



УДК 597.544.3-113.41:543.215

СВЯЗЬ РАЗМЕРНО-МАССОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕГОЛЕТОК ПЛОТВЫ *Rutilus rutilus* (L.) С СОДЕРЖАНИЕМ КАТИОНОВ В ТЕЛЕ РЫБ

А.С. Маврин* и В.И. Мартемьянов

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук, 152742 Борок, Ярославская область, Россия; e-mail: mavr_as@mail.ru

РЕЗЮМЕ

В статье впервые показано, что между длиной, массой сеголеток плотвы, выросших в природных водоемах и накоплением катионов натрия, кальция и магния в их теле существует положительная коррелятивная связь ($R_s=0.66, 0.62, 0.62$, $R_s=0.64, 0.58, 0.59$ соответственно). Слабая положительная связь установлена между длиной, массой рыб и накоплением калия ($R_s=0.45$, $R_s=0.44$).

Ключевые слова: длина рыб, магний, масса рыб, калий, кальций, катионы, накопление, натрий, сеголетки плотвы

THE RELATIONSHIP BETWEEN SIZE-WEIGHT CHARACTERISTICS OF ROACH *Rutilus rutilus* (L.) UNDERYEARLINGS AND CATION CONTENTS OF THE FISH BODY

A.S. Mavrin* and V.I. Martemyanov

Papanin Institute for Biology of Inland Waters, of the Russian Academy of Sciences, 152742 Borok, Yaroslavl Province, Russia; e-mail: mavr_as@mail.ru

ABSTRACT

This paper shows, for the first time, that there is a positive correlation between length, mass of roach underyearlings, grown in nature, and accumulation of sodium, calcium and magnesium cations of in their body ($R_s=0.66, 0.62, 0.62$, $R_s=0.64, 0.58, 0.59$ respectively). Weak positive relationship is established between fish length, weight and potassium accumulation ($R_s=0.45$, $R_s=0.44$).

Key words: length of fishes, magnesium, weight of fishes, potassium, calcium, cations, accumulation, sodium, roach underyearling

ВВЕДЕНИЕ

Показано, что у самок и самцов плотвы в преднерестовый период существует зависимость между содержанием основных катионов в позвонках, чешуе и зрелостью гонад (Маврин и Мартемьянов, 2010). Работами В.В. Васнецова (1934, 1953), Г.В. Никольского (1947), Г.Н. Монастырского (1949), Т.Ф. Дементьевой (1952) было установлено, что время наступления по-

ловой зрелости у большинства видов рыб обычно связано с достижением определенных размеров и зависит от их скорости роста. Б.В. Кошелев (1971) приходит к выводу, что скорость полового созревания не имеет прямой связи ни с возрастом, ни с длиной, ни с массой особей, а прямая связь может быть только частным случаем стабильных условий среды. Это подтверждают последние сравнительные исследования широкоареального вида – леща (Шатуновский и др., 2009), в которых показано существование карликовых популяций с низким темпом роста и половым созреванием

* Автор-корреспондент / Corresponding author

при небольших размерах рыб. Возможно, половое созревание рыб, происходящее при разных размерах рыб, связано с накоплением не только жира, но и минеральных компонентов в различных депо организма и, в частности, в скелете рыб. В этом случае размеры рыб будут показывать опосредованную связь с половым созреванием, а скорость накопления ионов в организме непосредственно будет определять время наступления половой зрелости. Можно предположить, что даже при медленном соматическом росте рыб ионные транспортные системы в конечном итоге обеспечат определенную минерализацию костной ткани и создадут внутри организма необходимые условия для полового созревания рыб.

Экспериментальными исследованиями показано, что рост рыб зависит от количества доступной пищи и различных абиотических факторов, оказывающих на него непосредственное влияние. Так, повышение содержания в воде ионов кальция и магния при избытке пищи ускоряет рост сеголеток леща (Маврин и др., 1992), а накопление Са мальками карпа интенсивнее в воде с высокой его концентрацией (Русанов, 1974). Установлено, что преобладает прямое поглощение кальция из воды через жабры, несмотря на его поступление с пищей (Berg, 1970).

Аккумуляция кальция, магния, натрия и калия влияет на процесс минерализации костей. Поскольку до 90% минеральных ионов поступает в организм рыб непосредственно из воды через жабры (Krogh, 1939; Fleming, 1973; Simkiss, 1974; Виноградов, 2000), то, исходя из вышесказанного, ossификация костных тканей и рост рыб должны быть взаимосвязаны. Самый большой относительный прирост тела у рыб происходит в первый год жизни, когда формируются основные, жизненно важные системы организма, однако до сих пор остается неизвестным, есть ли связь между размерами рыб и накоплением ионов в их теле в этот период в природных условиях?

Целью работы явилось определение содержания катионов в организме сеголеток плотвы в зависимости от размера и массы рыб.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для работы послужили сеголетки плотвы, пойманные в нижнем (устье) и верхнем (51.8 км и 23.6 км от устья) течении рек Сить и

Ильдь (Брейтовский и Некоузский районы Ярославской области) 9 сентября 2009 г. В верхнем течении р. Ильдь были пойманы 11 экз., в устье – 21 экз. рыб. В верхнем течении р. Сить – 6 экз., в устье – 20 экз. У рыб измеряли длину тела (l) – с помощью штангенциркуля (точность 0.1 мм); массу тела (m) с внутренностями – с помощью весов ВТ-500 (точность 1 мг) и ($m > 500$ мг) – с помощью весов ВЛКТ-500 (точность 0.01 г). Концентрацию катионов в обеих реках определяли в течение всего вегетационного периода с интервалом 2 раза в месяц.

Озолнение тела рыб, определение содержания ионов в пробах проводили по ранее описанной методике методом пламенной спектрофотометрии (Мартемьянов, 1992). Общую минерализацию воды определяли кондуктометрическим методом (Хлебович, 1974). Концентрацию ионов в теле рыб выражали в ммоль/кг сырой массы ткани. Связь между длиной, массой рыб и содержанием ионов в теле определяли с помощью метода ранговой корреляции Спирмена (R_s). Данные обработаны статистически 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

Проведенные исследования показали, что длина и масса (рис. 1, $A3-B3$), а также содержание натрия, кальция, магния в теле сеголеток плотвы из верхового участка р. Сить (рис. 1, $C3-D3$, $F3$) были достоверно больше, чем у других исследованных рыб. Наименьшие размерно-массовые показатели (рис. 1, $A1-B1$) и содержание катионов в теле имели сеголетки плотвы из верховьев Ильди (рис. 1, $C1-F1$).

С целью определения связи между накоплением катионов в теле и длиной сеголетков плотвы был посчитан коэффициент ранговой корреляции Спирмена (R_s) для объединенной выборки четырех станций. Между длиной рыб в первый год жизни и содержанием натрия, кальция и магния в теле установлена положительная коррелятивная связь ($R_s=0.66, 0.62, 0.62$) (рис. 2, A, B, D). Для калия эта связь выражена слабо ($R_s=0.45$) (рис. 2, C).

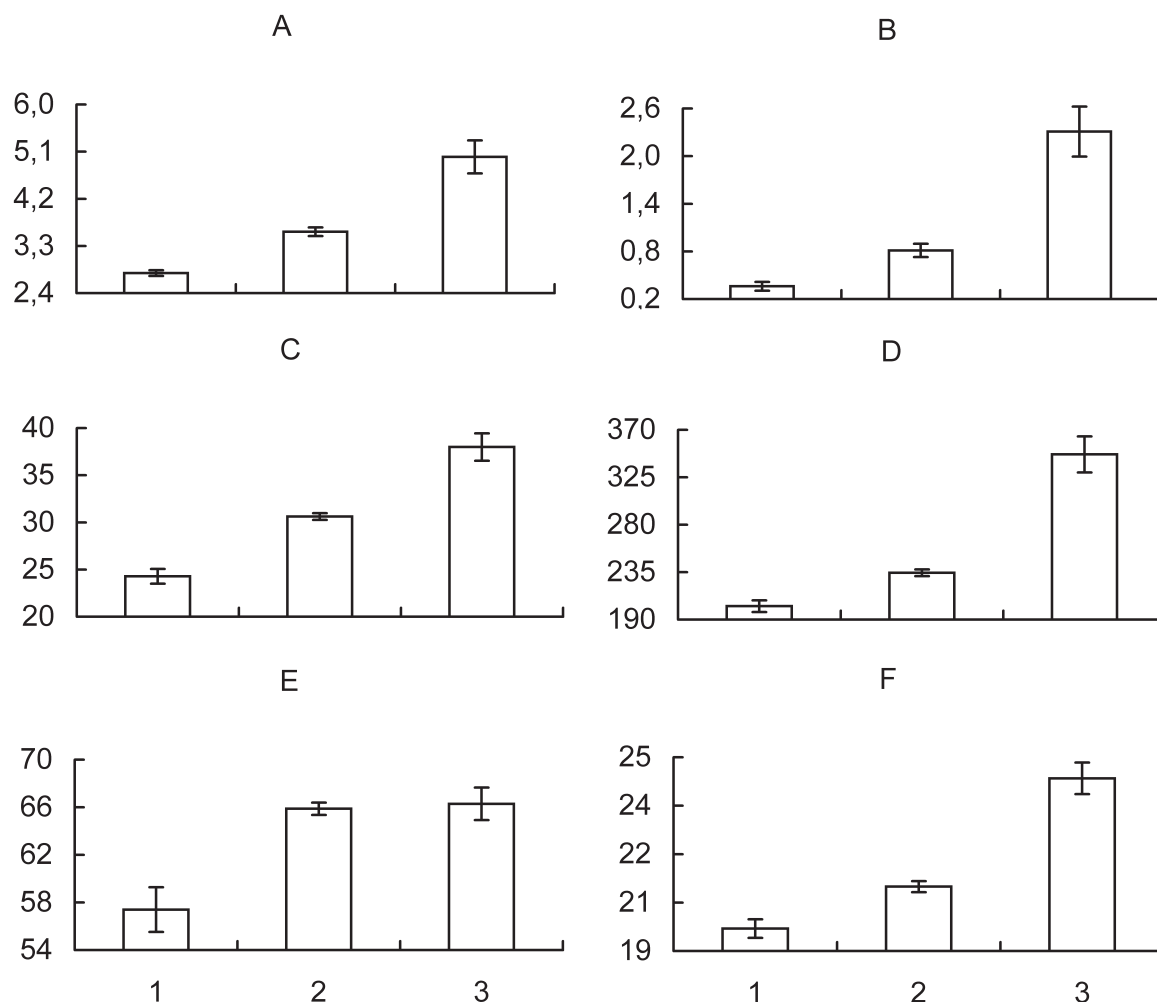


Рис. 1. Размерно-массовые характеристики сеголетков плотвы и содержание катионов в теле рыб: по оси абсцисс – станции отбора проб: 1 – 23.6 км от устья р. Ильдъ, 2 – устье р. Ильдъ и Сить, 3 – 51.8 км от устья р. Сить; по оси ординат – А – длина рыб, см; В – масса рыб, г; С – содержание натрия, ммоль/кг сырой массы; D – содержание кальция, ммоль/кг сырой массы; E – содержание калия, ммоль/кг сырой массы; F – содержание магния, ммоль/кг сырой массы.

Fig. 1. Size-weight characteristics of roach underyearlings and cation contents in the fish body: the x-axis – sampling stations: 1 – 23.6 km from the Ild river mouth, 2 – the mouth of the Ild and Sutka rivers, 3 – 51.8 km from the Sit river mouth; the y-axis – A – fish length, cm; B – fish weight, g; C – sodium content, mmol/kg of wet weight; D – calcium content, mmol/kg of wet weight; E – potassium content, mmol/kg of wet weight; F – magnesium content, mmol/kg of wet weight.

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена был рассчитан также для определения связи между массой и накоплением катионов в теле. Между массой рыб в первый год жизни и содержанием натрия, кальция и магния в теле установлена прямая связь средней силы ($R_s=0.64, 0.58, 0.59$). Для калия эта связь выражена слабо ($R_s=0.44$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Низкое содержание калия в теле рыб из верховьев р. Ильдъ может быть вызвано угнетением ионного транспорта вследствие антропогенного загрязнения или влияния других факторов. Аккумуляция ионов зависит от процессов ионной

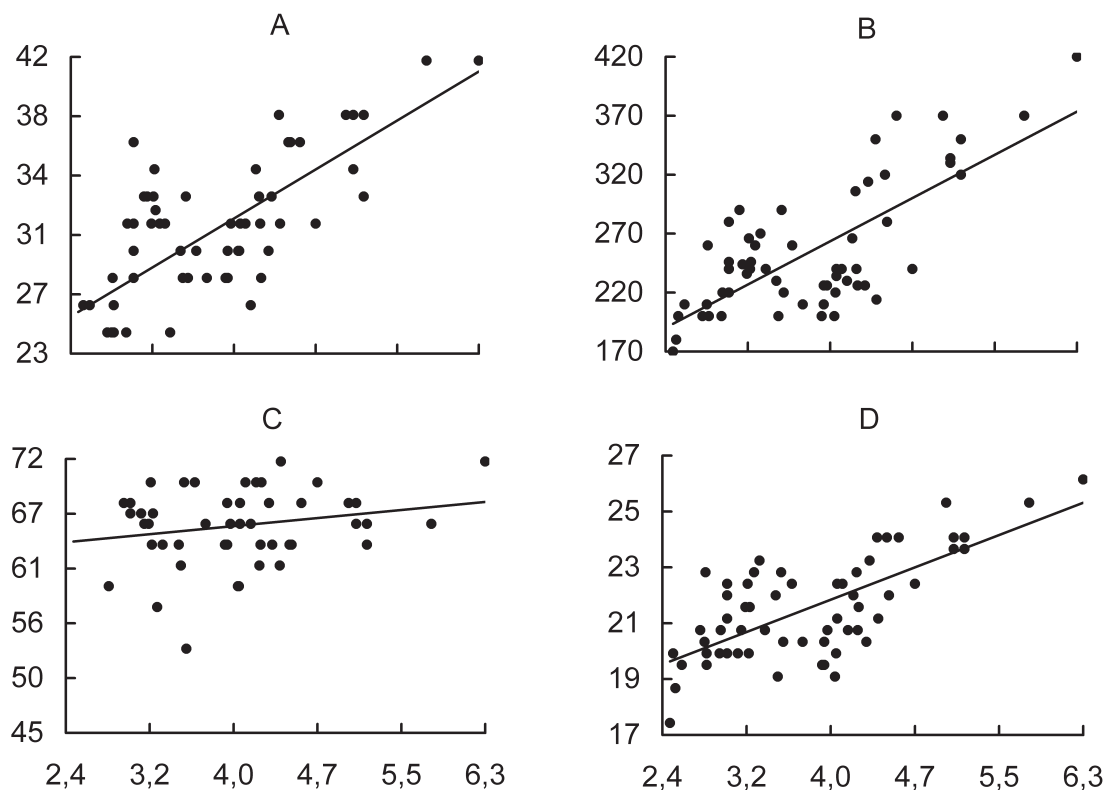


Рис. 2. Связь между длиной сеголеток плотвы и содержанием ионов в их теле. Сплошная линия – линия тренда: по оси абсцисс – длина рыб, см; по оси ординат – содержание ионов в теле, ммоль/кг сырой массы: А – натрия; В – кальция; С – калия; D – магния.

Fig. 2. The relationship between length of roach underyearlings and ion content of their body. The continuous line – the trend line: the x-axis – fish length, cm; the y-axis – body ion content, mmol/kg of wet weight: A – sodium; B – calcium; C – potassium; D – magnesium.

и осмотической регуляции (Виноградов, 2000). Наряду с поглощением ионов, происходит и их потеря, которая может быть вызвана различными причинами. Например, присутствие в воде тяжелых металлов (Al^{3+}) увеличивает потери кальция из организма рыб (Виноградов, 2000). На кинетику кальция влияет содержание магния в воде (Виноградов и Комов, 1987): чем больше магния в среде, тем меньше абсорбция кальция. Недостаток поступления кальция снижает рост мальков вследствие замедления минерализации скелета (Бодрова и Краюхин, 1962). Угнетение обмена кальция между организмом и средой происходит при концентрациях аммония в воде 0.25–0.5 ммоль/л (Виноградов, 1988), а его концентрации – 0.29–2.14 ммоль/л (Турстон, 1981) нарушают не только обмен кальция, но и натрия

и калия. При изменении ионного состава воды, ацидификации и влиянии других факторов происходят морфофункциональные адаптивные перестройки проницаемости жаберного эпителия рыб (Матей, 1996).

Поскольку выборки из устьевых участков р. Ильдь и р. Сить имели близкие значения по длине, массе рыб и содержанию катионов в теле, мы их объединили. Сходство размерно-массовых характеристик, вероятно, связано с тем, что устья рек находятся в зоне подпора вод Рыбинского водохранилища. Здесь в летнюю межень температурный и гидрологический режимы имеют сходный характер, а вода мало отличается по минеральному составу и минерализации (Безлер, 1963). Наши данные по средним значениям общей минерализации воды подтверждают это.

Так, в устье Сити за период наблюдений она была 128.1 ± 13.5 мг/л, в устье Ильди – 126.9 ± 11.3 мг/л. В верхнем течении Ильди минерализация воды колебалась в пределах 131.6–183.8 мг/л, а в верховьях Сити – 143.4–164.9 мг/л.

Накопление катионов в теле рыб зависит от их поглощения, а последнее от ионного соотношения в воде (Виноградов, 2000). Нами установлено, что содержание калия и натрия в верховьях реки Ильдь в 1.6 и 1.5 раза соответственно выше, чем в верховьях р. Сить. Вода этих рек отличается также по соотношению ионов. В верховьях р. Сить отношение К:Na:Ca:Mg равно 1:6:42:11 соответственно, в то время как в р. Ильдь – 1:5:21:7. Для объединенных данных по устью р. Сить и Ильдь это соотношение было 1:4:30:9. Необходимо отметить снижение доли кальция и магния в воде р. Ильдь и минимальное отношение Ca/K и Mg/K в верховьях реки. Разница в условиях обитания разных групп рыб повлияла на разнокачественность размеров сеголеток плотвы, увеличив разброс изучаемых показателей. Длина всех исследованных рыб варьировала в пределах 2.5–6.3 см, а масса – 0.2–3.9 грамма.

На основании литературных и наших данных можно предположить, что различия в размерах сеголеток плотвы и содержании катионов в организме рыб из разных участков рек – это результат действия комплекса факторов на проницаемость жаберного эпителия и ионную транспортную систему рыб. Вероятно, что медленный линейный ($l=3.1$ см) и весовой ($m=0.47$ г) рост молоди плотвы из верхового участка р. Ильдь в первый год жизни связан с недостаточным поступлением калия и магния в тело рыб. Показано (Спирин и Гаврилова, 1971), что недостаток этих ионов в организме замедляет работу белок-синтезирующей системы. Содержание калия в теле рыб этой группы было менее 60 ммоль, в то время как у рыб достигших к концу вегетационного сезона длины 4.1–5.3 см и массы 1.2–2.6 г колебалось в пределах 60–70 ммоль/кг сырой массы.

Нам представляется, что сила связи между размерами рыб и накоплением может меняться в исследованных участках рек в разные годы. Сила связи может быть обусловлена развитием кормовой базы. Прямая сильная связь может проявиться при безлимитном пищевом ресурсе на фоне прочих благоприятных условий. В других случаях могут возникать различные вариации

коррелятивной связи между размерами сеголеток рыб и накоплением катионов в их теле.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлена положительная коррелятивная связь между длиной сеголеток плотвы и накоплением натрия, кальция, магния в теле рыб ($R_s=0.66, 0.62, 0.62$ соответственно), а также массой и накоплением этих катионов ($R_s=0.64, 0.58, 0.59$); слабая положительная связь между длиной, массой и накоплением калия ($R_s=0.45, R_s=0.44$ соответственно). Рост молоди рыб в первый год жизни тесным образом связан со способностью организма извлекать из среды жизненно важные катионы и накапливать их в различных тканях. Чем выше развита эта способность, тем быстрее рост особи. Вещества или факторы, блокирующие транспорт ионов или увеличивающие проницаемость, могут снижать поступление ионов в организм, и, наоборот, усиливающие транспорт и снижающие проницаемость будут увеличивать накопление, способствовать нормальной минерализации костной ткани. С помощью таких факторов можно управлять процессом оссификации и роста рыб. Увеличение размеров рыб зависит от сбалансированного поступления в организм минеральных и органических веществ. Вероятно, что меньшие размерно-массовые характеристики сеголеток плотвы из верховьев р. Ильдь – это результат лимитирующего действия комплекса факторов: кормовых условий, различий в гидрохимическом составе речных вод, оказывающих отрицательное влияние на транспорт ионов из воды в организм, на поступление с пищей по трофической цепи.

ЛИТЕРАТУРА

- Безлер Ф.И. 1963. Сезонные изменения химического состава вод Рыбинского водохранилища. // Тр. Ин-та биологии водохранилищ: 5(8): 329–350.
- Бодрова Н.В. и Краюхин Б.В. 1962. Про значение кальция для молоди карпа. Деяки питания физиологии травления та обмин реговин у рыб. – Киев: АН УССР, с. 54–67.
- Васнецов В.В. 1934. Опыт сравнительного анализа линейного роста семейства карповых. *Зоологический журнал*, 13(3): 540–584.

- Васнецов В.В. 1953.** О закономерностях роста рыб. // Очерки по общим вопросам ихтиологии. – АН СССР: Москва–Ленинград, с. 218–226.
- Виноградов Г.А. и Комов В.Т. 1987.** Обмен катионов у карася в средах с различным ионным составом. *Физиологический журнал*, **73**(7): 986–989.
- Виноградов Г.А. 2000.** Процессы ионной регуляции у пресноводных рыб и беспозвоночных. – Москва: Наука, 216 с.
- Виноградов Г.А. 1988.** Процессы ионной регуляции у пресноводных костистых рыб. Структура и функционирование пресноводных экосистем. // Тр. Ин-та биологии внутренних вод АН СССР. Ленинград: Наука, **55**(58): 164–197.
- Дементьева Т.Ф. 1952.** Рост рыб в связи с проблемой динамики численности. *Зоологический журнал*, **31**(4): 634–637.
- Кошелев Б.В. 1971.** Некоторые закономерности роста и времени первого икрометания у рыб. Закономерности роста и созревания рыб. Москва: Наука, с. 186–218.
- Маврин А.С., Виноградов Г.А., Лапирова Т.Б., Ершов И.Ю. и Микрякова Т.Ф. 1992.** Влияние кальция, магния и тяжелых металлов на молодь леща *Abramis brama* L. Результаты исследований. Биология внутренних вод: информационный бюллетень Санкт-Петербурга: Наука, **91**: 45–50.
- Маврин А.С. и 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. // Экологическая физиология и биохимия водных организмов, **1**. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, с. 140–145.
- Мартемьянов В.И. 1992.** Содержание катионов в плазме, эритроцитах и мышечной ткани рыб Волжского плеса Рыбинского водохранилища. *Журнал эволюционной биохимии и физиологии*, **28**(5): 576–581.
- Монастырский Г.Н. 1949.** О типах нерестовых популяций рыб. *Зоологический журнал*, **28**(6): 535–545.
- Никольский Г.В. 1947.** Теория динамики стада рыб как биологическая основа рациональной эксплуатации и воспроизводства рыбных ресурсов. Москва: Пищевая промышленность, 447 с.
- Русанов В.В. 1974.** Влияние ультрафиолетовых лучей на рост и обмен кальция у мальков карпа. Ленинград: Известия ГОСНИОРХ. **92**: 141–144.
- Спирин А.С. и Гаврилова Л.П. 1971.** Рибосома. Москва: Наука, 254 с.
- Турстон Р.В. 1981.** Факторы, влияющие на токсичность аммиака для рыб. Матер. III советско-американского симпозиума. Теоретические вопросы водной токсикологии. Ленинград: Наука, с. 104–120.
- Хлебович В.В. 1974.** Критическая соленость биологических процессов. Ленинград: Наука, 236 с.
- Шатуновский М.И., Дгебуадзе Ю.Ю., Бобырев А.Е., Соколова Е.Л., Усатый М.А., Крепис О.И., Усатый А.М. и Чебану А.С. 2009.** Некоторые закономерности изменчивости структуры и динамики популяций леща *Abramis brama* водоемов Восточной Европы. *Вопросы ихтиологии*, **49**(4): 497–507.
- Berg A. 1970.** Studies on the metabolism of calcium and strontium in fresh-water fish. II. Relative contribution of direct and intestinal absorption in growth conditions. Mem. 1st. ital. Idrobiol., **26**: 241–255.
- Fleming W.R. 1973.** Electrolyte metabolism of teleosts, including calcified tissues. In Chemical Zoology, Academic Press, New York, **8**: 471–508.
- Krogh A. 1939.** Osmotic Regulation in Aquatic Animals. Cambridge University Press, 242 p.
- Simkiss K. 1974.** Calcium metabolism of fish in relation to ageing. The ageing of fish: Proceedings of an Int. Symposium, (19–20 July, 1974): 1–12.