,01± 0,078*
Лейкоцитарная формула, %								
Лимфоциты		84,6± 1,25	76,7± 0,82*	74,7± 1,65*	79,4± 1,23*	79,2± 1,75*	80,1± 1,86*	69,4± 0,94*
Моноциты		1,1± 1,23	1,3± 0,49	1,3± 0,30	1,4± 0,27	1,3± 0,92	1,5± 0,57	1,9± 0,62
Нейтрофилы		2,1± 0,26	3,6± 0,56*	2,9± 0,28*	2,3± 0,21	2,5± 1,24	2,5± 0,50	4,2± 0,86*
Эозинофилы		0,9± 1,29	1,3± 0,60	1,4± 0,75	1,4± 1,27	1,2± 0,95	1,1± 0,54	2,6± 0,62
Клетки-предшественники лейкоцитов		11,3± 1,18	17,1± 1,23*	19,7± 0,94*	15,5± 1,24*	16,8± 0,88*	14,8± 0,97*	21,9± 1,42*
Абсолютные показатели белой крови, тыс. / 1 мкл								
Лимфоциты		85,36± 1,342	108,45± 1,086*	109,44± 1,144*	78,13± 1,594*	107,04± 1,422*	105,73± 1,064*	113,82± 1,643*
Моноциты		1,11± 0,226	1,84± 0,482	1,91± 0,264*	1,38± 0,430	1,76± 0,222*	1,98± 0,196*	3,12± 0,298*
Нейтрофилы		2,12± 0,264	5,09± 0,124*	4,25± 0,241*	2,26± 0,178	3,38± 0,332*	3,30± 0,240*	6,89± 0,230*
Эозинофилы		0,91± 0,604	1,84± 0,432	2,05± 0,732	1,38± 0,438	1,62± 0,608	1,45± 0,324	4,26± 0,384*
Клетки – предшественники лейкоцитов		10,50± 0,482	24,18± 0,634*	28,86± 0,730*	15,25± 0,408*	21,35± 0,684*	19,54± 0,406*	35,92± 0,739*

Примечание: \* – достоверные отличия ( $p < 0,05$ ) по *t*-критерию Стьюдента в сравнении с гематологическими показателями окуня из р. Сыльвы

как в остальных исследованных местообитаниях окуня достоверно выше (табл. 4). При этом помимо лимфоцитов повсюду отмечено значительное количество клеток предшественников лейкоцитов, моноцитов и нейтрофилов немного, а эозинофилов ещё меньше. При сопоставлении анализа крови окуня с величиной антропогенной нагрузки выделяется р. Мулянка (максимум лейкоцитов при ми-

нимуме эритроцитов в крови окуня). Данный водоём испытывает наибольшую в сравнении с другими исследованными водоёмами антропогенную нагрузку. Крупнейший источник загрязнений – ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефть», отходы которого попадают в Мулянку через реку Пыж. Содержание нефтепродуктов в воде Мулянки в районе впадения в неё реки Пыж превышает ПДК в 49,4 раза [4].

Необходимо отметить, что в р. Сылве и Камском водохранилище наблюдается наиболее благоприятная экологическая ситуация, о чём свидетельствует сходство физиологического состояния окуня, обитающего в этих водоёмах.

### Заключение

Кровь окуня имеет достаточно сложную морфологическую картину. Лейкоцитарный состав крови окуня представлен четырьмя основными группами клеток: лимфоцитами, моноцитами, а из гранулоцитов – нейтрофилами и эозинофилами. Картина крови окуня, обитающего в р. Мулянке, Воткинском водохранилище, Мотовилихинском и Нытвенском прудах, достоверно отличается по большинству показателей от таковой у окуня р. Сылвы. Во всех водоёмах, за исключением Камского водохранилища, по отношению к р. Сылве обнаружены следующие закономерности состава крови окуня: количество эритроцитов достоверно ниже, количество лейкоцитов (в основном за счет лимфоцитов, клеток-предшественников и отчасти – нейтрофилов), напротив, выше. Накопление ТМ в различных органах и тканях окуня однотипно с ранее изученным пескарем [5]. Максимум характерен для костных тканей, минимум – мышц и печени. Анализ результатов содержания ТМ в грунте, воде, а также в органах и тканях окуня показал мозаичность их накопления в живых организмах в определённой связи с антропогенной нагрузкой.

Таким образом, можно констатировать, что у рыб из водоёмов, имеющих значительную антропогенную нагрузку, ниже количество клеток красной крови и заметно выражен лейкоцитоз. Эти данные свидетельствуют об

усилении клеточного иммунитета у рыб, обитающих в загрязнённых водоёмах, и могут являться следствием начальных стадий токсикозов, сопровождающихся мобилизацией резервных функций организма.

### Литература

1. Тепляков А.В., Кубашев И.Г. Токсикологическая загрязнённость и паразитофауна водоёмов интенсивного рыбного промысла Удмуртской Республики. Ижевск: Изд-во ИЖГГУ, 2002. 60 с.
2. Sorensen E.M. Metal poisoning in fish. Texas: CRC Press, 1992. 362 p.
3. Аленичев С.В., Рыжков Л.П. Цитоморфологический состав крови и динамика гематологических показателей окуня *Perca fluviatilis* Онежского озера в условиях техногенного загрязнения // Вопросы ихтиологии. 2000. Т. 40. № 1. С. 91–96.
4. Материалы ежегодного сборника «Состояние и охрана окружающей среды Пермского края» // Природа Пермского края: сайт. URL: <http://wp.permecology.ru> (дата обращения 21.03.2012).
5. Гилева Т.А., Костицына Н.В., Зиновьев Е.А., Бакланов М.А. К содержанию тяжёлых металлов в органах и тканях ряда популяций пескаря *Gobio gobio* (L.) бассейна р. Камы // Вестник Пермского университета. 2010. В.2. С. 31–36.
6. Иванов А.А. Физиология рыб. М.: Мир, 2003. 284 с.
7. Холстов С.Б., Вертгейм А.Г. Ранжирование муниципальных образований края по уровню антропогенной нагрузки // Состояние окружающей среды Пермского края в 2007 году. Пермь. 2008. 112 с.
8. Dethloff G.M., Bailey H.C., Maier K.J. Effects of dissolved copper on selected hematological, biochemical and immunological parameters of wild rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2001. P. 371–380.