

НАКОПЛЕНИЕ РТУТИ В МЫШЦАХ и ТЕМПЫ РОСТА ОКУНЯ (*Perca fluviatilis linnaeus*) из ОЗЕР ПОЛИСТОВО- ЛОВАТСКОГО ВЕРХОВОГО БОЛОТНОГО МАССИВА

Исследована зависимость темпов роста окуня от уровней накопления ртути в мышцах рыб из озер Полистово-Ловатского верхового болотного массива. Установлено, что окунь из озер, для которых характерно повышенное содержание ртути в мышцах рыб (0,45 мг/кг), в первые годы жизни растет быстрее по сравнению с окунем из озер, где содержание металла в мышцах низкое (0,2 мг/кг). В старших возрастных группах ситуация меняется на противоположную.

Введение

Повышенное содержание ртути в рыбе из слабоминерализованных и закисленных озер, удаленных от промышленных источников металла, отмечено во многих странах северного полушария, включая Россию [1-4].

Основными причинами, определяющими высокие уровни накопления ртути в мышцах рыб, из водоемов, не имеющих локальных источников загрязнения металлом, принято считать высокую степень заболоченности водосборного бассейна [5], низкие значения рН воды [6] и низкий темп роста рыб [7].

Окунь — один из эврибионтных видов рыб. Ему свойственно широкое географическое распространение и обитание в водоемах с различными условиями. Темп его роста связан с характером питания [8]. В природ-

Т.Б. Камшилова*, научный сотрудник, ФГБУН Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук

В.Т. Комов, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБУН Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук

В.А. Гремячих, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук

ных и антропогенно закисленных озерах окунь — единственный представитель ихтиофауны [9]. В озерах с повышенной степенью гумификации, кислотности и высоким уровнем содержания ртути в рыбах обитает, так называемая, «тугорослая» форма окуней. Установлено, что для этих рыб характерны изменения белкового, пептидного и липидного обмена [10].

Анализ зависимости темпа роста от накопления ртути в природных популяциях рыб ранее не проводился.

Цель работы — исследовать связь темпа роста окуня (*Perca fluviatilis* L.) и уровней накопления ртути в мышцах рыб из озер Полистово-Ловатского верхового болотного массива.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в 2005 и 2006 гг. на 15 озерах Рдейского (Новгородская обл.) и Полистовского заповедников (Псковская обл.) (57°00'-57°30' с.ш., 30°30'-31°10' в.д.) (рис. 1).

Все озера объединяет то, что территории их водосборных бассейнов заболочены и не выходят за пределы охраняемой зоны, что исключает локальное техногенное загрязнение. Большинство озер представляют собой малые и очень малые водоемы площадью менее 1 км², самые крупные — не более 8 км². Это бессточные, реже сточные озера с максимальными глубинами 1-5 м. Большинство озер сильно гумифицированы, цветность воды в некоторых из них превышает 400 град. Преобладающие значения рН воды озер в течение года лежат в пределах 4,5-5,5. (табл. 1).

*Адрес для корреспонденции: ktb@ibiw.yaroslavl.ru

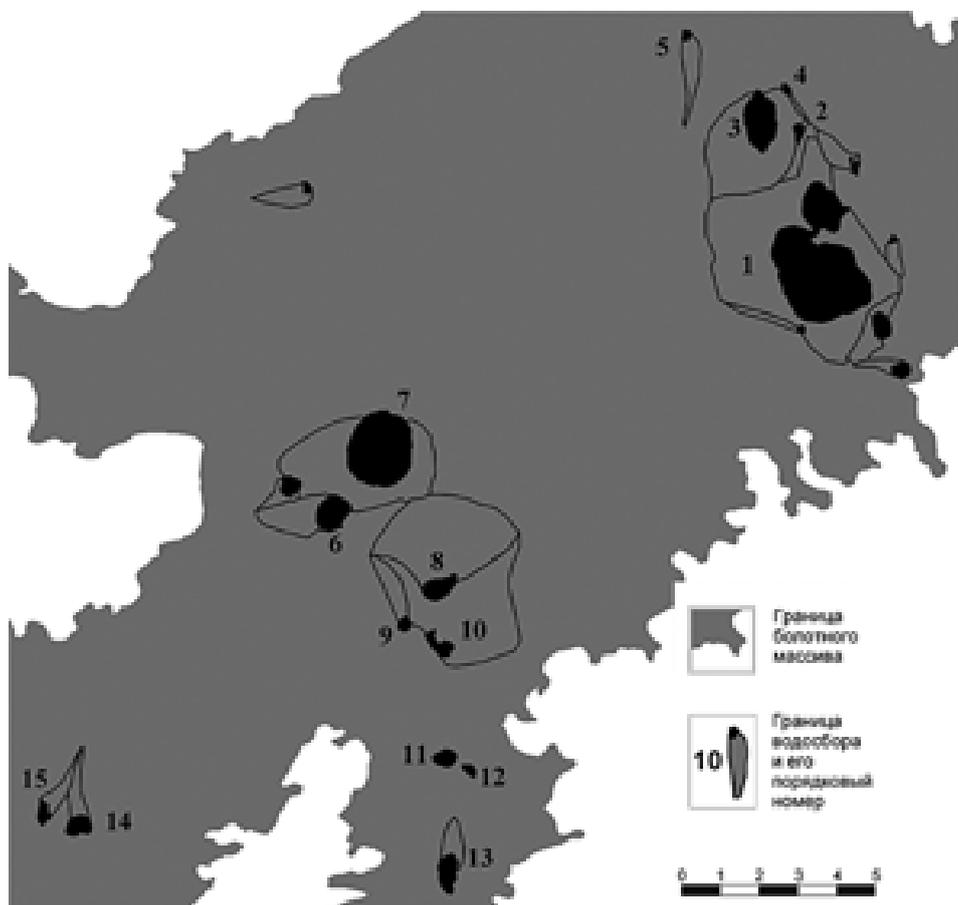


Рис.1. Схема частных внутриболотных водосборов озер Полистово-Ловатской болотной системы.

Материал добывали ставными сетями и удочкой, затем помещали в полиэтиленовые пакеты и замораживали до $-4-14\text{ }^{\circ}\text{C}$. В таких условиях рыбу хранили до определения в ней ртути.

В лаборатории рыбу взвешивали, измеряли ее длину от начала рыла до конца чешуйного покрова и определяли пол. Чтобы избежать возможного вторичного загрязнения ртутью процедуру размораживания и препарирования проводили в эмалированных кюветах. С этой же целью весь инструмент и стеклянную посуду после каждой пробы мыли 5-10 % азотной кислотой и ополаскивали дистиллированной водой. Из каждой рыбы вырезали 2-4 г скелетных мышц с левой стороны под спинным плавником. Пробу мышц от каждой рыбы делили на две части и делали по три определения из каждой пробы мокрого озоления. Для этого навеску в 1-2 г после взвешивания заливали (в стеклянном стаканчике) смесью азотной кислоты и перекиси водорода в соотношении 1:1 и оставляли в вытяжном шкафу до полного растворения пробы и прекращения пенообразования (FAO/SIDA, 1983).

После охлаждения раствор доводили до 25 мл дистиллированной водой и 1-2 мл использовали для определения общего содержания ртути на анализаторе Юлия 5-К с использованием резонансной линии 253,7 нм. В качестве восстановителя применяли двуххлористое олово. Стандартом служил сертифицированный биологический материал (мышцы акулы) с содержанием ртути 4,64 и 2,14 мг/кг сухой массы (DORM-2; DOLT-2), полученный в Институте химии окружающей среды (Канада). Для каждой рыбы проводили шесть измерений. Различия между повторностями составляли в среднем 5,7 % (в пределах 1,7-9,7 %).

Для определения возраста рыб использовали жаберные крышки. Возрастная группа рыб определялась числом полных лет. Проанализировано 311 экземпляров окуня из 15 озер заповедника. В ходе предварительного анализа озера были

разделены на три группы. Первую группу составили озера, где среднее содержание ртути в мышцах окуней не превышало 0,2 мг/кг сырой массы, т.е. в пределах фоновых значений (Домшинское, Корниловское, Роговское, Островистое, Долгое, Русское). Для второй — от 0,2 до 0,45 мг/кг (Глубокое, Чудское, Глухое, Рдейское, Круглое); в третью вошли озера, где содержание ртути в рыбе превышало 0,45 мг/кг (Большое и Малое Горецкие, Березайка, Межницкое).

Достоверность различий оценивали методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA, LSD-тест, $p = 0,05$, если не указано иное). Результаты представлены в виде средних значений и их доверительных интервалов. Статистическую обработку данных проводили с использованием программ Excel и Statgraphics Plus.

Результаты и их обсуждение

Размерно-весовые характеристики окуня и содержание ртути в мышечной ткани

Длина рыб во всей выборке варьировала от 9 до 26 см, масса тела от 14 до 300 г и возраст от 2 до 6 лет. Средние значения этих

Таблица 1

Характеристика исследуемых озер

№	Озеро	Площадь озера, км ²	pH	Цветность, град.	Площадь водосбора, км ²	Бассейн реки
1	Рдейское	8,93	4,4-4,9	260-494	25,82	Редья
2	Березайка	0,14	4,1	139	0,77	Редья
3	Чудское	1,62	4,5-5,4	242-388	8,49	Редья
4	Глубокое	0,07	5,0	139	0,19	Редья
5	Глухое	0,07	4,2	484	1,13	Порусь
6	Межницкое	0,97	4,7-4,8	126-327	3,01	Порусь
7	Русское	4,29	5,1-5,3	94-272	12,44	Порусь
8	Домшинское	0,61	4,8-5,9	180-455	10,11	Хлавица
9	Корниловское	0,15	4,7-5,0	227-310	1,26	Хлавица
10	Островистое	0,40	4,4-5,7	174-624	9,46	Хлавица
11	Большое Горецкое	0,26	4,4-5,3	73-173	0,30	-*
12	Малое Горецкое	0,09	4,3-4,9	53-101	0,12	-*
13	Роговское	0,56	4,5-5,6	147-331	1,34	Тупичинка
14	Круглое	0,43	4,8	308	1,20	Хлавица
15	Долгое	0,23	4,7	330	0,90	Полисть

Примечание: -* бессточные озера

показателей между рыбами из трех групп озер статистически достоверно не отличались (12,6; 12,8; 12,7 см и 37; 34; 33 г, соответственно). Однако внутри каждой возрастной группы различия были. Окунь из третьей группы озер в возрасте 2 и 3 года имели самую большую среднюю длину тела и достоверно отличались от выборки рыб из первой группы озер. Промежуточные значения показателей

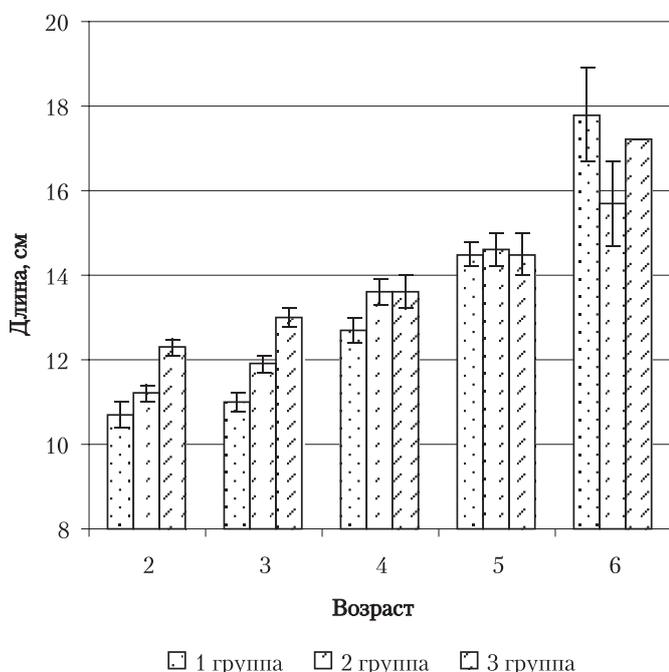


Рис. 2. Длина тела окуней разного возраста в исследованных группах озер.

имели окуни из второй группы озер. В возрасте 4 лет и старше рыбы не отличались по массе тела, а в возрасте 5 и старше — по длине (рис. 2; 3).

Содержание ртути в мышцах окуней из разных групп озер в зависимости от возраста рыб варьировало незначительно (рис. 4). У окуня из первой группы озер увеличение концентрации ртути в мышцах наблюдалось при достижении возраста 6 лет.

У рыб из второй группы озер оно в среднем равнялось 0,23-0,27 мг/кг и не зависело от их возраста. В третьей группе озер минимальные значения показателя отмечены у рыб в возрасте 4 лет, в то время как в возрасте 5 лет они были статистически достоверно выше. Слабая, но значимая зависимость содержания ртути от длины тела рыб установлена только для окуня из первой группы ($r = 0,32$, $p < 0,01$, $n = 107$). В третьей группе такая связь ($r = 0,41$, $p < 0,01$, $n = 90$) была только в том случае, если при анализе учитывался крупный (198 г) окунь с очень высоким содержанием металла (2,4 мг/кг). При удалении этого экземпляра из анализа исследуемая зависимость не наблюдалась, во второй группе она не выявлена.

Корреляционный анализ зависимости содержания ртути в мышцах рыб от факторов среды выявил статистически значимую связь с величиной удельного водосбора ($r = -0,71$, $Rsq = 50$, $p < 0,03$) и цветностью воды озер ($r = -0,72$). Для pH воды зависимость была не достоверна ($r = -0,44$, при $p = 0,27$). Связь

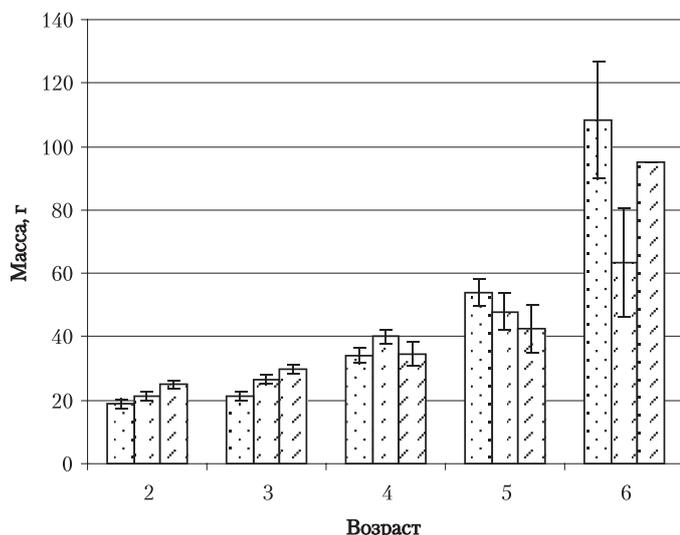


Рис. 3. Масса тела окуней разного возраста в исследованных группах озер. Обозначения как на рис. 2.

между площадью озера и содержанием ртути в мышцах рыб не выявлена.

Соотношение полов

Во всех группах в целом соотношение полов было смещено в сторону преобладания самок (табл. 2). С увеличением возраста процент самцов снижался. Во второй и особенно третьей группе озёр у рыб старше 3 лет отмечено значительное снижение количества самцов по сравнению с самками.

В исследованных нами озерах содержание ртути в мышечной ткани окуня варьировало в широких пределах от 0,01 до 2,40 мг/кг сырой массы. Минимальные значения показателя отмечены для рыб из озера Долгое (0,01-0,18 мг/кг), Домшинское (0,04-0,17 мг/кг). Максимальные — для рыб из озера Малое Горецкое (0,43-1,06 мг/кг) и Большое Горецкое (0,64-2,40 мг/кг). Ранее сходные величины этого показателя отмечались в озе-

Таблица 2

Соотношение полов (% самцов) у окуня

	1 группа	2 группа	3 группа
Вся выборка	36 ± 5 (114) a*	38 ± 5 (112) a	35 ± 5 (83) a
До 3 лет	44 ± 13 (15) a	55 ± 11 (22) a	67 ± 10 (24) a
3 года	38 ± 8 (37) a	41 ± 8 (37) a	31 ± 8 (36) a
Старше 3 лет	33 ± 6 (57) b	27 ± 6 (52) b	5 ± 1 (21) a

Примечание: * — наличие одинаковых буквенных символов в строке означает отсутствие статистически значимых различий между выборками, в скобках приведено количество проанализированных особей.

рах северо-запада России — оз. Чухломское (0,04 мг/кг) (Костромская обл.) и оз. Неро (0,06 мг/кг) (Ярославская обл.), в озерах Вологодской области: Дубровское (0,64 мг/кг), Утешково (0,78 мг/кг), Темное (1,06 мг/кг) [11].

Условия обитания окуня в разных частях его обширного ареала различны, что не может не сказаться на темпе его роста. В мелких и малокормных водоемах за первый год он достигает 5 см длины, а к 6 годам — 20 см, в крупных озерах и водохранилищах, в дельтах крупных рек годовалый окунь имеет длину 12 см, а пятилетний — 35 см [12, 13]. Сравнение данных по средним размерам окуня разных авторов и наших исследований показало, что окуни из озера Рдейского и Полистовского заповедников в первые три года жизни имеют такую же длину и массу, как и рыбы из озера Сямозеро (Карелия) [14], Селигер и Угличского вдхр. [15]. Однако в последующие годы наблюдается заметное уменьшение весовых показателей.

Возможно, снижение темпов роста окуня связано с ухудшением условий откорма за счет уменьшения численности доступной по размерам рыбной пищи [16]. У взрослых особей основным фактором, определяющим темп роста, является обеспеченность доступной рыбной пищей, которая обуславливает ранний переход на хищное питание и увеличение рационов [16]. Известно, что с увеличением размера рыбы-хищника возрастает предпочитаемый ею размер жертв, что является важным обстоятельством, определяющим темп роста хищника. Существует некое соотношение размеров хищника и жертвы. Чем мельче корм, тем больше энергии тратит хищник на поиск, захват и переваривание жертвы, поэтому хищники стремятся потреблять как можно более крупные кормовые объекты, однако не всегда такие условия кормления могут обеспечить населяемые ими водоемы. В результате этого темп роста таких рыб замедляется [17].

Изменения в обеспеченности доступной и калорийной пищей на всех этапах жизненного цикла отражаются в изменениях темпа роста рыб в ходе онтогенеза [16]. Поэтому снижение темпа роста окуня старше 3 лет можно объяснить качественным составом его рациона. Известно, что в кислых озерах окунь питается преимущественно беспозвоночными [18].

Низкий темп роста рыб принято считать одним из основных биологических факторов, способствующих накоплению ртути в

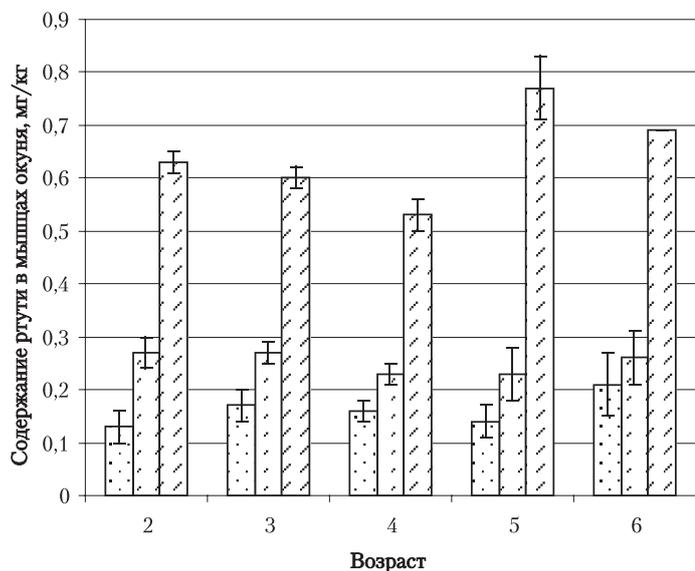


Рис. 4. Содержание ртути в мышцах окуня (мг/кг) разного возраста. Обозначения как на рис. 2.

больших количествах [7]. Однако результаты настоящей работы не подтверждают данное положение. Более того, сравнение длины и веса одновозрастного окуня с разным содержанием ртути в мышцах выявило более высокие показатели в группе рыб из озер, где концентрация металла в рыбе была высокой. Различия исчезают только на 5-6 годах жизни. Ранее было показано, что окунь в озерах Северной Америки с уровнем рН воды 4,5 растет первые 3-4 года быстрее, чем в озерах с более высокими значениями рН [19]. В дальнейшем лидеры и аутсайдеры меняются местами. Возможно, более интенсивный рост рыб в кислых водоемах непосредственно связан не с рН, а с уровнем накопления ртути, т.к. известно, что содержание металла в рыбе более высокое при низких значениях рН. Малые концентрации ртути могут стимулировать темпы роста некоторых видов рыб на ранних этапах онтогенеза [20-22].

Элиминация самцов с увеличением возраста рыб в популяциях окуня в озерах, для которых характерны высокие уровни накопления ртути, может свидетельствовать о негативном влиянии накопленной ртути в первую очередь на самцов. Соотношение полов в популяциях рыб может служить ориентировочной мерой неблагоприятного, как правило, антропогенного воздействия на экосистему [23]. Так, интенсивное загрязнение Северного моря послужило причиной того, что в отдельных его районах популяции камбалы (*Limanda limanda*) представлены, в основном, самками, самцы составляют незначи-

тельную часть от выборки [24]. Известно, что при накоплении метилртути в организме рыб снижается концентрация стероидных гормонов в плазме крови [25]. Для щуки эффективная концентрация равна 0,56 мг/кг, для судака — 0,71 мг/кг, белого осетра — 0,2-0,3 мг/кг. Для окуня из многих обследованных озер Полистово-Ловатского болотного массива такие величины обычны.

Заключение

Таким образом, окунь из озер, для которых характерно повышенное содержание ртути в мышцах рыб, в первые годы жизни растет быстрее по сравнению с окунем из озер, где содержание металла в мышцах низкое. В старших возрастных группах ситуация меняется на противоположную. В озерах, условия которых способствуют накоплению ртути в окуне, количественно преобладают самки, в выборках рыб старше трех лет численность самцов резко снижается.

Ключевые слова: верховое болото, ртуть, окунь, мышцы

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований Отделения биологических наук РАН «БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ РОССИИ: ДИНАМИКА В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ».

Литература

1. Hakanson L. Mercury in fish in Swedish lakes — linkages to domestic and European sources of emissions / L. Hakanson, T. Andersson, A. Nilsson // Water Air Soil Pollut. 1990. V. 50. P. 171–191.
2. Haines T.A. Lake acidity and mercury content of fish in Darwin National Reserve, Russia / T.A. Haines, V.T. Komov, C.H. Jagoe // Environ. Pollut. 1992. V. 78. P. 107–112.
3. Степанова И.К. Ртуть в абиотических и биотических компонентах озер Северо-Запада России / И.К. Степанова, В.Т. Комов // Экология. 1996. Т. 27. № 3. С. 198–203.
4. Степанова И.К. Накопление ртути в рыбе из водоемов Вологодской области / И.К. Степанова, В.Т. Комов // Экология. 1997. Т. 28. № 4. С. 196–202.
5. Greenfield B.K. Predicting mercury levels in yellow perch: use of water chemistry, trophic ecology, and spatial traits / B.K. Greenfield, T.R. Hrabik, C.J. Harvey, S.R. Carpenter // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 2001. V. 58. P. 1419–1429.

6. Waite D.T. Uptake of atmospheric mercury by deionized water and aqueous solution of inorganic salts at acidic, neutral and alkaline pH / D.T. Waite, A.D. Snihura, Y. Liu, G.H. Huang // *Chemosphere*. 2002. V. 49. P. 341–351.
7. Verta M. Changes in fish mercury concentrations in an intensively fished lake // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1990. № 47. P. 1888–1897.
8. Покровский В.В. Материалы по исследованию внутривидовой изменчивости окуня (*Perca fluviatilis* L.) // Труды Карело-Финского отделения Всесоюзного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства. Петрозаводск: Изд. ВНИОРХ. 1951. Т. 3. С. 95–149.
9. Гриб А.В. Дополнительные исследования Сяберских озер и некоторые данные о характере их рыбного населения / А.В. Гриб, В.С. Степанова // Труды Ленинградского общества естествоиспытателей. 1943. Т. LXIII. Вып. 3. С.32–38.
10. Немова Н.Н. Биохимические эффекты накопления ртути у рыб. М.: Наука, 2005. С. 22–134.
11. Гремячих В.А. Особенности накопления ртути в мышцах окуня / В.А. Гремячих, В.Т. Комов // Состояние экосистемы озера Неро в начале XXI века. М.: Наука, 2008. С. 263–275.
12. Попова О.А. Биологические показатели щуки и окуня в водоемах с различным гидрологическим режимом и кормностью // Закономерности роста и созревания рыб. М.: Наука, 1971. С. 102–152.
13. Попова О.А. Питание и пищевые взаимоотношения судака, окуня и ерша в водоемах разных широт // Изменчивость рыб пресноводных экосистем. М.: Наука, 1979. С. 93–112.
14. Решетников Ю.С. Рост, созревание и численность рыб в новых условиях / Ю.С. Решетников, О.А. Попова, О.П. Стерлигова, Б.Ф. Титова // Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема. Под ред. М.И. Шатуновского. М.: Наука, 1982. С. 176–218.
15. Макарова Н.П. Эколого-физиологическая характеристика окуня оз. Селигер и Угличского водохранилища // Изменчивость рыб пресноводных экосистем. М.: Наука, 1979. С. 180–194.
16. Попова О.А. Изменчивость морфометрических показателей у речного окуня *Perca fluviatilis* L. в пределах ареала / О.А. Попова, В.Л. Андреев, Н.П. Макарова, Ю.С. Решетников // Биология речного окуня. М.: Наука, 1993. С. 14–15.
17. Дгебуадзе Ю.Ю. Экологические закономерности изменчивости роста рыб. М.: Наука, 2001. С. 59–60.
18. Жгарева Н.Н. Питание окуня (*Perca fluviatilis* L.) в кислотных озерах Дарвинского государственного заповедника / Н.Н. Жгарева, В.Т. Комов // Озера холодных регионов: Докл. Междунар. конф. Ч. 5. Вопросы ресурсоведения, ресурсопользования, экологии и охраны. Якутск: Якутский ун-т, 2000. С. 20–31.
19. Harvey H. Population responses of fish in acidified waters // *Acid rain / Fisheries. Proc. Int. Symp. Ed. R.E. Johnson*. 1982. P. 227–244.
20. Глубоков А.П. Рост трех видов рыб в ранние периоды онтогенеза в норме и в условиях токсического воздействия // Вопросы ихтиологии. 1990. Т. 39, № 1. С. 137–143.
21. Голованова И.Л. Влияние ртути на гидролиз углеводов в кишечнике речного окуня *Perca fluviatilis* L. / И.Л. Голованова, В.Т. Комов // Вопросы ихтиологии. 2005. Т. 45. № 5. С.695–701.
22. Голованова И.Л. Гидролиз углеводов в кишечнике плотвы *Rutilus rutilus* (L.) при различном накоплении ртути в организме / И.Л. Голованова, В.Т. Комов, В.А. Гремячих // Биология внутренних вод. 2008. № 3. С. 102–108.
23. Bortone S.A. Fish intersexuality as indicator of environmental stress / S.A. Bortone, W.P. Davis // *BioScience*. 1994. V.44. № 3. P.165–171.
24. Lang T. Changes in the Sex Ratio of North Sea Dab (*Limanda limanda* L.) in the Period 1981–1995 / T. Lang, U. Damm, V. Dethlefsen // *Demersal Fish Committee. CM 1995/G: 25. Ref.E*. 1995. P. 90–100.
25. Scheuhammer A. Effects of Environmental Methylmercury on the Health of Wild Birds, Mammals, and Fish / A. Scheuhammer, M. Meyer, M. Sandheinrich, M. Murray // *Ambio*. XXXVI. 2007. № 1. P. 12–18.

T.B. Kamshilova, V.T. Komov, V. A. Gremyachikh

MERCURY ACCUMULATION IN MUSCLES AND GROWTH RATE OF PERCHES (*PERCA FLUVIATILIS LINNAEUS*) IN LAKES OF THE POLISTOVO-LOVATSKOE RAISED BOG

Dependence of perch growth rate on mercury accumulation level in perch muscles was investigated for the Polistovo-Lovatskoe raised bog. It was found that perches in a lake with increased muscle mercury content (0.45 mg/kg) faster grow at earlier life stages than perches in a lake with low muscle mercury content (0.2 mg/kg). At elder groups the situation reverses.

Key words: raised bog, mercury, perch, muscles