

# ПОРОГОВЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ КАТИОНОВ В ПРЕСНОЙ ВОДЕ НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ИОННОГО БАЛАНСА МЕЖДУ ОРГАНИЗМОМ ГИДРОБИОНТОВ И ВНЕШНЕЙ СРЕДОЙ

**В. И. Мартемьянов, А. С. Маврин**

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

## **Введение**

Минеральный состав воды является важнейшим экологическим фактором, который существенно влияет на ареал, развитие, рост, устойчивость и физиологические процессы гидробионтов. Уменьшение минерализации воды сопровождается увеличением нагрузки на системы обеспечения осмотического, ионного и кислотно-щелочного баланса организма. При достижении определенных минимальных концентраций того или иного электролита в воде, способность к поддержанию ионного гомеостаза нарушается. Вследствие этого границы ареала вида в низкоминерализованных водоемах определяются предельно низкими (пороговыми) концентрациями различных ионов во внешней среде при которых возможно поддержание ионного баланса между организмом и средой.

Метод определения пороговых концентраций основан на измерении кинетических характеристик трех параметров: скорости потери ионов из организма во внешнюю среду, скорости их активного транспорта из среды в организм и чистого (результатирующего) потока, представляющего разность между потерями и активным транспортом. При реализации используемого способа, гидробионты вначале акклимируются к широкому ряду различных концентраций изучаемых ионов. После этого животных перемещают на непродолжительное время (15–30 мин) вначале в дистиллированную, а затем пресную воду. По изменению содержания электролитов в экспериментальных средах рассчитывают скорость потери ионов из гидробионтов в дистиллированную воду и скорость их активного транспорта организмом из пресной воды. Находят такие концентрации ионов в воде, при кото-

рых потери из организма выше, чем поступление, что свидетельствует о неспособности поддержания ионного баланса. Этот способ является очень трудоемким, из-за чего применяется редко. Полученные данные по пороговым концентрациям носят фрагментарный характер и имеют отношение к моллюскам (Виноградов и др., 1987; Виноградов, 2000; Виноградов, Биочино, 2005).

Нами (Мартемьянов, 2008) был апробирован более простой способ по выявлению предельно низких концентраций натрия, калия, кальция, магния во внешней среде необходимых для поддержания жизнедеятельности *Dreissena polymorpha Pallas*. Метод основан на содержании организмов в дистиллированной воде и отбора проб воды во времени из экспериментальных емкостей для определения концентрации ионов. Целью настоящего исследования явилось определение пороговых значений содержания ионов натрия, калия, кальция, магния в пресной воде, необходимых для поддержания ионного баланса между организмом плотвы и внешней средой.

## **Материал и методика**

Плотву *Rutilus rutilus L.* массой 50–100 г, отлавливали неводом в устье р. Шуморовка в октябре 2008 г. Пробы крови на анализ брали сразу после кратковременной (не более 10 мин) помимки, когда исследуемые показатели еще не успевают существенно измениться из-за стресса, вызванного отловом (Мартемьянов, 1982). Из одного притонения невода отбирали не более 6 рыб. При увеличении количества рыб и времени отбора проб проявляется стресс и содержание катионов в плазме и тканях особей заметно ме-

няется во времени. Обработка проб и аналитические процедуры описаны нами ранее (Мартемьянов, 1992).

Другая часть улова доставлялась в лабораторию. Рыбы помещались в аквариумы и в течение 10 сут акклимировались к лабораторным условиям. После акклимации, индивидуальные особи отлавливались, промывались в дистиллированной воде. Затем помещались в отдельные аквариумы, наполненные по 10 л дистиллированной воды. Свежая дистиллированная вода имеет кислую реакцию. Снятие кислотности осуществляли за счет пропускания через воду воздуха в течение 2–3 суток до посадки рыб. Подачу воздуха продолжали в дальнейшем в ходе всего эксперимента. Перед посадкой рыб в экспериментальные емкости, каждая особь вначале промывалась в пределах 1 мин в дистиллированной воде и затем помещалась в индивидуальный аквариум. Сразу после помещения рыб в индивидуальные емкости, из них с определенными интервалами времени отбирались пробы воды для анализа в ней содержания ионов натрия, калия, кальция, магния методом пламенной спектрофотометрии.

От 10 рыб взяли пробы крови и 10 особей употребили в экспериментах с дистиллированной водой.

### Результаты исследования

Данные по содержанию катионов в речной воде и плазме крови плотвы, отловленной в природных условиях, представлены на рис. 1 (правая часть). Сравнение показывает, что концентрация ионов натрия и калия в плазме крови рыб была существенно выше, чем в среде, тогда как различия для кальция и магния были не большими.

После помещения рыб в дистиллированную воду, в начальный период наблюдалось постепенное повышение концентрации ионов в воде (рис. 2), свидетельствуя об их утечке из организма. При этом скорость потери ионов натрия была наиболее высокой, составляя  $1,72 \pm 0,42$  мг/100 г сырой массы час. Ионы калия и кальция терялись из организма, соответственно, со скоростью  $0,44 \pm 0,07$  и  $0,79 \pm 0,46$  мг/100 г сырой массы час. Утечка ионов магния из организма плотвы составляла очень малую величину  $0,07 \pm 0,03$  мг/100 г сырой массы час.

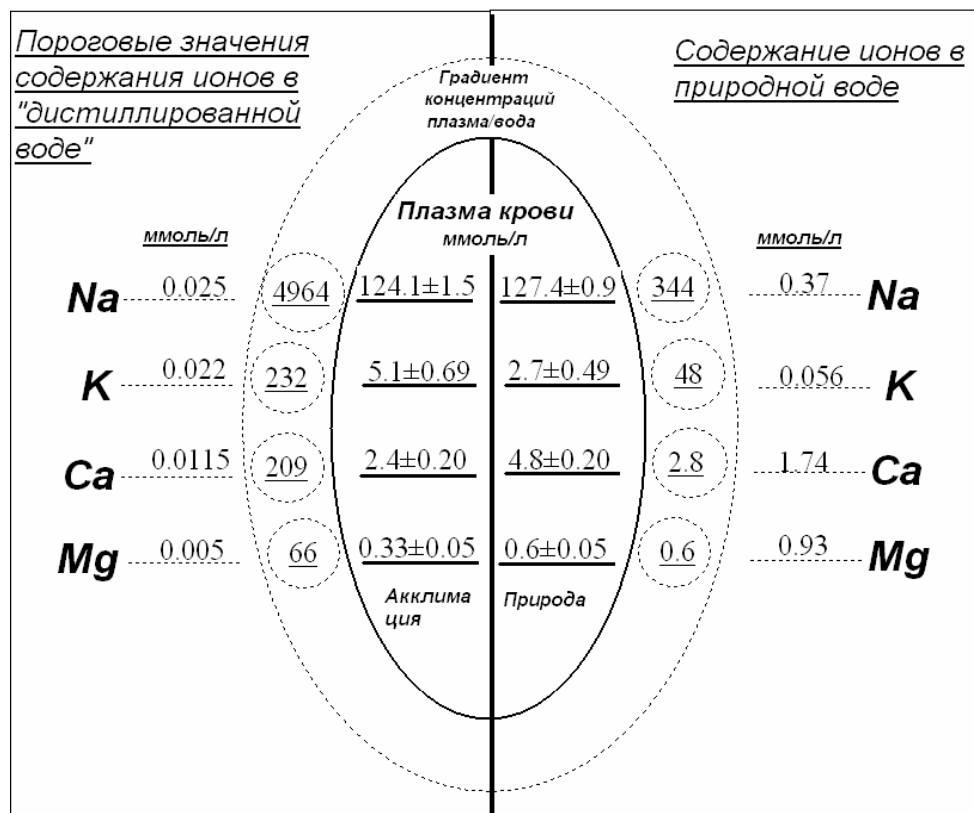


Рис. 1. Концентрация катионов в плазме крови плотвы, в речной воде и при пороговых значениях

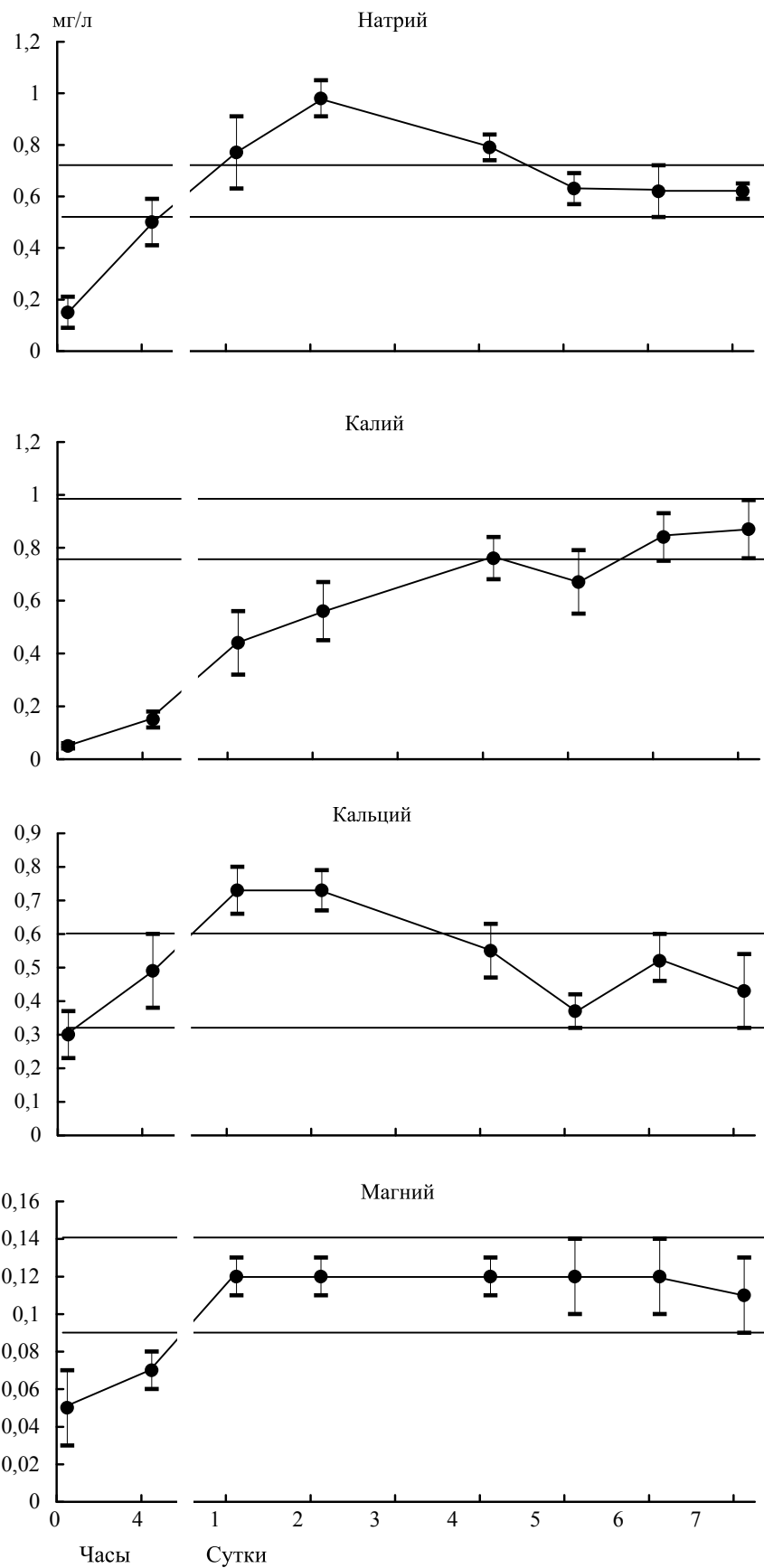


Рис. 2. Динамика содержания катионов в среде после посадки рыб в дистиллированную воду

На 5–7 сутки эксперимента содержание катионов в воде стабилизировалось на определенных уровнях, указывая на достижение ионного баланса между организмом и средой. То есть, скорости потерь ионов из организма и их обратный транспорт были уравновешены между собой, в результате чего содержание электролитов в воде имело стабильные значения. По отношению к рыбам из природы (рис. 1, правая часть), у животных при пороговых концентрациях (рис. 1, левая часть), градиенты ионов между внутренней и внешней средой возросли для натрия, калия, кальция, магния, соответственно, в 14,4, 4,8, 74,6, 110 раз.

### Обсуждение результатов

После помещения рыб в дистиллированную воду, в течение первых 5 суток наблюдалось постепенное повышение с определенными скоростями концентрации различных ионов в воде (рис. 2), свидетельствуя об утечке электролитов из организма рыб. В дальнейшем, содержание катионов в воде стабилизировалось на определенных уровнях, указывая на достижение ионного баланса между организмом и средой. Скорости потерь ионов из организма и их обратный транспорт были уравновешены между собой. Эти минимальные концентрации ионов в воде, при которых достигается ионный баланс между организмом и средой, являются пороговыми (предельными) для выживания плотвы. При содержании электролитов в воде ниже пороговых, рыбы погибнут вследствие обессоливания организма.

Пороговые концентрации того или иного иона в воде для какого-либо вида представляют в виде среднего значения (Виноградов и др., 1987; Виноградов, 2000; Виноградов, Биочино, 2005). Эксперименты показывают, что на самом деле имеются индивидуальные различия в пороговых значениях содержания ионов в среде. Мы предлагаем выражать пороговые концентрации в виде диапазонов (рис. 2, отмечены горизонтальными линиями относительно оси абсцисс), которые регистрировались в стабильный период на 5–7 сутки опытов.

Увеличение продолжительности экспериментов до 14 суток оказалось нецелесообразным из-за накопления метаболитов в воде. Продукты жизнедеятельности рыб оказывали негативное влияние на физиологическое состояние организма. В ряде аквариумов, спустя 7 суток, мы ежедневно в течение недели заменяли часть воды (2

л из 10 л) на дистиллированную воду. Это предотвращало чрезмерное накопление продуктов обмена в среде. В этих случаях, всякий раз через 1 сутки, содержание ионов в воде вновь достигало исходных значений, которые наблюдались до разбавления среды.

Верхние и нижние границы диапазонов пороговых концентраций ионов в среде, зарегистрированные в двух экспериментах, несколько смещены относительно друг друга. Возможно, это отражает разное физиологическое состояние рыб, обусловленное сезонами года.

Уменьшение минерализации воды до пороговых значений сопровождается существенным увеличением градиентов ионов между внутренней и внешней средой рыб (рис. 1). Так, по отношению к природным значениям (рис. 1, правая часть), при пороговых концентрациях (рис. 1, левая часть), градиенты ионов между внутренней и внешней средой рыб существенно возросли. Эта ситуация усиливает нагрузку на систему обеспечения осмотического, ионного и кислотно-щелочного баланса организма, требуя на это дополнительных энергетических затрат. На основе этого можно предполагать, что с уменьшением минерализации воды темп роста плотвы будет снижаться.

По сравнению с содержанием ионов в речной воде (рис. 1, правая часть), пороговые концентрации (рис. 1, левая часть) ниже в среднем в 14,8, 2,5, 151,3, 186 раз, соответственно, для натрия, калия, кальция, магния. Видно, что наименьшие различия между содержанием ионов в речной воде и пороговыми концентрациями наблюдаются для ионов калия. Это показывает, что в природных условиях лимитирующим фактором для плотвы является содержание калия в воде.

В летний сезон в реках, озерах, водохранилищах, сильно заросших сине-зелеными водорослями, наблюдаются заморы рыбы. Это связывают с недостатком кислорода. Следует отметить, что в период массового развития водоросли потребляют из воды большие количества ионов калия. В результате концентрация этого элемента в воде может достигать критического уровня для рыб, усугубляя их состояние.

Данных по пороговым концентрациям ионов во внешней среде для других видов гидробионтов очень мало (табл.). Сравнительный анализ показывает, что способность извлекать ионы натрия, кальция и магния из внешней среды у плотвы намного выше, чем у двусторчатых моллюсков дрейссены и шаровки *Sphaerium*

suesicum West. Пороговая концентрация ионов натрия и кальция в воде для плотвы ниже, соответственно, в 3,3, 27,5, раза, чем у дрейссены и в

4,6, 5 раза, чем у шаровки. Способность поглощать ионы магния из внешней среды у плотвы в 2,4 раза выше, чем у дрейссены.

**Пороговые концентрации катионов в среде для различных видов гидробионтов**

Вид	Пороговые концентрации катионов в среде, мг/л				Ссылка
	Натрий	Калий	Кальций	Магний	
Плотва	0,3–0,7	0,8–1,2	0,2–0,6	0,05–0,15	Настоящие данные Мартемьянов, 2008 Виноградов и др., 1987
Дрейссена	1,63	0,06	11	0,24	
Шаровка	2,3	0,19	2	–	

Плотва хуже моллюсков извлекает из воды ионы калия. Пороговая концентрация ионов калия в воде для плотвы в 16,7 и 5,3 раза больше, чем для дрейссены и шаровки.

**Выводы**

1. Пресноводные гидробионты обладают структурами и системами, которые позволяют им эффективно поглощать различные ионы из внешней среды для поддержания осмотического, ионного и кислотно-щелочного баланса организма.

2. Минимальные концентрации катионов во внешней среде, при которых транспортные системы плотвы способны извлекать ионы для обеспечения нормальной жизнедеятельности организма, составляют, соответственно, для натрия, калия, кальция, магния 0,52–0,72; 0,76–0,98; 0,32–0,60; 0,09–0,14 мг/л. При более низких уровнях ионов в воде у плотвы преобладают потери электролитов из организма, компенсация которых возможна только за счет потребления с пищей.

**Литература**

Виноградов Г. А. Процессы ионной регуляции у пресноводных рыб и беспозвоночных. М.: Наука, 2000. 216 с.  
 Виноградов Г. А., Биочино Г. И. Физиологические особенности моллюсков *Dreissena polymorpha* (Pall.) и *Dreissena bugensis* (Andr.), обитающих в Рыбинском водохранилище // Биол. внутр. вод. 2005. № 3. С. 74–78.  
 Виноградов Г. А., Клерман А. К., Комов В. Т. Особенности ионного обмена пресноводных моллюсков в условиях высокой концентрации ионов водорода и низкой минерализации внешней среды // Экология. 1987. № 3. С. 81–84.  
 Мартемьянов В. И. Стресс как источник ошибок при эколого-физиологических и биохимических ис-

следованиях рыб // Оценка погрешностей методов гидробиологических и ихтиологических исследований. Рыбинск, 1982. С. 124–134.  
 Мартемьянов В. И. Содержание катионов в плазме, эритроцитах и мышечной ткани рыб Волжского плеса Рыбинского водохранилища // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 1992. Т. 28. № 5. С. 576–581.  
 Мартемьянов В. И. Роль систем ионного транспорта в распространении дрейссены // Дрейссениды: эволюция, систематика, экология. Лекции и материалы докладов I-ой Международной школы-конференции. Борок, 2008. С. 93–97.

**THRESHOLD CONCENTRATION OF CATION IN WATER NECESSARY FOR MAINTENANCE OF IONIC BALANCE BETWEEN AQUATIC ORGANISMS AND ENVIRONMENT**

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

*I.D. Papanin Institute of Biology of Inland Waters, Russian Academy of Science,  
 Borok, Yaroslavl region, Russia,  
 e-mail: martem@ibiw.yaroslavl.ru*

The simple method by definition of extremely low concentration of sodium, potassium, calcium, magnesium in environment, necessary for maintenance of ability to live of aquatic organisms is offered. Cited

the data on threshold concentration of ions of sodium, potassium, calcium, magnesium in water necessary for maintenance of ionic balance between organism of three species of aquatic organisms and environment.