

УДК 597.554.3:577.125

Взаимосвязь среднемесячной температуры февраля и показателей липидного обмена леща Рыбинского водохранилища в разные годы

Н. И. Силкина, Д. В. Микряков, В. Р. Микряков

Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН (ФГБУН «ИБВВ им. И. Д. Папанина»), п. Борок
E-mail: sni@ibiw.yaroslavl.ru

Проведено исследование некоторых показателей липидного обмена в печени, почках и селезёнке леща *Abramis brama*, обитающего в Волжском плёсе Рыбинского водохранилища. Рыб отлавливали в зимнее время (февраль) на протяжении нескольких лет. В исследуемых тканях анализировали содержание общих липидов и их фракционный состав. Установлены вариации исследуемых показателей в разные по среднемесячной температуре воздуха годы. Наибольшие различия между показателями выявлены в годы с наиболее высокой (2003 г.) и наиболее низкой (2006 г.) среднемесячной температурой. Минимальное содержание суммарных липидов во всех тканях было зафиксировано в 2006 г., а максимальное — в 2003 г. Качественный состав липидов в разные годы был идентичным, однако отмечены межгодовые отличия в относительном содержании отдельных липидных фракций. В 2006 г. по сравнению с 2003 г. в печени и почках установлено повышенное содержание фосфолипидов и холестерина, но снижение уровня триацилглицеринов. Качественный состав липидов в селезёнке оставался наиболее стабильным по сравнению с другими исследуемыми тканями. Разное количественное соотношение отдельных липидных компонентов в исследуемых тканях отражает как межгодовые колебания, так и структурно-функциональные особенности разных органов.

Ключевые слова: лещ *Abramis brama*, липиды, фракции липидов, температура воздуха.

ВВЕДЕНИЕ

Лещ *Abramis brama* (L., 1758) — один из основных промысловых видов, обитающих в Рыбинском водохранилище [Герасимов и др., 2010]. Это типичный бентофаг семейства карповых Cyprinidae, его основную пищу составляют олигохеты, хирономиды, мелкие ракообразные, моллюски и др. [Атлас пресноводных..., 2000]. Для определения состояния популяции рыб важны исследования по изучению влияния биотических и абиотических факторов на экосистемы водоёмов. В разные

годы изменяется интенсивность воздействия факторов внешней среды на организм рыб. Флуктуации климатических показателей оказывают влияние на условия жизни гидробионтов. Колебания температурных и кислородных режимов в водоёмах вызывают изменения в количестве и качестве кормовых объектов, физиолого-биохимических параметров в организме рыб. Температура окружающей среды является одним из важнейших экологических факторов водной среды [Константинов, 1993; Зданович, Пушкарь, 2008; Голованов, 2013;

Mathes et al., 2010], особенно в первые годы жизни, как это показано на примере молоди судака [Karjalainen et al., 1996].

Существование межгодовой изменчивости в сезонных ритмах различных биохимических процессов у рыб отмечено многими российскими исследователями [Шульман, 1972; Сидоров и др., 1977; Шатуновский, 1980; Сидоров, 1986; Силкина, 1988; Детлаф, 2001; Карамушко и др., 2004]. Эти колебания в обмене веществ опосредованы, связаны с недостаточно объяснимыми связями с климатическими флуктуациями, отражают приспособительные сдвиги сезонных физиологических процессов в организме рыб и обусловлены различиями в гидрологическом режиме водоёмов [Шатуновский, 1980]. Ранее отмечены особенности межгодовой изменчивости содержания липидов и их фракционного состава в тканях леща Рыбинского водохранилища [Силкина, 1988]. Несмотря на наличие в литературных источниках данных о колебаниях показателей липидного обмена в разные годы, данные о межгодовых параметрах у рыб, обитающих в одном экотопе, отсутствуют. Такие исследования липидного обмена у рыб позволят изучить адаптивный потенциал вида к продолжительным изменениям условий существования, что особенно актуально в настоящее время в связи с наблюдаемыми и широко обсуждаемыми глобальными изменениями климата.

Цель работы — исследование взаимосвязи среднемесячной температуры февраля и особенностей липидного обмена леща Рыбинского водохранилища в различные по температурным режимам годы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования проводили на леще в возрасте 3+, средней массой 345–405 г и длиной 270–310 см, отловленном в Волжском плёсе Рыбинского водохранилища. Рыб вылавливали с помощью ставных сетей. Отлов производили в феврале в течение нескольких лет и фиксировали среднемесячную температуру воздуха.

Для исследования у рыб отбирали ткани печени, туловищной почки и селезёнки. Содержание общих липидов (ОЛ) определяли гравиметрическим стандартным методом Фолча

[Folch et al., 1957]. Пробы фиксировали смесью хлороформ: метанол в соотношении 2:1, по объёму. Разделение общих липидов проводили методом тонкослойной хроматографии восходящим способом на пластинках «Silufol» в системе растворителей: петролейный эфир: серный эфир: ледяная уксусная кислота (90:10:1, по объёму).

Отдельные компоненты липидов выявляли в герметичной камере в парах йода [Кейтс, 1972]. Определяли содержание фосфолипидов (Ф), триацилглицеринов (Т), свободного холестерина (Х), эфиров стероидов (ЭС), свободных неэстерифицированных жирных кислот (НЭЖК) и углеводов (У), которых идентифицировали с помощью стандартов.

Статистическая и графическая обработка данных проведена с помощью прикладных программ Microsoft Office Excel 2003, Statistica 6.0. Корреляционную связь между температурой воздуха и исследуемыми показателями определяли с помощью ранговой корреляции Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Анализ среднемесячных температур показал, что наиболее низкая температура воздуха в районе отлова наблюдалась в 2006 г., а наиболее высокая — в 2003 г. (табл. 1).

При сравнительном исследовании межгодовых показателей липидного обмена зафиксированы различия в тканях печени, почки и селезёнки лещей (рис. 1–7).

Содержание ОЛ было выше в печени по сравнению с другими органами (рис. 1). В зависимости от температуры воздуха уровень ОЛ в исследуемых тканях леща варьировал. Их содержание в тканях печени и почки увеличивалось в годы с более высокой темпера-

Таблица 1. Показатели среднемесячной (февраль) температуры воздуха и количество исследованных рыб

Годы	Температура, С°	Количество рыб, экз.
1997	–15,1	29
1998	–15,2	33
2003	–14,4	22
2004	–16,2	19
2005	–15,7	24
2006	–17,2	25

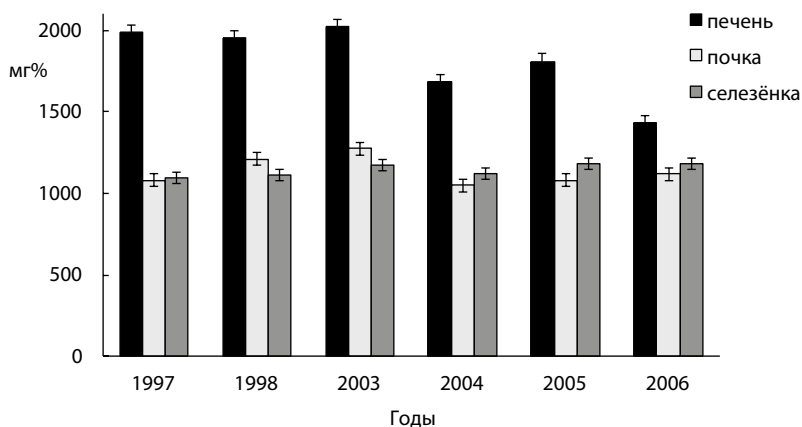


Рис. 1. Содержание общих липидов

Здесь и далее в следующих рисунках одинаковый тип линий, обозначающих органы (печень, почку и селезёнку).

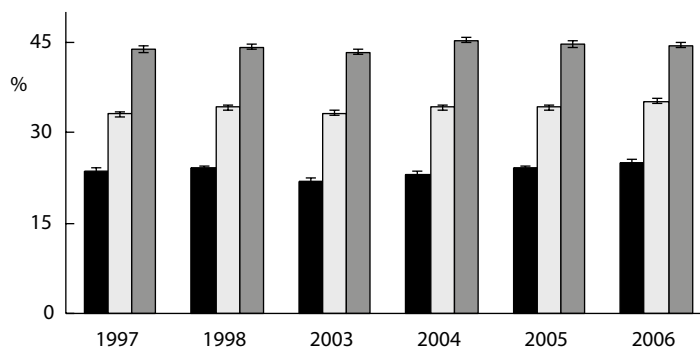


Рис. 2. Содержание фосфолипидов

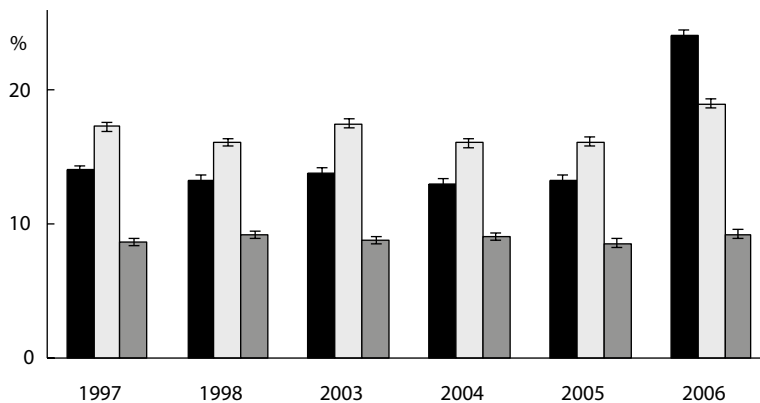


Рис. 3. Содержание холестерина

турой воздуха: максимальный уровень был отмечен в более тёплом 2003 г., а минимальный — в более холодном 2006 г. Содержание ОЛ в селезёнке менялось в меньшей степени, чем в других тканях.

Фракционный состав ОЛ в исследуемых тканях в разные годы был однородным, но относительное количество отдельных липидных

компонентов колебалось. Наиболее существенные отличия соотношения липидных фракций в исследуемых тканях лецта отмечены у особей, отловленных в 2003 и 2006 гг. Существенные отклонения установлены в печени и почках, а стабильные значения выявлены в селезёнке. Наибольшие показатели Ф и Т отмечены в селезёнке, Х — в почках, НЭЖК, ЭС и У —

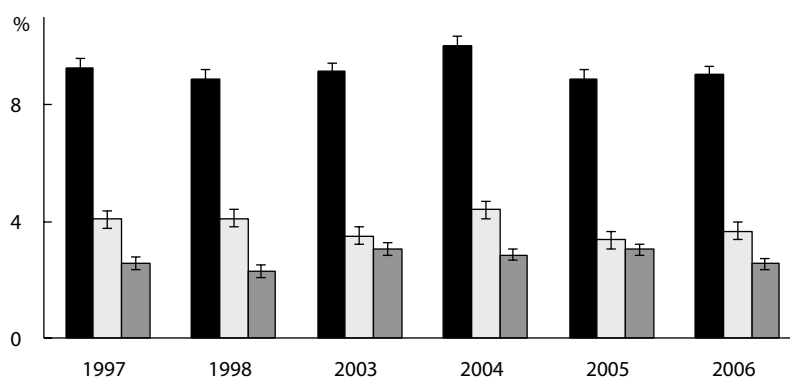


Рис. 4. Содержание неэстерифицированных жирных кислот

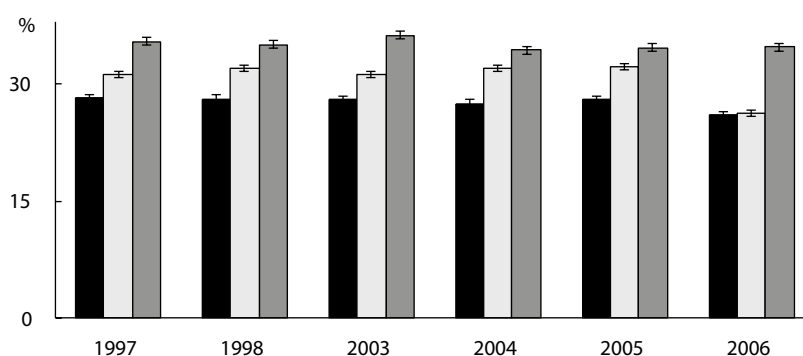


Рис. 5. Содержание триацилглицеринов

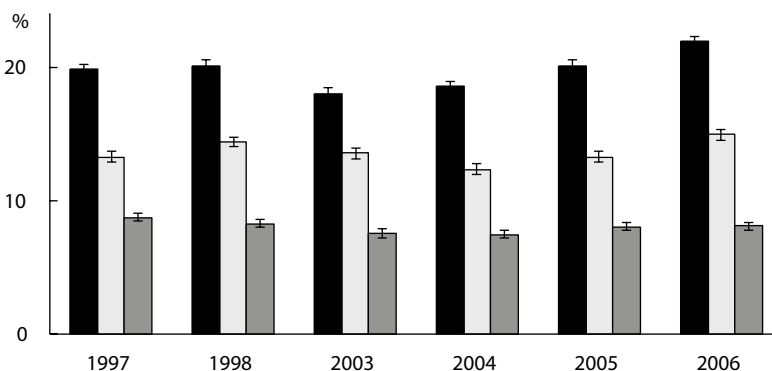


Рис. 6. Содержание эфиров стероидов

в печени и наоборот, низкое содержание Φ , T в печени, X , $NЭЖК$, $ЭС$ и $У$ в селезёнке (рис. 2–7).

Различия между липидными показателями разных тканей указывают на зависимость процессов липидного обмена от особенностей структурно-функциональной организации исследуемых тканей. Одна из основных функций печени — обеспечение энергетических потребностей организма за счёт контроля углеводного и липидного обмена. В этом органе происхо-

дит пополнение и сохранение энергетических быстро мобилизуемых резервов в виде гликогена, конвертация разных источников энергии (аминокислоты, свободные жирные кислоты, глицерин, молочная кислота и т.д.), осуществляется синтез $ОЛ$, X , $ЭС$ и Φ . Метаболическая функция почек — обмен белков, углеводов и липидов, синтез белков и гормонов, участие в процессе глюконеогенеза. Селезёнка принимает участие в белковом обмене, синтезе глобулинов, альбуминов и иммуноглобулинов.

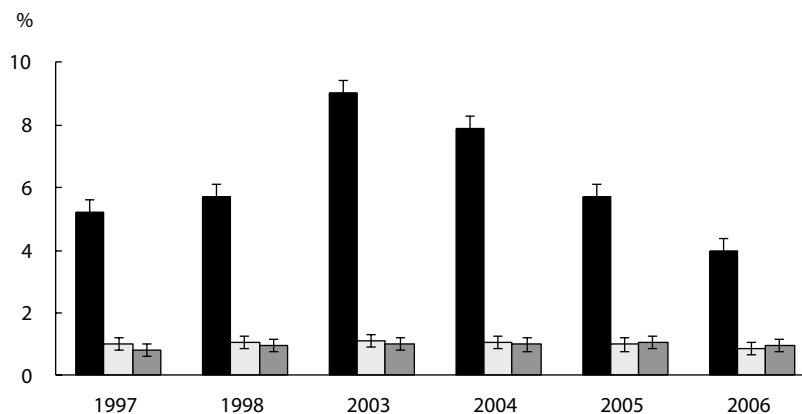


Рис. 7. Содержание углеводов

Однако во всех исследуемых тканях зафиксированы аналогичные изменения: в 2006 г. по сравнению с 2003 г. установлено более высокое содержание Ф, Х и ЭС, тогда как уровень Т снижен.

Установлена сильная корреляционная связь между повышением температуры и некоторыми исследуемыми показателями. Высокая положительная корреляция отмечена между содержанием ОЛ ($r = +0,97$) и Т в печени ($r = +0,87$), между уровнем Т селезёнки ($r = +0,79$), У в почке ($r = +0,77$). Обратная связь обнаружена между содержанием Ф ($r = -0,74$), Х ($r = -0,74$) и ЭС ($r = -0,69$) в печени, Ф в почке ($r = -0,89$) и селезёнке ($r = -0,71$). По другим показателям корреляционная зависимость средняя или слабая.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Липиды — источники метаболической энергии в организме, биологические эффекторы, регуляторы и медиаторы, участвующие практически во всех важнейших физиологических и биохимических процессах, происходящих в организме и способствующих его адаптации к неблагоприятным факторам среды [Лапин, Шатуновский, 1981; Сидоров, 1986; Сидоров и др., 1977].

Анализ полученных результатов показал, что варибельность межгодовых климатических температурных условий отражалась на биохимических процессах, происходящих в организме рыб. В разные по климатическим особенностям годы содержание ОЛ и количественное соотношение отдельных фракций

менялось. Вероятно, это связано с толщиной ледяного покрова, который влияет на интенсивность и длительность освещённости.

Увеличение высоты льда в более холодные годы изменяет поведение мирных рыб: прекращается пищевая активность и они держатся в глубоких местах водоёма в малоподвижном состоянии. В организме происходит изменение деятельности нейроэндокринной системы и направления метаболизма. В печени и почках снижается количество ОЛ за счёт расходования Т или запасных липидов в качестве энергетического материала. Увеличение содержания Х, вероятно, связано с усилением секреции стероидных гормонов, в т.ч. кортизола — основного регулятора углеводного обмена [Плисецкая, Кузьмина, 1971; Плисецкая, 1975] и активно синтезируемого при воздействии на организм стресс-факторов [Селье, 1960; Wendelaar Bonga, 1997]. Повышение доли Ф во всех органах может свидетельствовать об интенсификации образования и поступления липотропных веществ (холин, метионин и др.). Известно, что при их высоком уровне из нейтрального жира (глицерина, жирных кислот и др.) значительно усиливается синтез Ф [Шатуновский, 1980; Гершанович и др., 1991]. Важно также отметить, что Ф и Х — основные компоненты биологической мембраны и их количественное соотношение отражает свойства биомембран (проницаемость, степень устойчивости, микровязкость и др.).

Модификации липидного спектра рыб в разные годы отражают особенности метаболических реакций на уровне липидного состава,

обеспечивающего гомеостаз для поддержания жизнеспособности [Хочачка, Сомеро, 1988]. Полученные в данной работе результаты подтверждают изменчивость липидного спектра рыб при разных экологических условиях [Шатуновский, 1980; Сидоров, 1986].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлены межгодовые колебания количественного и качественного составов липидов в тканях печени, почек и селезёнки у лещей Волжского плёса Рыбинского водохранилища. Они зависели от температуры воздуха и структурно-функциональных особенностей разных тканей. Установленные модификации в функционировании липидных механизмов гомеостаза следует рассматривать как типичную реакцию рыб на изменение условий окружающей среды. Выявленные отличия в соотношении исследуемых показателей могут служить экологическими маркерами климатических особенностей среды обитания и быть использованы в качестве биотеста при мониторинге физиолого-биохимического статуса рыб.

ЛИТЕРАТУРА

- Атлас пресноводных рыб России.* 2002. Под редакцией Ю.С. Решетникова. М.: Наука. Т. 1. С. 379.
- Герасимов Ю.В., Бражник С.Ю., Стрельников А.С. 2010. Динамика структурных показателей популяции леща *Abramis brama* (Cyprinidae) Рыбинского водохранилища на период 1954–2007 гг. // Вопросы ихтиологии. 50 (4). С. 515–524.
- Гершанович А.Д., Лапин В.И., Шатуновский М.И. 1991. Особенности обмена липидов у рыб // Успехи современной биологии. Т. 3. Вып. 2. С. 207–219.
- Голованов В.К. 2013. Температурные критерии жизнедеятельности пресноводных рыб. М.: Полиграфплюс. 300 с.
- Детлаф Т.А. 2001. Температурно-временные закономерности развития пойкилотермных животных. М.: Наука. 211 с.
- Зданович В.В., Пушкарь В.Я. 2007. Температурная астатичность среды как экологический оптимум гидробионтов // Биологические науки Казахстана. № 4. С. 68–78.
- Карамушко Л.И., Шатуновский М.И., Христиансен Й.Ш. 2004. Скорость метаболизма и метаболические адаптации у рыб разных широт // Вопросы ихтиологии. Т. 44. № 5. С. 692–699.
- Константинов А.С. 1993. Влияние колебаний температуры на рост, энергетику и физиологическое состояние молоди рыб // Известия РАН. Серия биологическая. № 1. С. 55–63.
- Кейтс М. 1975. Техника липидологии. М.: Мир. 322 с. (Cates M., 1972. Techniques of Lipidology. Ottawa: North-Holland Publishing Company).
- Лапин В.И., Шатуновский М.И. 1981. Особенности состава, физиологическое и экологическое значение липидов рыб // Успехи современной биологии. Т. 92. Вып. 3 (6). С. 380–394.
- Немова Н.Н., Высоцкая Р.У. 2004. Биохимическая индикация состояния рыб. М.: Наука. 215 с.
- Плисецкая Э.М. 1975. Гормональная регуляция углеводного обмена у низших позвоночных. Л.: Наука. 215 с.
- Плисецкая Э.М., Кузьмина В.В. 1971. Уровень гликемии круглоротых (Cyclostomata) и рыб (Pisces) // Вопросы ихтиологии. Т. 11. Вып. 6. С. 1077–1087.
- Романенко В.Д. 1980. Влияние экологических факторов на метаболизм рыб при тепловодном выращивании // Вопросы ихтиологии. Т. 20. Вып. 6. С. 920–926.
- Саутин Ю.Ю., Романенко В.Д. 1982. Влияние фотопериода и температуры на соматотропную и лактотропную активность гипофиза карпа // Журн. эволюц. биохимии и физиологии. Т. 18. № 5. С. 471–476.
- Селье Г. 1960. Очерки об адаптационном синдроме. М.: Медгиз. 254 с. (Selye H. 1952. The Story of the Adaptation Syndrome. Montreal: Acta, Medical Publishers).
- Сидоров В.С. 1986. Эволюционные и экологические аспекты биохимии рыб. Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М. 50 с.
- Сидоров В.С., Лизенко Е.И., Рупатти П.О., Болгова О.М. 1977. Липиды рыб (литературный обзор) // Сравнительная биохимия рыб и их гельминтов. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР. С. 5–56.
- Силкина Н.И. 1988. Сезонная динамика липидов сывортки крови и её связь с иммунологической реактивностью. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М. 25 с.
- Хочачка П., Сомеро Дж. 1988. Биохимическая адаптация. М.: Мир. 568 с. (Hochachka P.W., Somero G.N. 1984. Biochemical adaptation. Princeton University press.)
- Шатуновский М.И. 1980. Экологические закономерности обмена веществ морских рыб. М.: Наука. 238 с.
- Шульман Г.Е. 1972. Физиолого-биохимические особенности годовых циклов рыб. М.: Пищевая промышленность. 368 с.

- Folch J., Lees M., Stanley G.N. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues // *J. Biol. Chem.* V. 226. № 3. P. 497–509.
- Mathes M.T., Hinch S.S., Cooke S.J., Crossin G.T., Patterson D.A., Lotto A.G., Farrell A.P. 2010. Effect of water temperature, timing, physiological condition, and lake thermal refugia on migrating adult Weaver Creek sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* V. 67. № 1. P. 70–84.
- Karjalainen J., Lehtonen H., Turunen T. 1996. Variation in the relative year-class strength of pikeperch, *Sizostedion lucioperca* (L.) in two Finnish lakes at different latitudes // *Ann. Zool. Fennici.* V. 33. № 3–4. P. 437–442.
- Wendelaar Bonga S.E. 1997. The stress response in fish // *Physiol. Rev.* V. 77. № 3. P. 591–625.
- REFERENCE**
- Atlas presnovodnyh ryb Rossii* [Atlas of Freshwater Fishes of Russia]. 2002. Pod redakciej Yu. S. Reshetnikova. M.: Nauka. T. 1. C. 379.
- Gerasimov Yu.V., Brazhnik S. Yu., Strel'nikov A.S. 2010. Dinamika strukturnykh pokazatelej populyacii leshcha *Abramis brama* (Cyprinidae) Rybinskogo vodohranilishcha na period 1954–2007 gg. [Dynamics of structural parameters of populations of the bream *Abramis brama* (Cyprinidae) in Rybinsk reservoir in 1954–2007] // *Voprosy ihtiologii.* 50 (4). S. 515–524.
- Gershanovich A.D., Lapin V.I., Shatunovskij M.I. 1991. Osobennosti obmena lipidov u ryb [Specific Features of Lipid Metabolism in Fishes] // *Uspekhi sovrem. biologii.* T. 3. Vyp. 2. S. 207–219.
- Golovanov V.K. 2013. Temperaturnye kriterii zhiznedeyatel'nosti presnovodnyh ryb [Temperature criteria of the life activity of freshwater fish]. M.: Poligraf-plyus. 300 s.
- Detlaf T.A. 2001. Temperaturno-vremennye zakonomernosti razvitiya pojkilotermyh zhivotnyh [Temperature-temporal patterns of the development of poikilothermic animals]. M.: Nauka. 211 s.
- Zdanovich V.V., Pushkar' V. Ya. 2007. Temperaturnaya astatichnost' sredi kak ehkologicheskij optimum gidrobiontov [Temperature astaticism of the environment as an ecological optimum of hydrobionts] // *Biologicheskie nauki Kazahstana.* № 4. S. 68–78.
- Karamushko L.I., Shatunovskij M.I., Hristiansen J. Sh. 2004. Skorost' metabolizma i metabolicheskie adaptacii u ryb raznyh shirot [Rates of the Metabolism and Metabolic Adaptations in Fishes of Different Latitudes] // *Voprosy ihtiologii.* T. 44. № 5. S. 692–699.
- Konstantinov A.S. 1993. Vliyanie kolebanij temperatury na rost, ehnergetiku i fiziologicheskoe sostoyanie molodi ryb [The influence of temperature fluctuations on growth, energy and physiological state of juvenile fish] // *Izvestiya RAN. Ser. biol.* № 1. 55–63.
- Lapin V.I., Shatunovskij M.I. 1981. Osobennosti sostava, fiziologicheskoe i ehkologicheskoe znachenie lipidov ryb [Peculiarities of Composition and Physiological and Ecological Significance of Fish Lipids] // *Usp. sovr. biol.* T. 92. Vyp. 3 (6). S. 380–394. T. 1. S. 380–394.
- Nemova N.N., Vysockaya R.U. 2004. Biohimicheskaya indikaciya sostoyaniya ryb [Biochemical Indication of the State of Fish]. M.: Nauka. 215 s.
- Pliseckaya Eh.M. 1975. Gormonal'naya regulyaciya uglevodnogo obmena u nizshih pozvonochnyh [Hormonal Regulation of Carbohydrate Metabolism in Lower Vertebrates]. L.: Nauka. 215 s.
- Pliseckaya Eh.M., Kuz'mina V.V. 1971. Uroven' glikemii kruglorotyh (Cyclostomata) i ryb (Pisces) [The level of glycemia of the cyclostomes (Cyclostomata) and fish (Pisces)] // *Voprosy ihtiologii.* T. 11. Vyp. 6. S. 1077–1087.
- Romanenko V.D. 1980. Vliyanie ehkologicheskikh faktorov na metabolizm ryb pri teplovodnom vyrashchivanii [The influence of ecological factors on the metabolism of fish during warm water cultivation] // *Voprosy ihtiologii.* T. 20. Vyp. 6. S. 920–926.
- Sautin Yu. Yu., Romanenko V.D. 1982. Vliyanie fotoperioda i temperatury na somatotropnyuyu i laktotropnyuyu aktivnost' gipofiza karpa [The effect of photoperiod and temperature on the somatotrophic and lactotropic activity of carp pituitary gland]. *Zhurn. ehvol'yuc. biohimii i fiziologii.* T. 18. № 5. S. 471–476.
- Sidorov V.S. 1986. Ehvol'yucionnye i ehkologicheskie aspekty biohimii ryb [Evolutionary and ecological aspects of fish biochemistry]. Avtoref. dis. ...d-ra biol. nauk. M. 50 s.
- Sidorov V.S., Lizenko E.I., Ripatti P.O., Bolgova O.M. 1977. Lipidy ryb (Literaturnyj obzor) [Lipids in Fish (Literature Review)] // *Sravnitel'naya biohimiya ryb i ih gel'mintov.* Petrozavodsk: Karel'skij filial AN SSSR. S. 5–56.
- Silkina N.I. 1988. Sezonnaya dinamika lipidov syvorotki krovi i ee svyaz' s immunologicheskoy reaktivnost'yu [Seasonal dynamics of serum lipids and its relationship to immunological reactivity]. Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk. M. 25 s.
- Shatunovskij M.I. 1980. Ehkologicheskie zakonomernosti obmena veshchestv morskikh ryb [Ecological Patterns of Metabolism in Marine Fishes]. M.: Nauka. 238 s.
- Shul'man G.E. 1972. Fiziologo-biohimicheskie osobennosti godovyh ciklov ryb [Physiological and Biochemical Features of Annual Cycles in Fishes]. M.: Pishchevaya promyshlennost'. 368 s.

Поступила в редакцию 12.07.2017 г.
Принята после рецензии 18.08.2017 г.

Interrelation of monthly average temperature of February and indicators of lipid exchange of bream of Rybinsk reservoir in different years

N. I. Silkina, D. V. Mikryakov, V. R. Mikryakov

I. D. Papanin' Institute for Biology of Inland Waters RAS (FSBSI «IBIW» RAS), Borok

A study of some indices of lipid metabolism in the liver, kidney and spleen of bream *Abramis brama* L., caught in the Volga reach of the Rybinsk reservoir, was conducted. Fish were caught in winter (February) for several years. In the studied tissues, the content of total lipids and their fractional composition were analyzed. Differences of the investigated indicators are recorded in years with different mean monthly temperatures. The greatest differences were revealed in the indicators between years with the highest (2003) and the lowest (2006) average monthly temperature. The minimum content of total lipids in all tissues was recorded in 2006, and the maximum in 2003. The qualitative composition of lipids in different years was identical, however, interannual differences were noted in the relative content of individual lipid fractions. In 2006, in comparison with 2003, elevated levels of phospholipids and cholesterol were found in the liver and kidneys, and triacylglycerols were decreased. The qualitative composition of lipids in the spleen remained the most stable in comparison with other investigated tissues. The different quantitative level of the individual lipid components in the studied tissues reflects both the interannual fluctuations and the structural-functional characteristics of the different organs.

Key words: bream *Abramis brama*, lipids, lipid fractions, temperature of air.