

УДК 597.554.3-147.132.3:543.215:591.463.3

**Содержание катионов в позвонках плотвы
в зависимости от степени зрелости гонад**

А. С. Маврин, В. И. Мартемьянов

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

У плотвы *Rutilus rutilus* из р. Ильдь (Волжский плёс Рыбинского водохранилища), концентрация натрия, калия, магния, кальция в позвонках ювенильных особей (*juv*) составила $36,8 \pm 1,4$, $14,0 \pm 0,8$, $97,1 \pm 2,2$, 1530 ± 44 ммоль/кг сырой массы костной ткани, соответственно. Содержание натрия в позвонках ювенильных (♀juv) и зрелых (♀IV) самок плотвы — $39,3 \pm 1,6$, $43,5 \pm 1,8$, калия — $20,8 \pm 0,6$, $24,9 \pm 1,0$, магния — $61,6 \pm 0,6$, $65,5 \pm 0,5$, кальция — 1252 ± 17 , 1316 ± 15 ммоль/кг сырой массы костной ткани, соответственно. В позвонках ювенильных (♂juv) и зрелых (♂IV) самцов плотвы содержание натрия — $45,1 \pm 3,0$, $52,9 \pm 3,1$, калия — $18,7 \pm 0,7$, $19,6 \pm 0,6$, магния — $94,0 \pm 1,6$, $76,6 \pm 3,6$, кальция — 1628 ± 23 , 1520 ± 78 ммоль/кг сырой массы костной ткани, соответственно. В ряду — ювенильные (*juv*), ювенильные с анатомической дифференцировкой гонад по полу (♂juv , ♀juv), созревшие самцы и самки (♂IV , ♀IV), происходит увеличение концентрации ионов *Na* и *K* в позвонках. Содержание *Ca* в позвонках зрелых самок (♀IV), а также — *Mg* у зрелых рыб обоих полов (♂IV , ♀IV) меньше, чем у *juv*.

Ключевые слова: плотва, натрий, калий, магний, кальций, позвонки, стадии зрелости гонад, р. Ильдь, Волжский плёс Рыбинского водохранилища.

ВВЕДЕНИЕ

Половое созревание и успешный нерест являются важными составляющими воспроизводства рыб и обеспечения непрерывности их существования. Достижение половой зрелости происходит в непрерывно меняющихся условиях среды. В процессе развития и роста рыб идет становление репродуктивной и защитной систем организма. На основе изучения внешнего вида и микроскопического строения гонад костистых рыб, в ходе годового цикла, была разработана шестибальная шкала зре-

лости яичников [Мейен, 1939] и семенников — восьмибальная [Кулаев, 1939]. Каждая стадия зрелости гонад является внешним биомаркером и характеризует определённое физиологическое состояние. Успешное развитие репродуктивной системы связано со скоростью роста организма и накоплением необходимых органических и минеральных ресурсов. В настоящее время установлено, что рост молодых рыб в первый год жизни тесным образом связан со способностью организма извлекать из среды жизненно важные катионы и накапли-

вать их в различных тканях. Чем выше развита эта способность, тем быстрее рост особи [Маврин, Мартемьянов, 2013 а]. Наступление половой зрелости рыб происходит при достижении определенных ресурсов пластических, энергетических веществ [Шатуновский, 2004] и необходимых концентраций катионов в позвонках скелета [Маврин, Мартемьянов, 2013 б], когда складываются оптимальные метаболические условия для созревания гамет. Наличие достаточного количества катионов в различных депо организма играет важную роль в поддержании гомеостаза [Романенко, 1975; Романенко, Крисальский, 1977; Романенко и др., 1980]. Недостаток катионов может приводить к дисрегуляции кислотно-щелочного баланса, процессов распознавания и нейтрализации чужеродных тел, вызывающих инфекционные болезни у рыб [Микряков, 1991; Микряков и др., 2011]. Рыбы одного размера могут быть в разном физиологическом состоянии [Маврин, Мартемьянов, 2013 б], которое в норме определяется степенью зрелости гонад. Накопление катионов в костной ткани рыб в зависимости от зрелости гонад в норме не изучены. Целью работы было определение содержания калия, натрия, кальция, магния в позвонках плотвы (*Rutilus rutilus* (L., 1758) с разной зрелостью гонад в весенний период.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для исследования послужила плотва с гонадами на разных стадиях зрелости. Рыб (30 экз.) отловили крючковой снастью 14 апреля 2011 г. (подледный период) в зоне подпора р. Ильдь Рыбинским водохранилищем (58°00'13,7" с.ш. 38°14'17,0" в.д.). Выборку плотвы разделили по степени зрелости гонад на 5 групп. Первая группа (10 экз.) — рыбы с гонадами I стадии зрелости без анатомической дифференцировки гонад по полу (*juv*). Вторая группа (5 экз.) — самцы с гонадами II стадии зрелости (*♂juv*). Третья группа (5 экз.) — самки с гонадами II стадии зрелости (*♀juv*). Четвёртая группа (5 экз.) — самцы с гонадами IV стадии зрелости (*♂IV*). Пятая группа (5 экз.) — самки с гонадами IV стадии зрелости (*♀IV*). У каждой особи измеряли стандартную длину (*SL*) — до конца чешуйного покрова (точность 1 мм), определяли

массу путём взвешивания на весах ВЛКТ-500 (точность 0,01 г). Позвонки брали из туловищного отдела позвоночника. Затем очищали от мышечной ткани, удаляли нервную ткань, кровеносные сосуды и промывали в дистиллированной воде. После удаления влаги с поверхности позвонков фильтровальной бумагой их взвешивали на весах ВЛР-200 (точность 0,05 мг). Подготовку проб для измерения концентрации катионов в позвонках проводили по ранее описанной методике [Маврин, Мартемьянов, 2010]. Определение катионов в телах позвонков (далее — позвонки) проводили методом пламенной спектрофотометрии. Концентрацию катионов в позвонках выражали в ммоль/кг сырой массы костной ткани. Статистическая и графическая обработка данных проведена с помощью прикладных программ Microsoft Office Excel 2003, Statistica 6.0. Результаты представлены в виде средних и их ошибок. Оценка достоверности проведена для уровня вероятности $P=0,05$ по U-критерию Манна-Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования показали, что значимые различия в размерно-массовых показателях наблюдались между всеми группами рыб, за исключением *♀juv* и *♀IV* (рис. 1).

Ранее показано [Кошелев, 1971], что скорость развития воспроизводительной системы у рыб не имеет прямой связи ни с возрастом, ни с длиной или массой особей, а зависит от обмена веществ. Отсутствие различий в размерах незрелых и зрелых самок обусловлено замедлением соматического роста созревающих рыб. В этот период поступающие в организм самок органические и минеральные ресурсы используются на генеративный рост и осуществление вителлогенеза. Поэтому одноразмерные самки могут быть как половозрелыми, так и не половозрелыми. У самцов процесс сперматогенеза не требует значительных пластических и энергетических затрат [Шатуновский, 2004]. Поэтому самцы в процессе созревания продолжают расти, опережая ювенильных особей.

Установлено, что концентрация *Na* и *K* в позвонках созревших самок была выше, чем у *♀juv* и *juv* особей (рис. 2).

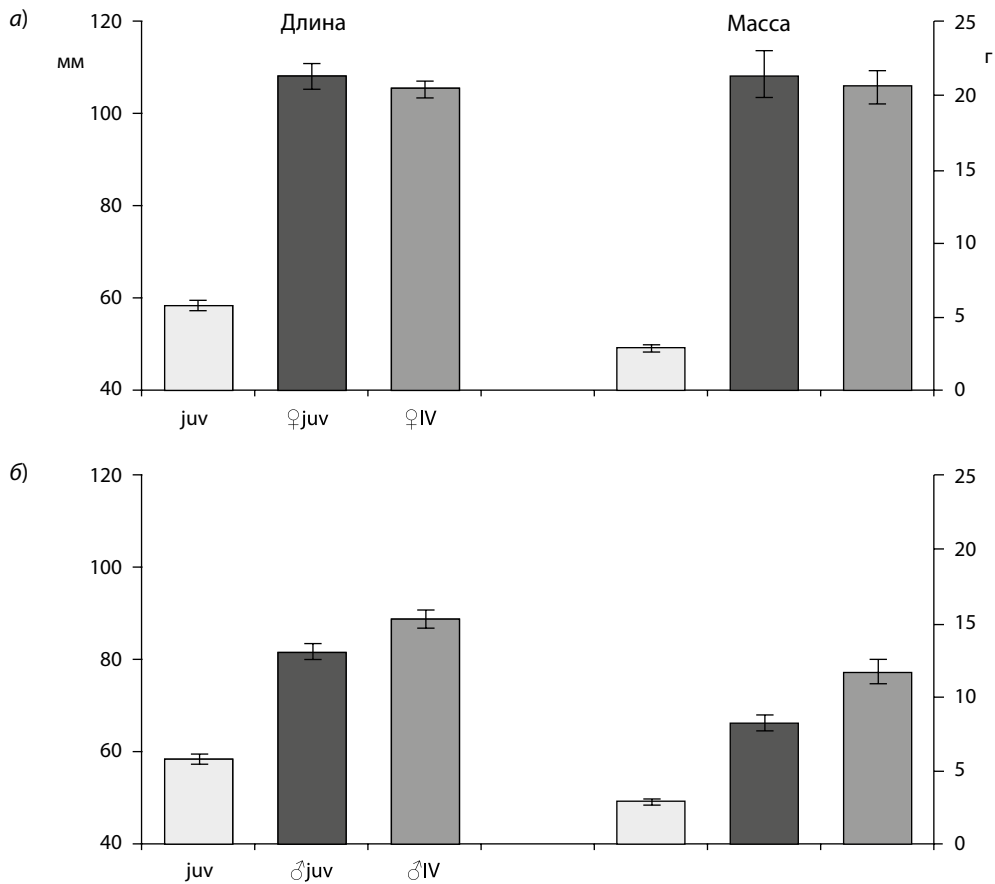


Рис. 1. Размерно-массовые показатели плотвы

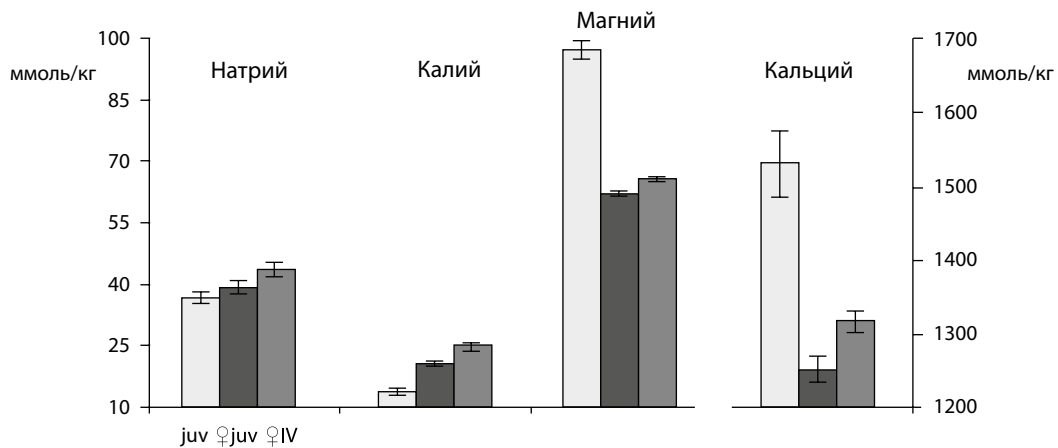


Рис. 2. Содержание катионов в позвонках самок плотвы

По отношению к *juv* концентрация ионов *Na* в позвонках *♀juv* увеличивается на 7,0%, *♀IV* — на 18,4%. Концентрация ионов *K* в позвонках *♀juv* увеличивается относительно *juv* рыб на 49,1% и на 78,4% у *♀IV*. Увеличение концентрации натрия и калия в позвонках плот-

вы в ряду *juv*, *♀juv*, *♀IV* свидетельствует о накоплении этих элементов в процессе формирования генеративной системы организма. Сходная закономерность наблюдалась у самцов (рис. 3).

Содержание *Na* и *K* в позвонках *♂juv* и *♂IV* выше, чем у *juv*. Концентрация *Na*

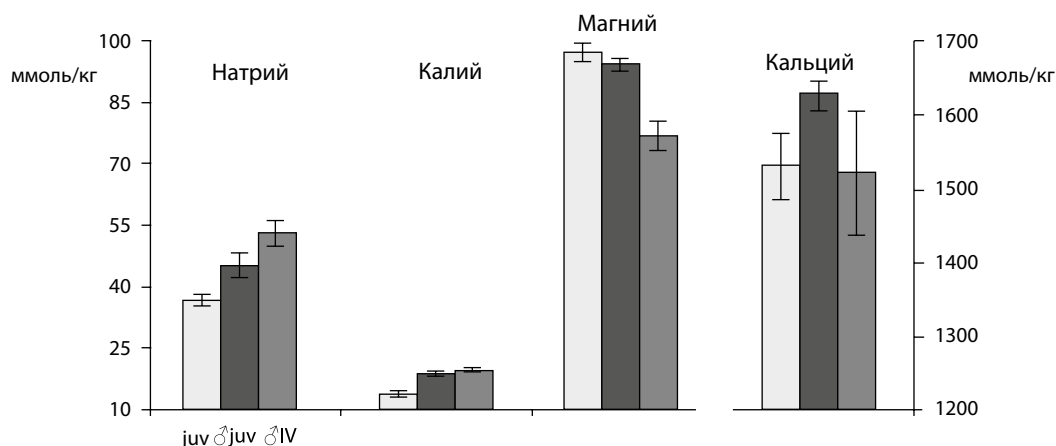


Рис. 3. Содержание катионов в позвонках самцов плотвы

в позвонках δjuv больше на 22,7%, δIV на 43,9%, чем у juv . Относительно juv концентрация ионов K в позвонках δjuv выше на 34,2%, у δIV на 40,4%.

Достижение половой зрелости у самок и самцов происходит при определённых концентрациях катионов в костной ткани [Маврин, Мартемьянов, 2013 б]. Накопленные в депо катионы могут дополнительно использоваться для поддержания гомеостаза при возникновении неблагоприятных ситуаций во внешней среде [Романенко, 1975; Романенко, Крисальский, 1977; Романенко и др., 1980].

Концентрация ионов Na в позвонках самцов выше, а калия ниже, чем у самок. Вероятно, накопление ионов натрия в позвонках самцов происходит быстрее в связи с меньшими тратами на поддерживающий и генеративный обмен, чем у самок с гонадами тех же стадий зрелости. Возможно, низкая концентрация калия в позвонках самцов обусловлена половыми особенностями.

Самые высокие концентрации Mg наблюдались у juv особей, а Ca у δjuv , составляя $97,1 \pm 2,2$ и 1628 ± 23 ммоль/кг, соответственно. Можно предположить, что молодёжь использует эти катионы как резерв для поддержания кислотно-щелочного равновесия в период зимовки. Для подтверждения этого предположения необходимо провести дополнительные исследования. У самок с анатомической дифференцировкой гонад (δjuv) уровни Mg и Ca снижаются относительно juv на 36,6% и 18,2%, соответственно. У δIV содержание

Mg ниже на 17,9%, а Ca на 7,1% по отношению к δjuv . Аналогичная закономерность была установлена у самцов плотвы в 2009 г. [Маврин, Мартемьянов, 2010]. Концентрация Mg в позвонках δIV выше на 4,1%, а Ca — 4,2%, чем у δjuv . Подобные изменения в содержании Mg и Ca в позвонках ювенильных и зрелых самок плотвы установлены в 2009 г. [Маврин, Мартемьянов, 2013б]. Концентрация Ca в позвонках ювенильных самок в апреле 2011 г. была ~ в 3, а Mg ~ в 4 раза больше, чем в марте-апреле 2009 г. Лето 2010 г. было очень тёплым, и температура воды в водоёмах достигала 30 °С. Вероятно, на содержание этих катионов в костной ткани влияет температура воды.

Выводы

1. Концентрация натрия, калия, магния, кальция в позвонках ювенильных особей (juv) была $36,8 \pm 1,4$, $14,0 \pm 0,8$, $97,1 \pm 2,2$, 1530 ± 44 ммоль/кг сырой массы костной ткани, соответственно.

2. Содержание натрия в позвонках ювенильных (δjuv) и зрелых (δIV) самок плотвы соответствовало — $39,3 \pm 1,6$, $43,5 \pm 1,8$, калия — $20,8 \pm 0,6$, $24,9 \pm 1,0$, магния — $61,6 \pm 0,6$, $65,5 \pm 0,5$, кальция — 1252 ± 17 , 1316 ± 15 ммоль/кг сырой массы костной ткани, соответственно.

3. Уровень натрия в позвонках ювенильных (δjuv) и зрелых (δIV) самцов плотвы составил — $45,1 \pm 3,0$, $52,9 \pm 3,1$, калия — $18,7 \pm 0,7$, $19,6 \pm 0,6$, магния — $94,0 \pm 1,6$, $76,6 \pm 3,6$,

кальция — 1628 ± 23 , 1520 ± 78 ммоль/кг сухой массы костной ткани, соответственно.

4. У самок и самцов плотвы происходит увеличение содержания катионов натрия и калия в телах позвонков туловищного отдела позвоночника в ряду ювенильные (*juv*), ювенильные с анатомической дифференцировкой по полу (♀juv , ♂juv), зрелые (♀IV , ♂IV).

ЛИТЕРАТУРА

- Кошелев Б. В. 1971. Некоторые закономерности роста и времени наступления первого икротетания у рыб // Закономерности роста и созревания рыб. С. 186–218.
- Кулаев С. И. 1939. Годовой цикл и шкала зрелости семенников половозрелой плотвы (*Rutilus rutilus* L.) // Записки Большевской биологической станции. Вып. 11. С. 3–38.
- Маврин А. С., Мартемьянов В. И. 2010. Содержание ионов натрия, калия, кальция, магния в позвонках и чешуе плотвы *Rutilus rutilus* L. в зависимости от зрелости гонад // Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов. Т. 1. Экологическая физиология и биохимия водных организмов. Петрозаводск: КНЦ РАН. С. 140–145.
- Маврин А. С., Мартемьянов В. И. 2013 а. Связь размерно-массовых показателей сеголеток плотвы *Rutilus rutilus* (L.) с содержанием катионов в теле рыб // Труды Зоологического института РАН. Приложение № 3. С. 155–160.
- Маврин А. С., Мартемьянов В. И. 2013 б. Содержание катионов в позвонках зрелых и незрелых самок плотвы *Rutilus rutilus* (L.) перед нерестом // Труды Зоологического института РАН. Приложение № 3. С. 151–154.
- Мейен В. А. 1939. К вопросу о годовом цикле изменений яичников костистых рыб // Изв. АН СССР. Серия биол. № 3. С. 389–420.
- Микряков В. Р., Степанова В. М., Виноградов Г. А. 2011. Влияние ионов NH_4^+ и дефицита Ca^{2+} на субпопуляции лимфоцитов карпа *Cyprinus carpio* L. // Биология внутренних вод. № 1. С. 110–112.
- Микряков В. Р. 1991. Закономерности формирования приобретенного иммунитета у рыб. Рыбинск: ИБВВ РАН. 154 с.
- Романенко В. Д., Евтушенко. Н. Ю., Коцарь Н. И. 1980. Метаболизм углекислоты у рыб: Эколого-физиологические аспекты. Киев: Наукова думка. 180 с.
- Романенко В. Д., Крисальский В. А. 1977. Некоторые особенности ионного обмена у рыб при адаптации их к повышенному содержанию CO_2 в воде // Гидробиол. журн. № 2. С. 83–86.
- Романенко В. Д. 1975. Физиология кальциевого обмена. Киев: Наукова думка. 171 с.
- Шатуновский М. И. 2004. Некоторые биохимические показатели развития воспроизводительной системы рыб // Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов. Петрозаводск. С. 148–149.

REFERENCES

- Koshelev B. V. 1971. Nekotorye zakonomernosti rosta i vremeni nastupleniya pervogo ikrometaniya u ryb [Some patterns of growth and time of the first spawning in fish] // Zakonomernosti rosta i sozrevaniya ryb. S. 186–218.
- Kulaev S. I. 1939. Godovoj cikl i shkala zrelosti semennikov polovozreloy plotvy (*Rutilus rutilus* L.) [The annual cycle and scale of maturity of testes in sexually mature roach] // Zapiski Bol'shevskoj biologicheskoy stancii. Vyp. 11. S. 3–38.
- Mavrin A. S., Martem'yanov V. I. 2010. Soderzhanie ionov natriya, kaliya, kal'ciya, magniya v pozvonkakh i cheshue plotvy *Rutilus rutilus* L. v zavisimosti ot zrelosti gonad [The content of natrium, potassium, calcium, magnesium in vertebrae and scales of roach *Rutilus rutilus* L. depending on gonad maturity] // Sovremennye problemy fiziologii i biokhimii vodnykh organizmov. T. 1. Ekhologicheskaya fiziologiya i biokhimiya vodnykh organizmov. Petrozavodsk: KNC RAN. S. 140–145.
- Mavrin A. S., Martem'yanov V. I. 2013 a. Svyaz' razmerno-massovykh pokazatelej segoletok plotvy *Rutilus rutilus* (L.) s sodержaniem kationov v tele ryb [The relationship between size-weight characteristics of roach (*Rutilus rutilus* L.) underyearlings and cation contents of the fish body] // Trudy Zoologicheskogo instituta RAN. Prilozhenie № 3. S. 155–160.
- Mavrin A. S., Martem'yanov V. I. 2013 b. Soderzhanie kationov v pozvonkakh zrelyh i nezrelyh samok plotvy *Rutilus rutilus* (L.) pered nerestom [The content of cations in vertebrae of the mature and immature females of roach *Rutilus rutilus* (L.) before spawning] // Trudy Zoologicheskogo instituta RAN. Prilozhenie № 3. S. 151–154.
- Mejen V. A. 1939. K voprosu o godovom cikle izmenenij yaichnikov kostistykh ryb [To the issue of the annual cycle of changes in the ovaries of bony fish] // Izv. AN SSSR. Seriya biol. № 3. S. 389–420.
- Mikryakov V. R., Stepanova V. M., Vinogradov G. A. 2011. Vliyanie ionov NH_4^+ i deficita Ca^{2+} na subpopulyacii limfocitov karpa *Cyprinus carpio* L. [The effect that ammonium and a deficiency of calcium have on lymphocyte subpopulations in common carp (*Cyprinus carpio* L.)] // Biologiya vnutr. vod. № 1. S. 110–112.

- Mikryakov V.R.* 1991. Zakonomernosti formirovaniya priobretennogo immuniteta u ryb [Patterns of formation of acquired immunity in fish]. Rybinsk: IBVV RAN. 154 s.
- Romanenko V.D., Evtushenko. N.YU., Kocar' N.I.* 1980. Metabolizm uglekisloty u ryb: Ehkologo-fiziologicheskie aspekty [Metabolism of carbon dioxide in fish: Ecological and physiological aspects]. Kiev: Naukova dumka. 180 s.
- Romanenko V.D., Krisal'nyj V.A.* 1977. Nekotorye osobennosti ionnogo obmena u ryb pri adaptacii ih k povyshennomu sodержaniyu CO₂ v vode [Some features of ion exchange in fish during adaptation to elevated CO₂ levels in water] // *Gidrobiol. Zhurn.* № 2. S. 83–86.
- Romanenko V.D.* 1975. Fiziologiya kal'cievogo obmena [Physiology of calcium metabolism]. Kiev: Naukova dumka. 171 s.
- Shatunovskij M.I.* 2004. Nekotorye biohimicheskie pokazateli razvitiya vosproizvoditel'noj sistemy ryb [Some biochemical indicators of the development of fish reproductive system] // *Sovremennye problemy fiziologii i biohimii vodnyh organizmov.* Petrozavodsk. S. 148–149.

Поступила в редакцию 04.08.2017 г.
Принята после рецензии 12.09.2017 г.

The Content of Cations in Vertebrae of Roach Depending on the Degree of its Gonads Maturity

A.S. Mavrin, V.I. Martemyanov

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

It is shown that in roach *Rutilus rutilus* from the Ild River (Volga reach of the Rybinsk Reservoir) sodium, potassium, magnesium, and calcium concentrations in vertebrae of juvenile individuals (*juv*) make up 36.8±1.4, 14.0±0.8, 97.1±2.2, 1530±44 mmol/kg wet weight of bone tissue respectively. The content of sodium in vertebrae of juvenile (♀*juv*) and mature (♀*IV*) female roach amounts to 39.3±1.6, 43.5±1.8, potassium — 20.8±0.6, 24.9±1.0, magnesium — 61.6±0.6, 65.5±0.5, calcium — 1252±17, 1316±15 mmol/kg wet weight of bone tissue respectively. In vertebrae of juvenile (♂*juv*) and mature (♂*IV*) male roach the content of sodium makes up — 45.1±3.0, 52.9±3.1, potassium — 18.7±0.7, 19.6±0.6, magnesium — 94.0±1.6, 76.6±3.6, calcium — 1628±23, 1520±78 mmol/kg wet weight of bone tissue respectively. In the row — juvenile (*juv*), juvenile with anatomical differentiation of gonads by sex (♂*juv*, ♀*juv*), mature males and females (♂*IV*, ♀*IV*) — the concentration of *Na* and *K* ions in vertebrae increases. The *Ca* content in vertebrae of mature females (♀*IV*), as well as *Mg* concentration in mature fish of both sexes (♀*IV*, ♂*IV*) is less than in juvenile fish (*juv*).

Key words: roach *Rutilus rutilus*, sodium, potassium, magnesium, calcium, vertebrae, gonad maturation stages, the Ild River, Volga reach of the Rybinsk Reservoir.