

© Д.В. УСЛАМИН, О.А. АЛЕШИНА  
*uslamin.d.w@gmail.com, Aleschina8@yandex.ru*

УДК 597:574.2.04

**СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ, ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ  
 И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ *CARASSIUS AURATUS GIBELIO*  
 (BLOCH, 1782) В ГРАДИЕНТЕ СОЛЕНОСТИ ВОДЫ**

**АННОТАЦИЯ.** Исследованы структура популяции, физиологические и биохимические показатели *C. a. gibelio* в озерах Сладковского района в диапазоне солености 1.8-12.0 г/дм<sup>3</sup>. Изучены половая и размерно-возрастная структура популяции. Доказано, что с увеличением солености воды увеличивается доля самцов, и начинают доминировать старшие возрасты рыб. В диапазоне солености 5.6-7.7 г/дм<sup>3</sup> во всех возрастах, кроме 2/2+, снижается прирост и привес, в то время как интенсивность питания повышается. С помощью биохимического анализа выявлено содержание белков и жиров в мышечной ткани карася. Отмечено, что с увеличением солености воды в мышцах рыб содержание белка увеличивается, а содержание жиров снижается. Для подтверждения полученных данных проведен многомерный факторный анализ, который показал связь исследуемых биологических показателей с соленостью воды и с основными гидрохимическими показателями воды.

**SUMMARY.** The structure of the population, physiological and biochemical indices of *C. a. gibelio* have been researched in the lakes of Sladkovsky area with salinity range 1.8-12.0 g/dm<sup>3</sup>. The gender, size and age structure of the population have also been studied. It is proved that increase in the water salinity causes increase in the percentage of males; fish species of an older age begin to dominate. In the salinity range of 5.6-7.7 g/dm<sup>3</sup> all ages, except 2/2+, demonstrate reduction in growth and weight, while the feeding intensity increases. Biochemical analysis revealed the content of protein and fat in the muscular tissue of the carp. It is noted that increase in the water salinity raises protein content and reduces fat content in the fish muscle. To confirm these data the multivariate factor analysis was carried out which showed interrelation of the biological indicators in question with water salinity and the main hydrochemical water indicators.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.** *Carassius auratus gibelio* (Bloch, 1782), частота встречаемости, доля по массе, минерализация воды, соленость, функциональные показатели, ИНК, критическая соленость, прирост и привес.

**KEY WORDS.** *Carassius auratus gibelio* (Bloch, 1782), frequency of occurrence, mass fraction, salinity, water mineralization, functional performance, INC, a critical salinity, growth and weight gain.

В последние годы в научной литературе все шире обсуждается вопрос о грядущих климатических перестройках, обусловленных «парниковым эффектом» антропогенного происхождения, изменение температуры при этом происходит

медленно, с небольшим нарастанием. Поэтому изучение влияния разной солености воды на сообщества представляет в настоящее время дополнительный интерес как прототип возможных изменений в биоценозах под влиянием возможного потепления [1-3]. Минерализация водоемов является одной из важнейших экологических характеристик среды обитания водных организмов. Влияние солености и основных ионов воды на метаболические процессы гидробионтов и формирование видового состава сообществ отражено в исследованиях [4].

Целью настоящей работы являлось изучение влияния различной солености на популяцию и биохимические показатели карася серебряного экосистем озер юга Тюменской области.

Район исследования располагается в лесостепной зоне юга Тюменской области. Озера лесостепной зоны Тюменской области по минеральному составу разнообразны — от соленых до пресных. В условиях слабой проточности и замкнутости озер, незначительной величины выпадающих осадков и довольно интенсивного испарения, соленость воды во многих озерах со временем повышается [5]. Исследуемые водоемы являются в своем большинстве бессточными, мелководными и небольшими по площади. Самые крупные из них — это озера Бузан (270 га) и Большое (302 га). Средние глубины не превышают 2.5-2.6 м.

Аборигенным и промысловым видом озер юга Тюменской области является серебряный карась — *Carassius auratus*. Были выбраны типичные карасевые озера: Малиновое, Большое, Бузан, Глубокое, Щербаково. Материал собирали в весенне-осенний период 2010 г. в полевых условиях. Сбор и обработку материала для морфометрического анализа проводили по общепринятым в ихтиологии методикам [6]. Вылов рыбы производился сетями с ячейй 3,5 см. Все промеры и просчеты сделаны на свежих экземплярах из разно-размерных групп рыб. Объем собранного материала составил 975 экземпляров.

Для определения концентрации белка и липидов в мышечной ткани с каждого озера были отобраны экземпляры рыбы и с каждого экземпляра взяты 2 пробы мышечной ткани. Определение концентраций белка проводился по методу фотоколориметрии (метод Лоури) [7]. Липиды определяли экстрагированием навески исследуемых тканей [7].

Для оценки варьирования биологических показателей и определения основных факторов, влияющих на них, проведен многомерный факторный анализ на основе программы STATISTICA (Statsoft,USA) [8].

По степени минерализации обследованные озера значительно различались. Общая сумма солей в озерах варьировала от от 1.8 до 12.0 г/л. Кроме солености, озера отличались по жесткости, pH и по содержанию основных ионов воды. Гидрохимические показатели обследованных озер представлены в табл. 1.

Таблица 1  
Гидрохимическая характеристика обследованных озер (2010 г.)

Переменные	Слабосолоноватые 1.4-2.7 г/дм <sup>3</sup>		Сильносолоноватые 5.3-8.6 г/дм <sup>3</sup>		Слабосоленое 12.0 г/дм <sup>3</sup>
	M±m	Min-max	M±m	Min-max	
Mg <sup>2+</sup> мг/дм <sup>3</sup>	62.1±16.6	45.5-78.7	207.0±39.0.	168.0-245.7	451.0
Cl <sup>-</sup> мг/дм <sup>3</sup>	627.5±110.5	517.0-738.0	1923.0±322.0	1601.0-2245.0	3933.0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> мг/дм <sup>3</sup>	54.2±34.9	19.2-89.13	153.6±134.4	19.2-288.0	556.8
Ca <sup>2+</sup> мг/дм <sup>3</sup>	39.5±5.5	34.0-45.0	77.0±21.0	55.9-97.9	56.0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> мг/дм <sup>3</sup>	427.9±19.1	408.8-447.0	622.8±63.7	559.2-686.5	964.0
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> мг/дм <sup>3</sup>	19.2	-	-	-	-
Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> мг/дм <sup>3</sup>	466.9±123.7	343.0-590.6	1276.5±118.6	1157.9-1395.1	50.13
Жесткость мг-экв/дм <sup>3</sup>	7.0±1.2	5.65-8.0	20.4±4.2	16.2-24.5	38.9
Σ, ионов мг/дм <sup>3</sup>	2215.0±375.0	1840.0-2590.0	6690.0±1020.0	5670.0-7710.0	12000

Характер соленостной зависимости процессов и явлений может быть более или менее полно выявлен только в том случае, если данные получаются через короткие интервалы солености [5]. В связи с этим, в данной работе использована классификация водных объектов, предложенная Пороховым [9], с более узкими границами деления водоемов по солености. Согласно классификации, обследованные водоемы были разделены на соответствующие группы: слабосолоноватые (1.4-2.7 г/дм<sup>3</sup>), среднесолоноватые (5.3-8.6 г/дм<sup>3</sup>) и сильносолоноватые (12.0 г/дм<sup>3</sup>).

Анализ полученных данных за весенне-осенний период показал, что возрастной состав популяции карася серебряного в обследованных водоемах представлен особями в возрасте от 2/2+ до 6/6+ лет. В разные сезоны уловы практически в одинаковой степени состояли из двух-, трех-, четырех-, пяти- и шестигодовиков с некоторым преобладанием двухгодовиков и трехгодовиков в озерах Малиновое и Большое, соответственно 26 и 23%. В оз. Бузан основную долю улова составляли трех-, двух-, и четырехгодовики (соответственно 25, 22 и 22%). В оз. Щербаково доминировали 5/5+ летние особи (27%). Доля остальных возрастов варьировала в пределах 18-20%. В слабосоленом также преобладали 5/5+ летние особи, но доля их в популяции была значительно выше и достигала 31%. Кроме этого, в уловах возросла доля четырехгодовиков до 24%. Сравнив возрастную структуру карася серебряного из озер с разной минерализацией воды меняется и соотношение возрастов. С увеличением солености начинают доминировать в популяции старшие возрастов, что связано с адаптивными способностями организма. Соотношение в популяции особей разного возраста меняется в зависимости от состояния среды и приспособительно перестраивается как самонастраивающаяся система [10].

Половая структура популяций характеризуется соотношением в них особей разного пола. Процентное соотношение полов карася серебряного представлено на рис. 1 (А).

В диапазоне солености 1.8-5.6 г/дм<sup>3</sup> процентное соотношение самцов и самок существенно не отличалось и в уловах составляло в основном 1:6. Доля самок в популяциях достигала 85-87%. В диапазоне солености 7.7-12.0 г/дм<sup>3</sup> соотношение полов составляет 1:3. Доля самок снижается до 75-72%, что указывает на менее благоприятные условия обитания особей [11]. Соотношение полов в первую очередь зависит от наследственных свойств вида, но в значительной мере контролируется и внешними условиями. Соотношение полов может служить показателем состояния популяций, поскольку по мере ухудшения условий жизни количество самцов в них увеличивается, а по мере улучшения условий жизни — наоборот.

В зависимости от экологических условий карась обыкновенный достигает половой зрелости обычно в возрасте 3-4 лет, а при очень благоприятных условиях — в возрасте 2 лет. Самцы становятся половозрелыми несколько раньше самок [11]. На рис. 1(Б) показано достижение половозрелости у карася в обследованных озерах. В озерах Малиновое, Большое и Бузан карась достигает половой зрелости у самцов в 2 года, а у самок в 3 года. В озерах Глубокое и Щербаково оба пола становятся половозрелыми в 4-х летнем возрасте. Таким образом, анализ материала по соотношению полов и по достижению половой зрелости показывает, что озера с соленостью 1.8; 2.6; 5.6 г/л воды обладают более благоприятными экологическими условиями, чем озера с соленостью 7.7 и 12.0 г/дм<sup>3</sup> воды.

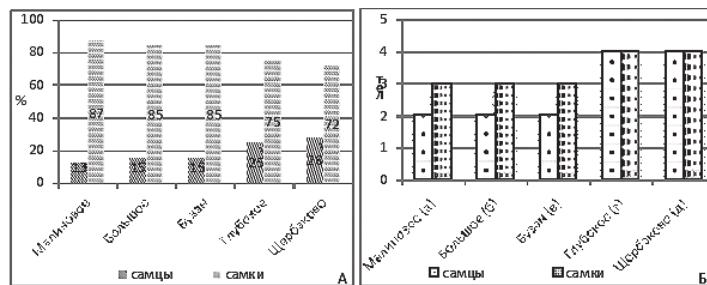


Рис. 1. А — Процентное соотношение полов в популяции *C. auratus*,  
Б — Наступление половозрелости в популяции *C. auratus*.

Карась серебряный растет в течение всей жизни. Этот рост, как и у всех рыб, зависит от комплекса факторов, в которые входят гидрологические, гидрохимические условия и состояние кормовой базы водоемов. Для сравнения индивидуального роста карася использовались такие показатели, как прирост и темп роста. По полученным данным во всех озерах наибольший прирост массы у карася серебряного наблюдался в основном в 5/5+ возрастной группе, а прирост длины приходится на более ранний возраст от 2 до 4 лет. Темп роста по массе и длине с возрастом снижается в популяциях карасей во всех озерах от 2/2+ до 6/6+, что указывает на различие характера роста рыбы до и после наступления половой зрелости. Обычно до наступления половой зрелости рыбы

растут наиболее быстро. Поэтому в первые годы жизни, как правило, происходит наиболее быстрое нарастание линейных размеров. После наступления половой зрелости темп роста снижается [11].

Полученные данные по росту карася были соотнесены с соленостью воды. Динамика зависимости отображена на рис. 2. В диапазоне солености от 5.6 и 7.7 г/дм<sup>3</sup> во всех возрастах снижается прирост и привес, кроме 2/2+ леток, показатели у которых наоборот возрастают. После точки с соленостью 7.7 г/дм<sup>3</sup> начинают возрастать прирост и привес во всех возрастах. Зависимость прироста карася от величины солености воды имеет колебательный характер с понижением в диапазоне солености 5-8‰, что подтверждается в работах Хлебович [4]. Полученные данные указывают на довольно резкие изменения в интенсивности и направленности обменных процессов в узком соленостном диапазоне: 5-8‰.

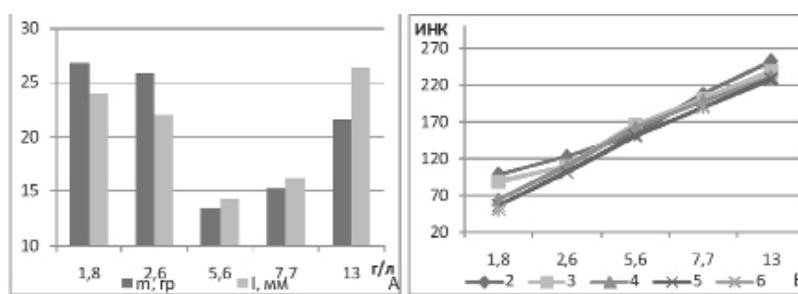


Рис. 2. А — Динамика общего прироста и привеса *C. auratus* в исследуемых озерах; Б — Зависимость ИНК (‰) разновозрастных групп *C. auratus* от солености воды.

Рассчитан общий прирост и привес карася всех возрастов в обследованных озерах. Динамика зависимости полученных показателей от солености воды представлена на рисунке 2(А). На полученной кривой также наблюдается резкое понижение показателей (прирост, привес) в диапазоне от 5.6 до 7.7 г/дм<sup>3</sup>, что указывает на угнетение роста организмов.

Рисунок 2(Б) хорошо иллюстрирует изменение интенсивности питания в озерах с разной минерализацией. С увеличением солености повышается интенсивность питания. В диапазоне критической солености интенсивность питания не снижается, а продолжает повышаться.

Функциональное состояние рыб отражается на содержании белка и липидов в их тканях. Проведенный биохимический анализ показал, что в исследуемых озерах содержание белка в мышцах карася весной варьировало от 8.0 до 22.0 г/100 г, летом — от 10.0 до 23.0 г/100 г, осенью — от 11.0 до 23.0 г/100 г. Полученные данные согласуются с результатами Кузьминой [13], по которым содержание белка в мышцах разных видов рыб колеблется от 6.2 до 23.0 г/100 г. Сопоставив данные по солености и концентрации белка в мышцах карася по разным возрастам в весенне-осенний период, выявили, что с увеличением солености воды происходит увеличение концентрации белка в мышечной ткани. Минимальная концентрация отмечена при солености 1.8 г/дм<sup>3</sup>, а максималь-

ная — при солености 12.0 г/дм<sup>3</sup>. Эти данные подтверждаются корреляционным анализом (зависимость прямая  $r = 0,95$ ).

В мышечном энергетическом обмене у рыб основную роль источника энергии выполняют липиды [12]. Биохимический анализ показал, что в исследуемых озерах содержание липидов весной варьировало от 2.0 до 11.5 г/100 г, летом — от 2.5 до 11.7 г/100 г, осенью — от 3.0 до 11.0 г/100 г. Полученные данные так же согласуются с работами Кузьминой [13], по которым содержание липидов в мышцах разных видов рыб колеблется от 1.2 до 15.0 г/100 г. Сопоставив данные по солености и концентрации липидов в мышцах карася по разным возрастам, выявили, что с увеличением солености воды происходит снижение концентрации липидов в мышечной ткани. Максимальная концентрация — при солености 1.8 г/дм<sup>3</sup>, а минимальная — при солености 12.0 г/дм<sup>3</sup>. Эти данные подтверждают корреляционным анализом (зависимость обратная  $r = -0,95$ ).

Анализ ряда научных источников по физиологии и биохимии рыб показывает, что изменение минерализации воды сопровождается изменением нагрузки на системы обеспечения осмотического, ионного и кислотно-щелочного баланса организма. Тоничность цитоплазмы регулируется изменением концентрации органических осмолитов (белки, аминокислоты и их производные, мочевина и др.), работа которых строго координируется при варьировании внешних осмотических условий. Для гидробионтов характерен так называемый «натриевый насос», осуществляющий активный перенос  $\text{Na}^+$  через мембранны. Перенос  $\text{Na}^+$  сопровождается противоположно направленным перемещением какого-либо другого иона («противоиона») — обычно  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}^+$  или  $\text{H}^+$ . Перенос  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  катализируется натрийкалиевой-АТФ-азой и сопровождается затратой энергии. Белок может накапливаться в результате мышечной гипертрофии, так как при повышении солености вода становится более вязкой и для передвижения рыб, их мышцы совершают большую работу, т.е. идет сильная физическая нагрузка, а для получения энергии движения идет распад АТФ, которая синтезируется за счет распада жиров.

В связи с изучением большого числа показателей, взаимосвязи между ними чрезвычайно сложные. Для подтверждения вышеизложенных данных, оценки варьирования исследованных показателей и определения основных факторов, влияющих на них, проведен многомерный факторный анализ на основе программы STATISTICA (Statsoft, USA). Проанализировано 18 параметров. Результаты факторного анализа представлены в табл. 2.

Основное варьирование исследованных показателей определяется 1 и 2 факторами. Как видно из таблицы, первый фактор определяет 63.7% общей дисперсии; второй — 18.2%; третий — 6.4%; четвертый — 6.8%. Остальные факторы не выделяют дисперсию эквивалентную дисперсии одной переменной. Таким образом, первому и второму факторам соответствуют большие значения коэффициентов корреляции, чем остальным. Эти факторы определяют 82% варьирования исследованных показателей.

Таблица 2

Результаты факторного анализа *C. australis* (n=1000, P=0.95)

Показатели	Фактор 1	Фактор 2
Концентрация белка	0.92	-0.04
Концентрация липидов	<b>0.95</b>	0.05
Доля самок	<b>0.92</b>	-0.24
Прирост	-0.29	<b>-0.82</b>
Привес	-0.36	<b>-0.75</b>
Соотношение полов	<b>-0.94</b>	0.07
ИНК	<b>0.94</b>	-0.21
Общая минерализация	<b>0.89</b>	0.07
Mg	<b>0.87</b>	-0.39
Ca	<b>0.71</b>	0.46
Fe	0.37	<b>-0.75</b>
Cl	<b>0.88</b>	-0.37
K	-0.11	-0.18
Na	0.19	<b>0.95</b>
SO <sub>4</sub>	<b>0.86</b>	0.26
pH	<b>0.72</b>	0.26
Жесткость	<b>0.90</b>	-0.33
Собственные значения	13.38	3.82
% объяснимой дисперсии	63.76	18.20

Наиболее значимым является первый фактор. Он описывает сильную зависимость индекса наполняемости кишечника, содержания в мышечной ткани белка и липидов как в двухлетнем, так и в пятилетнем возрасте, долю самок и самцов, соотношение полов в популяции (уровень связи выше 0.9). Первый фактор в существенной степени описывает минерализацию и содержание в водоемах Mg, Cl и SO<sub>4</sub> (уровень связи выше 0.8). В этой группе признаков более слабую связь (0.7) имеют Ca и pH. Дисперсия второго фактора в основном тесно связана с концентрацией катионов Fe, Na и показателями развития рыб: приростом и привесом. Наиболее сильные связи в этой группе признаков определены для Na (0.95). Сила связи с другими характеристиками невысокая. Дисперсия третьего фактора слабо связана с популяционными и биохимическими показателями карася. Содержание катионов K в 4 факторе описывается совершенно независимой координатой, которая определяет некоторую часть варьирования показателей развития карася и существенного влияния на него не оказывает.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мелешко В.П., Катцов В.М. Антропогенные изменения климата В 21 веке Северной Евразии // Метеорология и гидрология. 2004. С. 5-26.
2. Израэль Ю.А. Павлов А.В., Анохин Ю.А. Анализ современных и ожидаемых в будущем изменений климата и криолитозоны в северных регионах России // Метеорология и гидрология. 1999. № 3. С. 18-27.

3. Клиге Р.К. Глобальные гидроклиматические исследования. Глобальные и региональные изменения климата и их природные и социально-экономические последствия. М., 2000. С. 6-24.
4. Хлебович В.В. Критическая соленость биологических процессов. Л.: Наука, 1974. 236 с.
5. Бакулин В.В., Козин В.В. География Тюменской области. Екатеринбург: Средне-Уральское книжное изд-во, 1996. 240 с.
6. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 374 с.
7. Уильямс Б. Методы практической биохимии. М.: Мир, 1978. 273 с.
8. Ким Дж. О. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1989. 218 с.
9. Посохов Е.В., Никанорова А.М. Справочник по гидрохимии. Л.: Гидроиздат, 1989. 391 с.
10. Попов П.А. Видовой состав и характер распространения рыб на территории Сибири // Вопросы ихтиологии. 2009. № 4. Т. 49. С. 451-463.
11. Журавлев В.Б. Биологические особенности карасей (род *Carassius*)... / Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Киев, 1989. 24 с.
12. Иванов А.А. Физиология рыб. М.: Мир, 2003. 284 с.
13. Кузьмина В.В. Физиология питания рыб. Влияние внешних и внутренних факторов. Борок: Принтхаус, 2008. 276 с.

#### REFERENCES

1. Meleshko, V.P., Katsov, V.M. Anthropogenic Climate Changes in XXI Century in Northern Eurasia. *Meteorologija i gidrologija*. — *Meteorology and Hydrology*. 2004. Pp. 5-26 (in Russian).
2. Izrael, Yu.A. Pavlov, A.V., Anokhin, Yu.A. Analysis of the Contemporary and Anticipated Climate and Cryolithic Zone Changes in the Northern Regions of Russia. *Meteorologija i hidrologija* — *Meteorology and Hydrology*. 1999. № 3. Pp. 18-27 (in Russian).
3. Klige, R.K. *Global'nye hidroklimaticheskie issledovaniya. Global'nye i regional'nye izmenenija klimata i ih prirodnye i social'no-ekonomicheskie posledstviya* [Global Hydroclimatic Research. Global and Regional Climate Changes and their Natural and Social-Economic Consequences]. Moscow, 2000. Pp. 6-24 (in Russian).
4. Khlebovich, V.V. *Kriticheskaja solenost' biologicheskikh processov* [Critical salinity of Biological Processes]. Leningrad: Nauka, 1974. 236 p. (in Russian).
5. Bakulin, V.V., Kozin, V.V. *Geografija Tjumenskoj oblasti* [Geography of Tyumen Region]. Ekaterinburg: Sredne-Ural'skoe knizhnoe izdatel'stvo, 1996. 240 p. (in Russian).
6. Pravdin, I.F. *Rukovodstvo po izucheniju ryb* [Manual on Fish Studies]. Moscow: Pishhevaja promyshlennost', 1966. 374 p. (in Russian).
7. Wiliams, B. *Metody prakticheskoy biohimii* [Methods of Practical Biochemistry]. M.: Mir, 1978. 273 p. (in Russian).
8. Kim, J. O. *Faktornyj, diskriminantnyj i klasternyj analiz* [Factor, Discriminate and Cluster Analysis]. Moscow: Finansy i statistika, 1989. 218 p.
9. Posokhov, E.V., Nikanorova, A.M. *Spravochnik po hidrohimii* [Reference Book on Hydrochemistry]. Leningrad: Gidroizdat, 1989. 391 p. (in Russian).
10. Popov, P.A. Species Composition and Distribution of Fish on the Territory of Siberia. *Voprosy ihtiologii* — *Issues of Ichthyology*. 2009. № 4. Vol. 49. Pp. 451-463 (in Russian).
11. Zhuravlev, V.B. *Biologicheskie osobennosti karasej (rod Carassius)* (avtoref. diss. kand.) [Biological Peculiarities of Carassius (avtoref. diss. kand.)]. Kiev, 1989. 24 p. (in Russian).
12. Ivanov, A.A. *Fiziologija ryb* [Fish Physiology]. Moscow: Mir, 2003. 284 p. (in Russian).
13. Kuzmina, V.V. *Fiziologija pitanija ryb. Vlijanie vneshnih i vnutrennih faktorov* [Physiology of Fish Feeding. Influence of Internal and External Factors]. Borok: Printhouse, 2008. 276 p. (in Russian).