

СОДЕРЖАНИЕ ИОНОВ НАТРИЯ, КАЛИЯ, КАЛЬЦИЯ, МАГНИЯ В ПОЗВОНКАХ И ЧЕШУЕ ПЛОТВЫ *RUTILUS RUTILUS L.* В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЗРЕЛОСТИ ГОНАД

А. С. Маврин, В. И. Мартемьянов

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН,
пос. Борок, Ярославская обл., Россия,
e-mail: mavr_as@mail.ru

Введение

Катионы – натрий, калий, кальций, магний совместно с анионами – хлором, сульфатом и гидрокарбонатом являются основными компонентами минерального состава природных вод. Они входят в состав различных органов и тканей животных и растений, выполняя различные функции.

Одним из наиболее важных биоэлементов является кальций. У высших и низших позвоночных кальций участвует в формировании костного скелета растущего организма. Он входит в состав основного минерального компонента костной ткани – оксиапатита (Касавина, Торбенко, 1979). Заключительный этап полового созревания – вителлогенез, в процессе которого происходит синтез, и накопление желтка в ооцитах, происходит при участии кальция (Follet e.a., 1968).

Скелетное и половое развитие тесно взаимосвязаны. Наступление половой зрелости находится в прямой зависимости от зрелости костной ткани, определяемое ее минеральной плотностью (МПКТ) (Хрисанфова, Перевозчиков, 2002).

Непрерывность существования различных видов живых организмов зависит от состояния их среды обитания и успеха воспроизводства. Изучение закономерностей полового созревания рыб и реализации их различных жизненных стратегий связано со знанием процессов ионной регуляции у гидробионтов (Виноградов, 2000) и периодизацией индивидуального развития рыб (Шатуновский, 1998, 2001).

Для изучения индивидуального развития рыб используют прямое наблюдение, а также ретроспективное восстановление картины роста рыб за прошедший период времени с применением различных регистрирующих структур. В обобщающих работах отмечается что, чешуя рыб является

полифункциональной, диагностической и регистрирующей структурой (Бурдак, 1979; Мина, Клевезаль, 1970; Дгебуадзе, Чернова, 2009). На ширине межсклеритных и межкошцевых зон роста чешуи отражаются, как внешние условия жизни (Лапин, 1965; Ваганов, 1978; Касьянов, Сметанин, 1981; Бугаев, 1986), так и физиологические перестройки, вызванные нерестом (Замахаяев, 1940; Menon, 1953; Garrud, Newell, 1958; Чугунова, 1959; Липская, Овен, 1970). В связи с этим, образование широких и узких межкошцевых зон на чешуе может быть использовано для понимания закономерностей индивидуального развития и полового созревания рыб.

В процессе роста и полового созревания организм нуждается в поступлении различных элементов, включая ионы, из внешней среды. Поступление необходимых биоэлементов в растущий организм наземных животных происходит двумя путями – с пищей и водой. У рыб поступление ионов осуществляется в основном из воды через жабры (Krogh, 1939, Fleming, 1968; Simkiss, 1973; Виноградов, 2000).

Ранее было показано, что внешние условия влияют на рост, время достижения половой зрелости (Берг, 1937; Дмитриева, 1957; Кошелев, 1971) и ионный обмен между организмом рыб и водой (Виноградов, 2000). Между этими тремя интегральными показателями существует взаимная связь. Изменения ионного обмена влияют на содержание электролитов в различных тканях организма. В. В. Русановым (1979) была показана связь между внешними гидрохимическими условиями и содержанием ионов в костях и чешуе ювенильных рыб.

Остается неизвестным: имеется ли какая-либо взаимосвязь между зрелостью гонад и содержанием ионов в скелете и чешуе рыб?

Цель работы: Определить содержание ионов натрия, калия, кальция, магния в позвонках и чешуе у самок и самцов плотвы (*Rutilus rutilus* L.) в зависимости от зрелости гонад в преднерестовый период.

Материал и методы

Материалом для работы послужила плотва, пойманная в реке Ильдь (Некоузский район Ярославской области) в период с 9 марта по 3 апреля 2009 года.

У каждой особи измеряли длину тела от начала головы до конца чешуйного покрова с помощью штангенциркуля (точность 0,1 мм) и массу тела с помощью весов ВЛКТ-500 (точность 0,01 г). Определяли пол и стадию зрелости гонад. Всего было исследовано 25 самок и 13 самцов.

Чешую для определения ширины межкольцевых зон брали в первом ряду над боковой линией в количестве 3-х штук с одной рыбы, фиксировали между двумя предметными стеклами и фотографировали с помощью цифровой фотокамеры Canon PS A720 IS через стереомикроскоп Technival Carl Zeiss. Обработка фотоматериалов для выделения колец на чешуе была проведена в графическом редакторе iPhoto plus v.1.1с. Графически выделяли только те кольца, которые прослеживались по всей окружности и имели при этом участки с выклинивающимися, разрушенными и слившимися склеритами в примыкающей к кольцу зоне роста. Эти кольца являются границами зон роста чешуи. Для контрольного определения колец использовали световой стереомикроскоп, поскольку при изменении направления подсветки, в результате преломления света проходящего сквозь чешую, увеличивалась четкость их отображения. Всего исследовано и проанализировано 75 фотоснимков чешуи.

Для снижения разнокачественности перед статистической обработкой была проведена биологическая дифференцировка собранного материала. Самки и самцы плотвы были разделены по зрелости гонад на 2 группы: незрелые – ювенильные с гонадами во II стадии зрелости и зрелые – находящиеся в репродуктивном состоянии с гонадами в IV стадии зрелости. Далее, на основе сопоставления размеров краевых и внутренних межкольцевых зон роста чешуи на полученных фотоснимках, и выбора наиболее типичного их расположения, учитывая эколого-физиологические подходы к периодизации онтогенеза рыб (Шатуновский, 1998, 2001), самки первой группы были разделены на ювенильных и пропускаю-

щих нерест. Самки второй группы – на впервые созревших и повторно созревших.

Позвонки для определения содержания ионов брали из туловищного отдела позвоночника, чешую – в первом и втором рядах над боковой линией посередине тела.

Определение ионов в чешуе и позвонках проводили методом пламенной спектрофотометрии. Для этого чешую и позвонки средней массой около 100 мг растворяли в концентрированной азотной кислоте. Затем в каждую пробу добавляли дистиллированную воду с таким расчетом, чтобы получалось разведение в 200 раз. Концентрация ионов в чешуе и позвонках выражали в ммоль/кг сырой массы ткани. Связь между содержанием ионов в позвонках и чешуе определяли с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена (r).

Статистическая обработка данных проведена с помощью прикладных программ Microsoft Office Excel 2003, Quattro Pro 5.0, Statistica 6.0. Результаты представлены в виде средних и их ошибок ($X \pm m$), оценка достоверности проведена для уровня вероятности $P=0,05$ по U-критерию Манна-Уитни.

Результаты и обсуждение

В результате проведенной биологической дифференцировки собранного материала было выделено 4 группы самок плотвы. Для каждой группы рыб были определены средние значения длины и массы тела. В таблице представлены средние значения размерно-массовых характеристик самок и самцов плотвы.

Самки	Длина тела, см	Масса тела, г	n
Ювенильные	11,3 ± 0,2	24,0 ± 1,5	7
Впервые созревшие	10,7 ± 0,2	20,3 ± 1,7	4
Пропускающие нерест	11,3 ± 0,3	24,9 ± 1,9	6
Повторно созревшие	12,1 ± 0,3	30,7 ± 2,4	8
Самцы	Длина тела, см	Масса, г	n
Ювенильные	9,8 ± 0,63	15,6 ± 2,6	4
Половозрелые	10,2 ± 0,2	20,4 ± 1,6	9

По размерно-массовым характеристикам ювенильные, впервые созревшие и пропускающие нерест достоверно не отличались. Повторно созревшие самки имели длину и массу тела больше, чем самки других групп. Ювенильные и зрелые самцы не имели достоверных различий по длине тела.

Графическая обработка чешуйного фотоматериала позволила установить некоторые общие закономерности расположения колец на чешуе плотвы из разных групп и представить их в виде обобщенных схематических данных на рисунке 1.

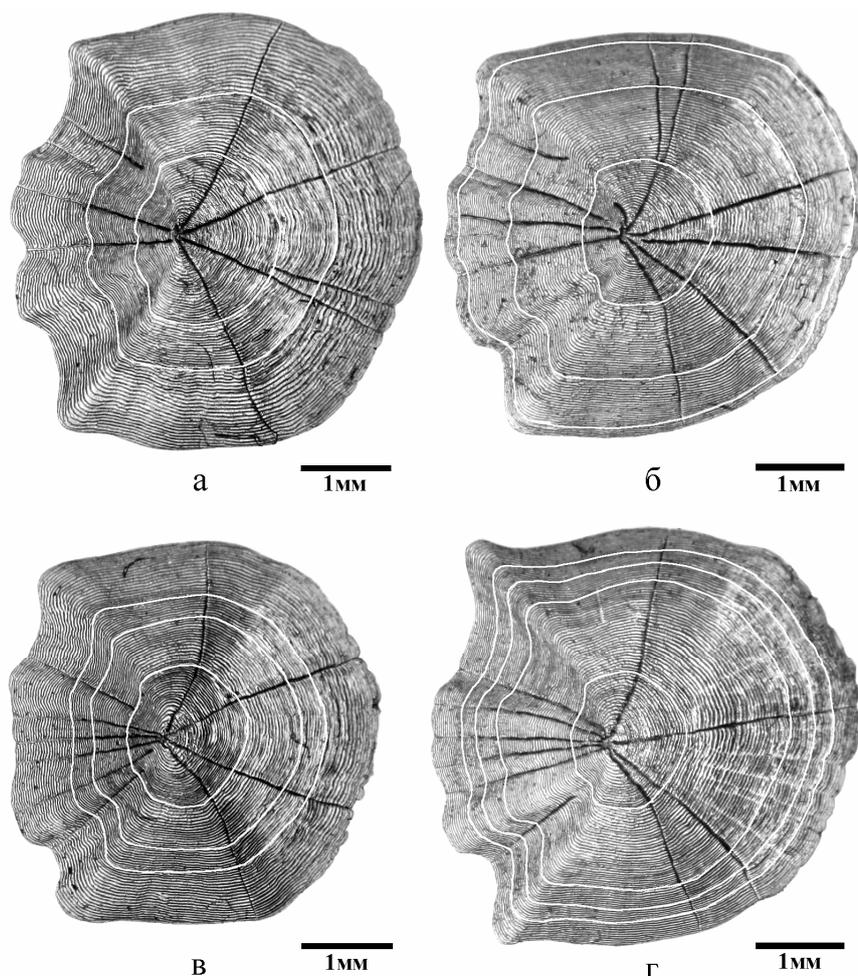


Рис. 1. Расположение колец на чешуе самок плотвы.

а – ювенильные, б – впервые созревшие, в – пропускающие нерест, г – повторно созревшие

На чешуе ювенильной плотвы сформированы три широких межкольцевых зоны, которые свидетельствуют об интенсивном соматическом росте (рис. 1а). В период ювенильного развития процессы дифференцировки и первичного роста половых клеток, не связаны со значительными затратами пластических и энергетических веществ. В это время с физиологической и биохимической точки зрения они не оказывают определяющего воздействия на обмен веществ (Шатуновский, 1998, 2001).

Чешуя впервые созревших самок имеет такие же три широких зоны роста, как у ювенильных и одну узкую краевую зону (рис. 1б). Это объясняется тем, что в период достижения половой зрелости происходит быстрое развитие и рост половых клеток. Генеративный обмен требует расхода значительной части ресурсов организма, тормозит процессы соматического роста (Шатуновский, 1998, 2001). Известно, что в год

достижения половой зрелости у большинства исследованных видов рыб снижается скорость линейного роста (Васнецов, 1934; Никольский, 1965).

Наиболее характерным отражением периода полового состояния на чешуе, является появление второй, третьей и следующих узких межкольцевых зон роста (рис. 1г). Начало этого периода связано с участием особей в процессе воспроизводства популяции. Процессы, протекающие в это время в организме, связаны со значительными тратами пластических и энергетических веществ на генеративный обмен и соматический рост (Шатуновский, 1998, 2001). Приросты длины тела в этот период, как правило, меньше, чем в ювенильный. Однако в некоторых случаях, когда рыбы пропускают нерест, наблюдается увеличение размера краевых зон роста чешуи (рис. 1в) и длины тела рыб. Очевидно, это происходит в результате того, что после последнего нереста в организме происходит

уменьшение общих ресурсов до значений ниже минимальных, снижаются пластические и энергетические траты на генеративный обмен. У таких самок плотвы гонады находятся во 2 стадии зрелости.

Исследования содержания ионов в тканях выделенных четырех групп самок и самцов в преднерестовый период показали, что по сравнению с чешуей, наиболее значимые различия наблюдались в позвонках (рис. 2).

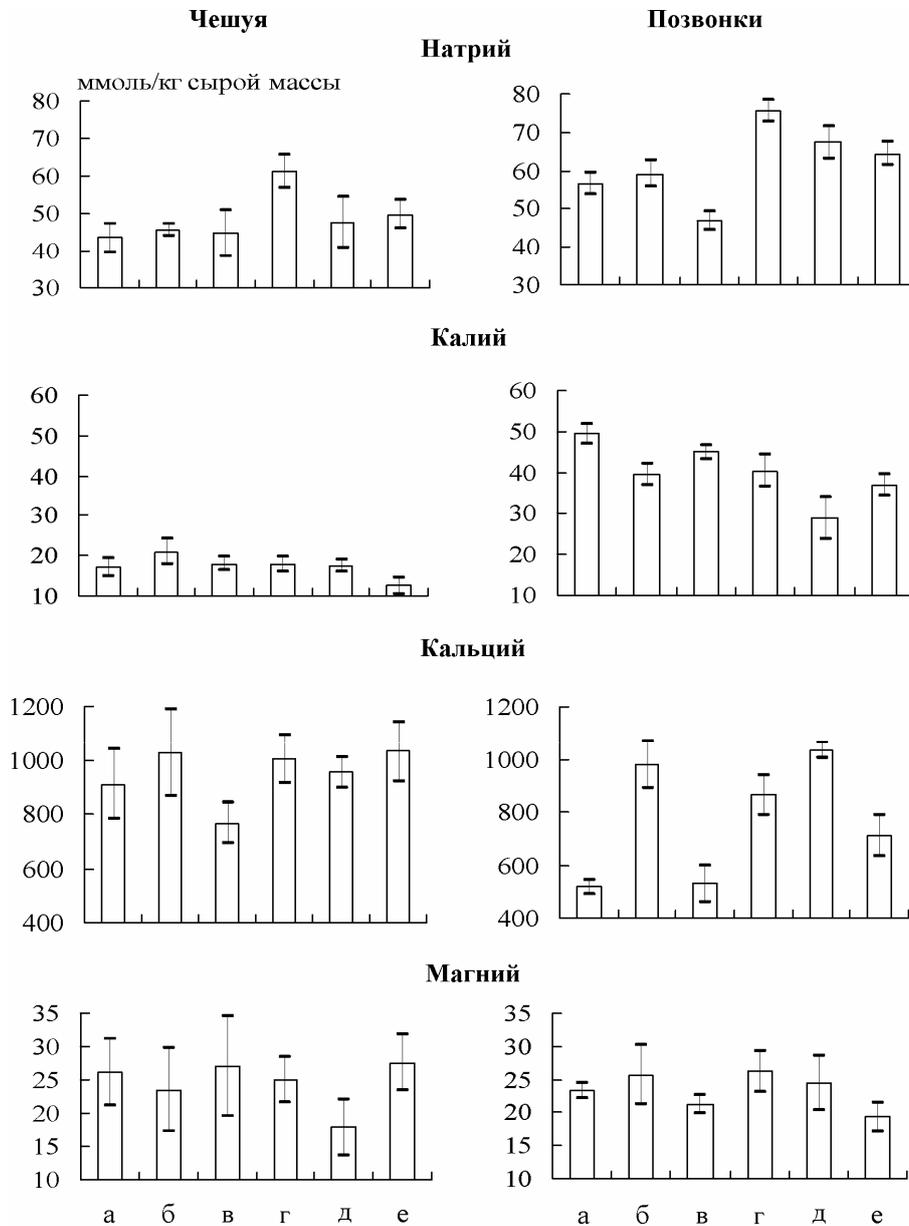


Рис. 2. Содержание катионов в чешуе и позвонках плотвы в преднерестовый период.

Самки плотвы: а – ювенильные, б – впервые созревшие, в – пропускающие нерест, г – повторно созревшие.
Самцы плотвы: д – ювенильные, е – созревшие.

Для позвонков характерна меньшая вариабельность содержания кальция и магния по сравнению с чешуей. Такая же закономерность была установлена по кальцию в работе В. В. Русанова (1979) для сеголеток и двухлеток карпа. Содержание двухвалентных ионов в позвонках и чешуе исследованных рыб изменялось в пределах Са – 450–1200

ммоль/кг, Mg – 13–35 ммоль/кг сырой массы костной ткани. Содержание одновалентных ионов в позвонках было выше (рис. 2 а,б,в,г,д,е – справа), чем в чешуе: натрия в 1,2–1,3 раза, калия в 2,2–2,5 раза (рис. 2 а,б,в,г,д,е – слева). Содержание кальция в чешуе зрелых самок и самцов (рис. 2 б,г,е – слева) было больше, чем в чешуе не зрелых (рис. 2 а,г,д –

слева). В позвонках рыб наблюдалась та же тенденция за исключением самцов. Содержание кальция в позвонках ювенильных самцов было больше, чем у половозрелых (рис. 2 д,е – справа).

Проведенный сравнительный анализ содержания кальция в позвонках и чешуе повторно созревших самок выявил их сильную положительную корреляционную связь $r=0,81$. Аналогичная связь наблюдалась у ювенильных самок плотвы в чешуе между содержанием Mg и Na ($r=0,96$), Mg и Ca ($r=0,79$). Следует отметить, что у пропускающих нерест самок плотвы наблюдалась сильная отрицательная связь между содержанием Ca и Mg в позвонках $r=-0,93$, K и Na в чешуе $r=-0,94$. У повторно созревших самок плотвы в чешуе установлена сильная положительная связь между содержанием Mg – Na ($r=-0,72$) и Mg – K ($r=-0,81$).

Содержание натрия в позвонках самок пропускающих нерест (рис 2 в) было достоверно меньше, а у повторно нерестящихся – больше (рис 2 г), чем у всех других групп.

Концентрация калия в позвонках ювенильных самок было больше, чем у впервые и повторно созревших (рис 2 а,б,г). Обратная зависимость наблюдалась у самцов (рис 2 д,е).

В позвонках впервые и повторно созревших самок (рис 2 а,б) содержание кальция было больше, чем у ювенильных и пропускающих нерест (рис 2 в,г). Мы полагаем, что повышенный уровень кальция в позвонках зрелых самок свидетельствует о более высокой способности организма поглощать эти ионы из воды и возможно из пищи. Содержание кальция в позвонках ювенильных самцов было выше, чем у половозрелых. Возможно, что в процессе их созревания происходит мобилизация кальция из позвонков.

По содержанию магния в чешуе и позвонках у всех исследованных групп рыб достоверных отличий обнаружено не было, однако прослеживалась тенденция аналогичная изменениям в содержании кальция.

Заключение

Биологическая дифференцировка собранного материала, проведенная на основе изучения закономерностей чередования широких и узких меж-

кольцевых зон роста на чешуе, позволила установить связь между рисунком на чешуе и зрелостью гонад. Благодаря этому было выделено 4 группы рыб, отличающихся зрелостью гонад: ювенильные, впервые созревшие, пропускающие нерест и повторно созревшие самки плотвы. Во всех выделенных нами группах данные по размерам межкольцевых зон роста хорошо согласуются с теоретическими данными М. И. Шатуновского (1998, 2001) по эколого-физиологическим характеристикам рыб в разные периоды онтогенеза.

Сравнение этих групп по содержанию ионов в позвонках и чешуе в преднерестовый период показало, что созрели те самки, в позвонках которых кальция накопилось не менее 700 ммоль/кг, натрия – 50 ммоль/кг, калия – 25 ммоль/кг, магния – 14 ммоль/кг сырой массы костной ткани. У самцов в процессе созревания концентрация кальция в позвонках снизилась до 710 ± 77 ммоль/кг, натрия – 64 ± 3 ммоль/кг, магния – 19 ± 2 ммоль/кг, а калия увеличилась до 37 ± 3 ммоль/кг сырой массы костной ткани.

Корреляционный анализ между содержанием ионов кальция в позвонках и чешуе повторно созревших самок показал тесную положительную связь. Ионы кальция и магния в чешуе ювенильных рыб связаны сильной положительной зависимостью, в то время как в позвонках рыб пропускающих нерест эта связь отрицательная. Содержание ионов калия в чешуе повторно созревших рыб положительно коррелирует с содержанием ионов натрия. Это свидетельствует об их связи в ионных обменных процессах. Оба эти иона участвуют в регуляции активности различных ферментов. Обратная зависимость наблюдается у самок пропускающих нерест. Содержание натрия в позвонках этих рыб низкое по сравнению с содержанием у ювенильных и созревших и составляет $47,0\pm 2,3$ ммоль/кг сырой массы костной ткани. Вероятно, изменения в соотношении ионов в костных структурах у самок пропускающих нерест свидетельствуют о дисбалансе основных ионов и нарушении процессов ионной регуляции.

Выражаем большую благодарность организаторам за великолепную подготовку и проведение конференции.

Литература

Берг Л. С. 1937. Новые данные по биологии лосося (*Salmo salar*). // Успехи соврем. биол., Т. 6. Вып. 1. С. 5–19.

Бугаев В. Ф. 1986. О дополнительных зонах на чешуе и особенностях линейного роста молоди нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) в бассейне

реки Камчатка. // *Вопр. ихтиол.* Т. 26. Вып. 1. С. 87–93.

Бурдак В. Д. 1979. *Функциональная морфология чешуйного покрова рыб.* Киев: Наукова думка. 164 с.

Ваганов Е. А. 1978. *Склеритограммы как метод анализа сезонного роста рыб.* Новосибирск: Наука, Сиб. отделение. 135 с.

Васнецов В. В. 1934. *Опыт сравнительного анализа линейного роста семейства карповых.* // *Зоол. журн.* Т. 13. № 3. С. 540–584.

Виноградов Г. А. 2000. *Процессы ионной регуляции у пресноводных рыб и беспозвоночных.* Наука. 216 с.

Дгебуадзе Ю. Ю., Чернова О. Ф. 2009. *Чешуя костистых рыб как диагностическая и регистрирующая структура.* 315 с.

Дмитриева Е. Н. 1957. *Морфоэкологический анализ двух видов карася.* // *Труды Ин-та морф. животных АН СССР.* № 16. С. 102–170.

Замахаев Д. Ф. 1940. *Нерестовые марки на чешуе каспийских сельдей.* // *Материалы по биологии сельдей северного Каспия* Тр. ВНИРО. Т. 14. С. 3–20.

Касавина Б. С., Торбенко В. П. *Жизнь костной ткани.* 2-е изд. 1979. М.: Наука. 176 с.

Касьянов А. Н., Сметанин М. М. 1981. *К анализу склеритных рядов чешуи судака Рыбинского водохранилища.* // *Биол. внутр. вод: Инф. бюлл.* № 49. С. 65–68.

Кошелев Б. В. 1971. *Некоторые закономерности роста и времени наступления первого икротетания у рыб.* // *Закономерности роста и созревания рыб.* С. 186–218.

Лапин Ю.Е. 1965. *О сезонном росте рыб и некоторых особенностях роста чешуи.* // *Теоретические основы рыбоводства.* С. 215–219.

Липская И. Я., Овен Л. С. 1970. *К вопросу о причинах периодичности роста рыб в тропической зоне океана.* // *Биология моря.* № 31. С. 236–245.

Мина М. В., Клевезаль Г. А. 1970. *Принципы исследования регистрирующих структур.* // *Успехи совр. биол.* Т. 70. № 3(6). С. 68–115.

Никольский Г. В. 1965. *Теория динамики стада рыб.* М., «Наука». 382 с.

Русанов В. В. 1979. *Влияние различных гидрохимических условий на содержание кальция в костях и чешуе сеголетков и двухлетков карпа.* // *Совр. вопр. экол. физиол. рыб.* С. 102–105.

Хрисанфова Е. Н., Перевозчиков И. В. 2002. *Антропология: Учебник.* 3-е изд. М.: Изд-во МГУ: Изд-во «Высшая школа». 267 с.

Чугунова Н. И. 1959. *Руководство по изучению возраста и роста рыб.* 164 с.

Шатуновский М. И. 1998. *Эколого-физиологические подходы к периодизации онтогенеза.* // *Возрастная и экологическая физиология рыб.* Тез. докл. С. 107–108.

Шатуновский М. И. 2001. *Эколого-физиологические подходы к периодизации онтогенеза рыб.* // *Экологические проблемы онтогенеза рыб: физиолого-биохимические аспекты.* С. 13–19.

Fleming W.R. 1968. *Electrolyte metabolism of teleost including calcified tissues.* // *Cemical Zoology.* V. 8.

Follet B. K., Nicholls T. J., Redshaw M. R., 1968. *The vitellogenic response in the South African clawed toad (Xenopus laevis Daudin).* *J. Cell Physiol.*, 72, suppl., 91–102.

Garrod D.J., Newell B.S. 1958. *Ring formation in Tilapia esculenta.* // *Nature.* V. 181. P. 1411–1422.

Krogh, A. 1939. *Osmotic Regulation in Aquatic Animals.* Cambridge University Press. pp. 242.

Menon N. 1953. *The determination of age and growth of fishes of tropical and subtropical waters.* // *J. Bombay Nat. Hist. Soc.* V. 51. N 3. P. 13.

Simkiss K. 1973. *Calcium metabolism of fish in relation to ageing.* // *The ageing of fish: Proceedings of an Int. Symp., 19–20 July, 1974.* P. 1–12.

THE CONTENT OF NATRIUM, POTASSIUM, CALCIUM, MAGNESIUM IN VERTEBRAS AND SCALES OF ROACH RUTILUS RUTILUS L. DEPENDING ON GONAD MATURITY

A.S. Mavrin, V.I. Martemyanov

*I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters, RAS, Borok, Russia,
e-mail: mavr_as@mail.ru*

As a result of the studies it is shown that the most notable changes of the studied parameters were observed in vertebrae as compared to scales. The content of sodium in vertebrae of females missing spawning and spawning a new differed significantly from juvenile and pubescent for the first time fish. The content of potassium in vertebrae of mature females was less than in

impuberal ones. The reverse dependence was found in males. The content of calcium in vertebrae of pubescent females was higher than in impuberal females and amounted to 700 mm/kg of wet weight of bone tissue. The males demonstrated the reverse dependence. Differences in the magnesium content in scales and vertebrae of the investigated group of fish were not found.