

# ПОРОГОВЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ КАТИОНОВ ВО ВНЕШНЕЙ СРЕДЕ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ГРАНИЦЫ АРЕАЛА ИНВАЗИВНОГО ВИДА *DREISSENA BUGENSIS* (ANDRUSOV, 1897) В ПРЕСНЫХ ВОДОЕМАХ

©2026 Мартемьянов В.И.

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, 152742, Россия  
e-mail: [martem@ibiw.ru](mailto:martem@ibiw.ru)

Поступила в редакцию 25.12.2025. После доработки 13.05.2026. Принята к публикации 25.05.2026

Показано, что минимальные концентрации натрия, калия, кальция и магния в воде, необходимые для поддержания баланса между организмом *D. bugensis* и средой, составляют 0.022–0.026, 0.0021–0.0026, 0.43–0.47 и 0.0032–0.0039 ммоль/л соответственно. По сравнению с *D. polymorpha*, для выживания *D. bugensis* требуются несколько более высокие концентрации ионов натрия и кальция в воде. Сравнительный анализ показал, что оба вида дрейссены независимо от региона и бассейна не встречаются в водоемах, где содержание ионов кальция в воде ниже пороговых значений. Для оценки дальнейшего распространения дрейссены в природных условиях, необходимо определить в каких пределах изменяется содержание ионов, главным образом кальция, в разных пресноводных водоемах. Ожидается, что в любом бассейне и регионе моллюски будут осваивать те водоемы, где уровень кальция в воде выше пороговых значений и не смогут вселяться в пресные воды с содержанием кальция ниже пороговых значений.

**Ключевые слова:** *Dreissena bugensis*, пороговые концентрации, натрий, калий, кальций, магний.  
DOI: 10.35885/1996-1499-19-2-75-94

## Введение

Двустворчатые моллюски *D. polymorpha* и *D. bugensis* интенсивно заселяют новые водоемы. Вселенцы, вступая в контакты с аборигенными видами, существенно преобразовывают структуру биоценозов, вызывая экологические и экономические последствия [Schloesser, Nalepa, 1994; MacIsaac, 1996; Pimentel et al., 2005]. В пресноводные водоемы вначале заселялась *D. polymorpha*. Затем в них стала появляться *D. bugensis* постепенно вытесняя в ряде водоемов популяции *D. polymorpha* [Mills et al., 1996; 1999; Stoeckmann, 2003; Orlova et al., 2004; Nalepa et al., 2010; Matthews et al., 2014, 2015; Marescaux et al., 2015; Melnikova, Pryanichnikova, 2025]. Полагают, что со временем *D. bugensis* может нанести более сильный экологический ущерб [Peyer et al., 2009].

Минеральный состав воды является важнейшим экологическим фактором, который существенно влияет на распределение и плотность популяций [Ramcharan et al., 1992],

развитие [Sprung, 1987; Hincks, Mackie, 1997; Seitz et al., 2023], рост [Hincks, Mackie, 1997; Seitz et al., 2023], устойчивость [Dietz et al., 1994; Hincks, Mackie, 1997; Seitz et al., 2023] и физиологические процессы [Виноградов, Биочино, 2005; Dietz et al., 1997] *D. polymorpha* и *D. bugensis*.

У пресноводных животных, включая моллюсков, содержание ионов во внутренней среде организма существенно выше, чем в пресной воде [Мартемьянов, 1996]. Протекающая через капиллярную систему жабр кровь (или гемолимфа), имеющая более высокие уровни солей по сравнению с пресной водой, с определенной скоростью постоянно теряет во внешнюю среду различные ионы. Определенная часть электролитов теряется из внутренней среды организма с мочой.

В жабрах гидробионтов имеются специализированные структуры (ионные насосы), которые осуществляют активный транспорт ионов из внешней среды в кровь, полностью компенсируя их потери [Виноградов, 2000]. В

результате содержание ионов во внутренней среде организма поддерживается на устойчивых уровнях. Минимальные концентрации тех или иных ионов в среде, при которых достигаются предельные возможности ионных насосов полностью компенсировать потери электролитов из организма, являются пороговыми. При содержании ионов в воде ниже пороговых значений, полной компенсации потерь ионов не происходит. В этом случае выживание организма невозможно из-за отсутствия способности поддерживать ионный гомеостаз. Вследствие этого границы ареала вида в низко минерализованных водоемах определяются минимальным содержанием различных ионов в воде, при котором возможно поддержание ионного баланса между организмом и средой (состояние полной компенсации потерь ионов за счет их транспорта в жабрах). Ранее нами [Martemyanov et al., 2024] представлены данные по пороговым концентрациям натрия, калия, кальция, магния в пресной воде, полученные для *D. polymorpha*. Показано, что выживание *D. polymorpha* зависит, главным образом, от концентрации ионов кальция в воде. Сравнительный анализ показал, что *D. polymorpha* не встречается в водоемах, где содержание ионов кальция в воде ниже пороговых значений.

Цель настоящей работы – выявить для *D. bugensis* пороговые (минимальные) концентрации натрия, калия, кальция, магния в пресной воде, которые необходимы для поддержания ионного баланса между организмом и средой. На основе сравнения данных по пороговым концентрациям и содержанию кальция в различных водоемах, оценить границы ареала в природных условиях и пути дальнейшего продвижения моллюсков в новые места обитания.

### Материал и методика

Друзы, содержащие в себе *D. polymorpha* и *D. bugensis*, собрали в октябре 2011 г. в месте слияния р. Сутка с р. Волга. Данный участок находится в зоне постоянного подпора со стороны Волжского плеса Рыбинского водохранилища. Содержание натрия, калия, кальция, магния в воде в зоне сбора дрейссен составило 0.24, 0.05, 1.62, 0.37 ммоль/л, соот-

ветственно. Друзы доставили в лабораторию и поместили в пластиковую ванну, размером 2×2 м, наполненную пресной водой с концентрацией натрия, калия, кальция, магния 0.38, 0.09, 1.48, 0.62 ммоль/л, соответственно. В дальнейшем дрейссены содержались в лабораторных условиях, и получали корм *Chlorella sp.* два раза в день *ad libitum*. Монокультуру водорослей выращивали на среде Tamiya/2 при постоянном светодиодном освещении и интенсивной аэрации. Моллюски акклиматизировались к лабораторным условиям в течение 3 недель.

После акклиматизации, в начале эксперимента 7 ноября 2011 года из ванны была извлечена большая друза. Бритвой срезали биссус для отделения моллюсков. *D. polymorpha* и *D. bugensis* являются близкими видами с ключевыми различиями в строении раковины. У *D. bugensis* нижний край раковины округлый, а килевая линия проходит посередине, тогда как у *D. polymorpha* низ широкий и плоский. По этим различиям определяли тот или иной вид. Каждая особь *D. bugensis* промывалась в дистиллированной воде. Остаточная влага на поверхности раковины удалялась фильтровальной бумагой. По одной особи помещалось в 10 пластиковых стаканов, наполненных по 0.25 л дистиллированной водой. Сразу после помещения отдельных моллюсков в индивидуальные емкости, а затем с 1-е по 16-е сутки ежедневно отбирали пробы воды и определяли содержание натрия, калия, кальция и магния методом пламенной спектрофотометрии. После каждого изъятия 3 мл воды из каждой емкости вместо нее добавляли такой же объем дистиллированной воды. Дистиллированную воду (pH = 7.2) получали методом фильтрации с использованием системы обратного осмоса «Practic Osmos Stream OUD600» (Toray Industries Inc., Япония) и дистилляционной системы ДЭ–25 (ООО «Завод Электромедоборудование», Россия). Дистиллированная вода аэрировалась на протяжении всего эксперимента. Температура воды в ходе экспериментов колебалась в пределах 14–15 °С. Физиологическое состояние каждой особи оценивали по ее способности поддерживать ионный баланс между организмом и окружающей средой на стабильном уровне. По окон-

чании эксперимента каждую особь извлекали из емкости, удаляли влагу с поверхности раковины фильтровальной бумагой и взвешивали на электронных лабораторных аналитических весах HR-150AZ (A&D Company, Limited, Токио, Япония). Масса моллюсков составила  $1.3 \pm 0.17$  г, а длина раковины находилась в пределах 24-29 мм.

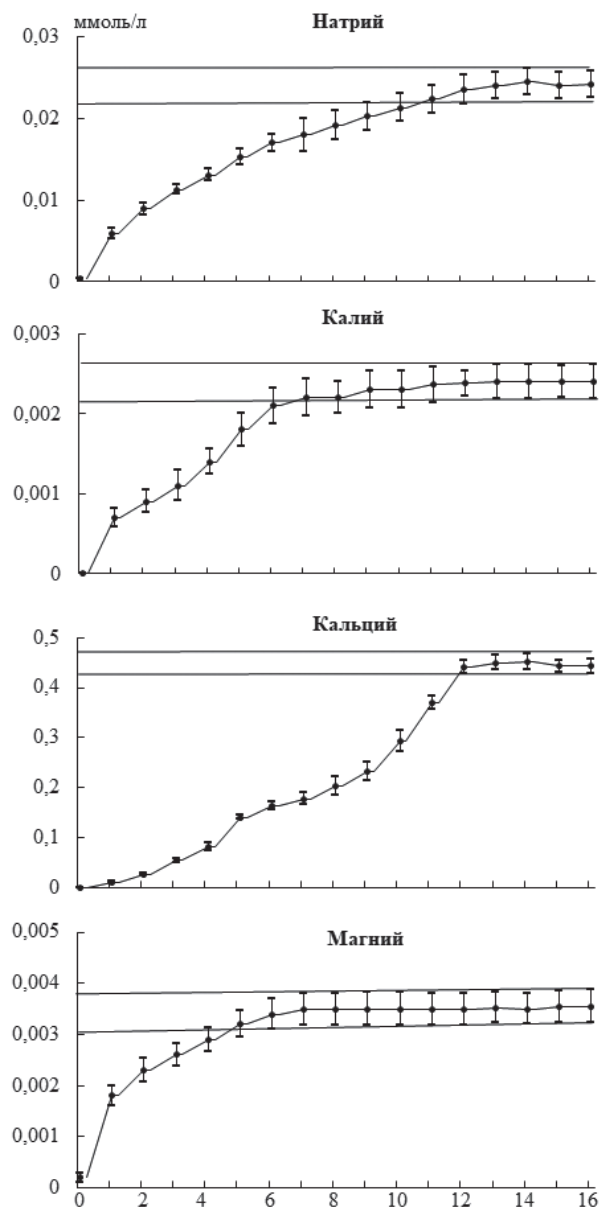
Концентрацию натрия и калия в пробах воды определяли в воздушно – пропановом пламени на спектрофотометре Flapho-4, фирмы CarlZeiss, Jena, Германия. Содержание кальция и магния определяли в воздушно – ацетиленовом пламени на атомно-абсорбционном спектрофотометре AAS-1, фирмы CarlZeiss, Jena, Германия. Концентрация катионов в пробах воды выражена в ммоль/л.

Данные обрабатывали статистически. Рассчитывали средние значения и их стандартные ошибки, используя программу Microsoft Excel software, 2010.

### Результаты

После помещения *D. bugensis* в дистиллированную воду, в течение первых 6-12 суток наблюдалось постепенное повышение концентрации ионов в воде (рис.), свидетельствуя об их утечке из организма. В ходе эксперимента содержание катионов в дистиллированной воде устанавливалось на определенных уровнях, которые удерживались в узкой зоне концентраций. Стабильное состояние содержания катионов в воде во времени указывает на достижение ионного баланса между организмом и средой. Для *D. bugensis* пороговые концентрации натрия, калия, кальция, магния в воде составили 0.022-0.026, 0.0021-0.0026, 0.43-0.47, 0.0032-0.0039 ммоль/л, соответственно (на рис. пороговые концентрации ограничены сплошными линиями относительно оси абсцисс).

Как показывают полученные данные, *D. bugensis* обладает наиболее высокой способностью поглощать ионы калия и магния из внешней среды. Пороговые концентрации ионов натрия на порядок выше по сравнению с таковыми для калия и магния. Хуже всего *D. bugensis* способна извлекать из воды ионы кальция. Пороговые концентрации ионов кальция в воде для *D. bugensis* выше по отно-



**Рис. 1.** Динамика содержания катионов в дистиллированной воде после посадки моллюсков в экспериментальные емкости. По оси абсцисс: время, сутки; ординат – содержание ионов в экспериментальной воде. Сплошные линии, параллельные относительно оси абсцисс, ограничивают пороговые концентрации ионов во внешней среде.

шению к калию в 188 раз, магнию в 129 раз, натрию в 19 раз. Таким образом, распространение *D. bugensis* в пресноводные водоемы зависит главным образом от содержания ионов кальция в воде.

### Обсуждение

Ранее нами представлены данные по предельно низким концентрациям ионов натрия, калия, кальция, магния в воде, которые необходимы для выживания *D. polymorpha*

[Martemyanov et al., 2024]. Сравнительный анализ показал, что *D. polymorpha* не встречается в водоемах, где содержание ионов кальция в воде ниже пороговых значений 0.33-0.38 ммоль/л. Задача этого исследования сопоставить наличие *D. bugensis* с содержанием ионов, главным образом, кальция, в воде различных водоемов.

### Каспийский бассейн

*D. bugensis* заселила устьевую зону (включая Северный Каспий) и каскад водохранилищ (Волгоградское, Саратовское, Куйбышевское, Чебоксарское, Горьковское, Рыбинское, Угличское, Ивановское) реки Волги [Orlova et al., 2004; Therriault et al., 2005; Shcherbina, Buckler, 2006; Pryanichnikova et al., 2011; Pavlova, 2012; Melnikova, Pryanichnikova, 2025]. Этот вид проник в реку Москву и Учинское водохранилище системы канала имени Москвы [Львова, 2004]. Концентрация кальция в воде Северного Каспия, устьевой зоны и каскаде водохранилищ реки Волги, а также системы канала имени Москвы (табл. 1) выше пороговых значений, полученных для *D. bugensis*.

Северной границей распространения *D. bugensis* является Рыбинское водохранилище [Orlova et al., 2004]. Северная часть Рыбинского водохранилища представлена Шекснинским плесом. Содержание ионов кальция в воде Шекснинского плеса (табл. 1) выше пороговых значений, полученных для *D. bugensis*. Единичные особи *D. bugensis* в этом плесе обнаружены в качественных сборах [Пряничникова, Перова, 2018]. Возможно увеличению плотности *D. bugensis* в Шекснинском плесе препятствует наличие токсических веществ, поступающих с промышленными и бытовыми сточными водами г. Череповец, крупного центра черной металлургии, химии и судостроения. Показано, что токсические вещества ухудшают физиологическое состояние двустворчатых моллюсков, в результате чего для поддержания ионного баланса между организмом и средой требуются более высокие концентрации ионов в воде [Martemyanov et al., 2021].

Река Шексна, вытекающая из озера Белое, образует Шекснинское водохранилище, ко-

торое связано с Волгой в зоне Шекснинского плеса Рыбинского водохранилища. Проникновение *D. bugensis* из Рыбинского в Шекснинское водохранилище технически возможно за счет судоходства. Однако, содержание ионов кальция в воде Шекснинского водохранилища (табл. 1) находится в зоне пороговых значений, что препятствует *D. bugensis* в будущем заселить этот водоем. Шекснинское водохранилище является водоразделом рек бассейнов трех морей Каспийского, Беломорского и Балтийского.

### Беломорский бассейн

Северо-Двинский канал связывает между собой Шекснинское водохранилище (Волго-Каспийский бассейн) с озером Кубенское (Беломорский бассейн). Кубенское озеро является истоком реки Сухона, притока реки Северная Двина, которая впадает в Белое море. Содержание ионов кальция в воде р. Северная Двина выше пороговых значений, полученных для *D. bugensis* (табл. 1), что делает вероятным вселение этого вида в этот водоем. Популяции *D. polymorpha* обнаружены в озере Кубенском [Sergeeva, 2008], реке Северная Двина и ее притоках – реках Юрас и Соломбалка [Travina et al., 2020].

### Балтийский бассейн

Мариинский канал связывает между собой реку Ковжа (Волго-Каспийский бассейн) с рекой Вытегра (Балтийский бассейн). На реке Вытегра расположено Вытегорское и Белоусовское водохранилище. Содержание ионов кальция в воде этих водохранилищ выше пороговых значений для *D. bugensis* (табл. 1). Поэтому, следует ожидать вселение *D. bugensis* в эти водоемы. В настоящее время в Белоусовском водохранилище обнаружена *D. polymorpha* [Sergeeva, 2008].

Река Вытегра впадает в Онежское озеро. Содержание ионов кальция в Онежском озере, речных и озерных систем Онежского бассейна и других водоемах Карелии, ниже пороговых значений, полученных для *D. bugensis* (табл. 1). Вселение *D. bugensis* в эти водоемы не возможно из-за низких концентраций ионов кальция в воде. Река Свирь берет начало в Онежском озере и впадает в Ладж-

**Таблица 1.** Концентрация катионов, ммоль/л, и распределение *D. polytompha* и *D. bigensis* в пресноводных водоемах бассейнов Каспийского, Белого, Балтийского и Северного морей

Водоем	Моллюски	Натрий	Калий	Кальций	Магний	Ссылка
Бассейн Каспийского моря						
Северный Каспий	●■	1.2	0.09	<b>1.15</b>	0.35	Наточин и др., 1975
устье Волги, тона «Мужичья»	●■	1.07	0.08	<b>0.72</b>	0.42	- <sup>4</sup> -
Саратовское водохранилище	●■	0.67-0.79	0.09-0.13	<b>1.08-1.13</b>	0.37-0.40	Цельмович, Отюкова, 2018
<i>Куйбышевское водохранилище</i>	●■	0.46-0.70	0.059-0.095	<b>1.11-1.27</b>	0.38-0.50	- <sup>4</sup> -
Куйбышевское водохранилище	●■	-	-	<b>1.08-1.13</b>	0.66-0.93	Уманская и др., 2011
Чебоксарское водохранилище	●■	0.26-0.92	0.044-0.103	<b>0.77-2.25</b>	0.40-0.85	Цельмович, Отюкова, 2018
Горьковское водохранилище	●■	0.20-0.40	0.036-0.069	<b>0.65-0.95</b>	0.36-0.43	- <sup>4</sup> -
Горьковское водохранилище, 12 станций	●■	0.15-0.33	0.026-0.058	<b>0.94-1.05</b>	0.45-0.49	Мартемьянов и др., неопуб.
Угличское водохранилище	●■	0.23-0.37	0.045-0.069	<b>1.03-1.30</b>	0.41-0.53	Цельмович, Отюкова, 2018
Угличское водохранилище, 4 станции	●■	0.16-0.19	0.090-0.277	<b>0.81-0.89</b>	0.33-0.37	Липагникова и др., 2020
Угличское водохранилище, 9 станций	●■	0.22-0.32	0.038-0.049	<b>1.35-1.47</b>	0.28-0.33	Мартемьянов и др., неопуб.
Иваньковское водохранилище	●■	0.24-0.32	0.044-0.056	<b>1.05-1.21</b>	0.42-0.55	Цельмович, Отюкова, 2018
Иваньковское водохранилище, 8 станций	●■	0.19-0.23	0.035-0.038	<b>1.35-1.55</b>	0.27-0.30	Мартемьянов и др., неопуб.
Канал имени Москвы, 6 станций	●■	0.17-0.33	0.051-0.487	<b>0.89-1.07</b>	0.33-0.45	Липагникова и др., 2020
Рыбинское водохранилище	●■	0.18-0.29	0.033-0.056	<b>0.76-1.24</b>	0.39-0.61	Цельмович, Отюкова, 2018
Рыбинское водохранилище, 6 станций	●■	0.10-0.26	0.02-0.05	<b>0.61-1.12</b>	0.31-0.48	Мартемьянов, 1994
Рыбинское водохранилище, 32 станции	●■	0.11-0.56	0.015-0.395	<b>0.92-2.80</b>	0.26-0.62	Мартемьянов и др., неопуб.
Рыбинское водохранилище, 5 станций	●■	0.10-0.15	0.023-0.082	<b>0.58-0.72</b>	0.28-0.31	Липагникова и др., 2020
Шекнинский плес, 3 станции	●■	0.10-0.18	0.02-0.04	<b>0.61-1.12</b>	0.30-0.41	Мартемьянов, 1994
Шекнинский плес, 7 станций	●■	0.11-0.56	0.015-0.133	<b>0.92-1.77</b>	0.26-0.60	Мартемьянов и др., неопуб.
Шекнинское водохранилище, 4 станции	□	0.06-0.07	0.021-0.023	0.39-0.53	0.21-0.24	Липагникова и др., 2020
Шекнинское водохранилище	□	0.06-0.08	0.018-0.020	0.38-0.44	0.15-0.23	Современное состояние..., 2003
Белое озеро	□	0.06-0.08	0.017-0.019	0.29-0.42	0.19-0.23	- <sup>4</sup> -
Беломорский бассейн						
р. Северная Двина, устьевая зона	●■	0.38-0.51	0.02-0.03	<b>0.92-1.12</b>	0.37-0.46	Travina et al., 2020
Бассейн Балтийского моря						
Вятегорское и Белоусовское в-ще, 2 станции	●■	0.08-0.10	0.023-0.038	<b>0.74-0.82</b>	0.29-0.31	Липагникова и др., 2020
оз. Онега, Карелия, 9 станций	□	0.08-0.11	0.018-0.036	0.14-0.16	0.08-0.10	- <sup>4</sup> -
оз. Онега, Петрозаводск, Карелия	□	0.10	0.015	0.15	0.09	Martemyanov, Mavrin, 2012

р. Шуя, бассейн оз. Онега	□	0.06	0.008	0.06	0.04	- <sup>4</sup> -
оз. Пряжа, бассейн оз. Онега	□	0.10	0.015	0.27	0.07	- <sup>4</sup> -
оз. Лижма, бассейн оз. Онега	□	0.10	0.01	0.04	0.03	- <sup>4</sup> -
оз. Урозеро, бассейн оз. Онега	□	0.10	0.01	0.10	0.07	- <sup>4</sup> -
р. Свирь, г. Лодейное Поле	□	0.10	0.013	0.17	0.09	- <sup>4</sup> -
р. Паша, левый приток р. Свирь	□	0.08	0.013	0.25	0.09	- <sup>4</sup> -
оз. Ладога	□	-	-	0.2-0.3	-	Ладога, 2013
р. Оять, левый приток р. Свирь	■	0.08	0.010	<b>0.80</b>	0.09	Martemyanov, Mavrin, 2012
р. Сясь, приток оз. Ладога	□	0.21	0.049	0.52	0.18	- <sup>4</sup> -
р. Волхов, приток оз. Ладога, 2 км от устья	■	0.30	0.061	<b>0.77</b>	0.19	- <sup>4</sup> -
р. Волхов, 2 км от истока, Великий Новгород	●?	0.02-0.14	0.028-0.054	<b>0.32-1.22</b>	0.16-0.60	Васильева, 2013
р. Нева, г. Санкт Петербург	●□	0.28	0.040	0.38	0.12	Мартемьянов, неопуб.
Чудско-Псковское озеро, бассейн р. Нарва	●■	0.26	0.05	<b>1.06</b>	0.57	Noges et al., 1996
Чудско-Псковское озеро, 30 станций	●■	0.11-0.35	0.013-0.077	<b>0.75-1.16</b>	0.20-0.43	Пихлак и др., 1987
р. Великая, приток Чудско-Псковского озера	●■	0.21-0.55	0.024-0.267	<b>0.96-1.27</b>	0.35-0.64	Тимофеев, Никольская, 2024
р. Виляя, приток р. Неман, Белоруссия	●■	-	-	<b>1.10-1.65</b>	0.71-1.01	Костоусов и др., 2020
оз. Нарочь, бассейн р. Виляя, Белоруссия	●■	-	-	<b>0.82</b>	-	Burlakova et al., 2006
оз. Мясстро, бассейн р. Виляя, Белоруссия	●■	-	-	<b>0.82</b>	-	- <sup>4</sup> -
оз. Баторино, бассейн р. Виляя, Белоруссия	●■	-	-	<b>1.07</b>	-	- <sup>4</sup> -
Куршский залив Балтийского моря	●■	0.50-0.73	0.08-0.11	<b>1.15-1.74</b>	0.57-0.96	Martemyanov, Markiyanova, 2018
р. Преголя, г. Калининград	●■	0.70-1.55	0.109-0.110	<b>2.15-3.04</b>	0.47-0.62	Мартемьянов, неопуб.
бассейн р. Лава, приток р. Преголя	●■	0.15-0.62	0.005-0.163	<b>1.17-2.04</b>	0.11-0.35	Glińska-Lewczuk, 2006
р. Висла, Польша	●■	-	-	<b>1.72-2.20</b>	0.45-0.87	Debska, Rutkowska, 2017
Гродзиск-Дужы в-ще, бассейн р. Висла	●■	0.40-0.41	-	<b>2.06-2.18</b>	0.55-0.59	Cymes, Glińska-Lewczuk, 2016
Выкротское в-ще, бассейн р. Висла	●■	0.28-0.30	-	<b>1.77-1.88</b>	0.29-0.31	- <sup>4</sup> -
Карвачское водохранилище, бассейн р. Одра	●■	0.32-0.34	-	<b>1.76-1.85</b>	0.41-0.44	- <sup>4</sup> -
Лойское водохранилище, бассейн р. Одра	●■	0.22-0.23	-	<b>1.22-1.30</b>	0.35-0.38	- <sup>4</sup> -
Щецинская лагуна, эстуарий р. Одра, Польша	●□	9.78-42.43	0.282-0.897	<b>1.55-2.75</b>	0.42-4.87	Poleszczuk et al., 2005
Озерно-речная система Польши	●■	-	-	<b>0.94-2.37</b>	0.19-0.53	Potasznik, Szymczyk, 2015
Бассейн Северного моря						
р. Рейн, Голландия	●□	1.13-8.17	0.097-0.256	<b>1.32-2.52</b>	0.36-0.60	Van der Weijden, Middelburg 1989
Большие реки, Голландия	●□	-	-	<b>0.88-2.30</b>	-	Matthews et al., 2014

Каналы, Голландия	●■	-	-	0.98-2.62	-	-	-
Озера, Голландия	●■	-	-	0.99-2.48	-	-	-
р. Мозель, приток Рейна, Франция	●■	2.90-5.33	0.119-0.613	3.74-5.42	0.47-1.20	Montargès-Pelletier et al., 2007	
р. Сена, Франция	■	0.08-0.60	0.017-0.092	1.97-2.5	-	Roy et al., 1999	
р. Уаза, правый приток Сены, Франция	●■	0.34	0.102	2.31	-	-	-
р. Вель, бассейн р. Сена, Франция	■	0.21-1.51	0.0026-0.17	1.50-2.81	0.029-0.65	Palais et al. 2011	
р. Ардре, приток реки Вель, Франция	■	0.30-0.46	0.19-0.58	2.40-3.15	0.83-1.08	-	-
р. Рейсбери, Великобритания	●■	-	-	2.29	-	Aldridge et al., 2014	
р. Шеннон, Ирландия	●■	0.26-0.43	0.028-0.062	0.65-1.94	0.11-0.25	Lyons et al., 2021	

● присутствие *D. polymorpha*; ■ присутствие *D. bugensis*; ■ возможное вселение *D. bugensis*; □ невозможность вселения *D. bugensis* в водоем; жирным шрифтом выделено содержание кальция в воде превышающие пороговые значения.

ское озеро. Содержание ионов кальция в воде реки Свирь, ее притока реки Паша, а также озера Ладога, ниже пороговых значений для *D. bugensis* (табл. 1), что делает невозможным вселение этого вида в эти водоемы.

Река Оять, исток которой начинается из озера Чаймозеро, является левым притоком реки Свирь. Вселение *D. bugensis* в реку Оять, является вероятным из-за достаточной для выживания концентрации ионов кальция в воде (табл. 1). Реки Сясь и Волхов являются притоками озера Ладога. Концентрация ионов кальция в воде устьевой зоны реки Сясь ниже, а реки Волхов выше пороговых значений полученных для *D. bugensis* (табл. 1). Следовательно, этот моллюск не может выживать в реке Сясь, но может в реке Волхов. Содержание кальция в воде реки Нева ниже пороговых значений полученных для *D. bugensis* (табл. 1), что делает невозможным вселение этого вида в данный водоем.

Река Нарва связана с Чудско-Псковским озером и Нарвским водохранилищем. Эта речная система заселена *D. polymorpha*. Содержание кальция в воде существенно превышает пороговые значения для *D. bugensis* (табл. 1), что обеспечивает благоприятные условия для ее вселения.

В систему озер Баторино, Мястро, Нарочь и Вилейское водохранилище бассейна реки Вилия вселилась *D. polymorpha*. Высокое содержание кальция в воде (табл. 1) создает необходимые условия для вселения *D. bugensis*. Вода Вилейского водохранилища используется для охлаждения реакторов Белорусской АЭС. Следует ожидать колонизации дрейсенидами системы охлаждения АЭС, что потребует существенных экономических затрат на технические мероприятия по очистке от моллюсков.

*D. polymorpha обитает* в Куршском и Вислинском заливах Балтийского моря, также речной системе Калининградской области, где концентрация кальция в воде существенно превышает пороговые значения (табл. 1) для *D. bugensis*, создавая благоприятные условия для ее вселения. Содержание кальция в озерно-речной системе Польши существенно превышает пороговые значения (табл. 1), что обеспечивает необходимые условия для

вселения *D. bugensis*. Наличие популяции этого вида зарегистрировано в эстуарии реки Одра (Woźniczka et al., 2016; Wawrzyniak-Wydrowska et al., 2019).

### **Бассейн Северного моря**

*D. bugensis* освоила различные озера, водохранилища, каналы и речные системы бассейна реки Рейн [Van der Velde, Platvoet, 2007; Schonenberg, Gittenberger, 2008; Imo et al., 2010; Bij de Vaate, 2010; Bij de Vaate, Beisel, 2011; Heiler et al., 2013; Matthews et al., 2014; De Ventura et al., 2017; Haltiner et al., 2022; Trunfio et al., 2023], и Маас [Marescaux et al., 2015]. *D. bugensis* вселилась в реку Уаза, правого притока реки Сены [Kerambrun et al., 2018]. Этот вид достиг реки Рейсбери в Великобритании [Aldridge et al., 2014], озер Лох-Ри, Лох-Дерг и водохранилища Партин, связанных с рекой Шеннон в Ирландии [Vaars et al., 2022; Flynn et al., 2023]. Содержание кальция в реках бассейна Северного моря существенно превышает пороговые значения для *D. bugensis* (табл. 1).

### **Бассейн Азовского моря**

*D. bugensis* обитает в Таганрогском заливе, системе рек нижнего Дона и его притока реки Маныч (Набоженко, Сон, 2011; Zhulidov et al., 2004, 2010, 2013; Son, 2007). Зона концентрации ионов кальция в воде реки Дон и его притоков Маныч и Северский Донец существенно выше пороговых значений для моллюсков (табл. 2). Следовательно, содержание ионов кальция в воде реки Дон и его притоков не оказывает лимитирующего влияния на этот вид.

### **Бассейн Черного моря**

В бассейне Днепра *D. bugensis* распространена в устьевой зоне, речной части, каскаде водохранилищ (Каховское, Запорожское, Каменское, Кременчугское, Каневское, Киевское) и притоков рек [Журавель, 1951; 1967; Дыга, Золотарева, 1976; Протасов, Силаева, 2010; Mills et al., 1996; Therriault et al., 2005; Son, 2007; Zhulidov et al., 2010; Protasov et al., 2017]. *D. bugensis* обнаружена в протоках дельты Днестра, ручьях, впадающих в Днестровский лиман, а также в основном

русле нижнего и среднего Днестра, включая Днестровское водохранилище [Therriault et al., 2005; Son, 2007]. Вселение *D. bugensis* зарегистрировано в дельте [Ляшенко и др., 2010], румынской [Pora, Pora, 2006], молдавской [Coadă et al., 2020], болгарской [Hubenov, Trichkova, 2007; Trichkova et al., 2013; 2022], венгерской [Szekeres et al., 2008], включая озеро Балатон [Balogh et al., 2018; 2023; Baldi et al., 2019], немецкой [Beggel et al., 2015] части Дуная и ряда его притоков и водохранилищ. На всем протяжении рек Днепр, Днестр и Дунай, а также их притоков и водохранилищ, уровень ионов кальция в воде существенно выше пороговых значений для *D. bugensis* (табл. 2), что позволяет виду осваивать бассейны этих рек.

### **Бассейн Средиземного моря**

*D. bugensis* совместно с *D. polymorpha* обнаружена в озерах Гарда [Salmaso et al., 2022; Ciutti et al., 2025], Маджоре и Лугано [Capelli et al., 2023] бассейна реки По, а также озере Вионоль, реках Сона и Рона [Prie, Fruget, 2017], включая озеро Женева [Haltiner et al., 2022; Reymondet et al., 2025]. Содержание кальция в воде речных систем бассейна Средиземного моря, выше пороговых значений для *D. bugensis* (табл. 2). Следует ожидать дальнейшее расселение *D. bugensis* в речной системе этого бассейна.

### **Северная Америка**

#### **Бассейн Атлантического океана**

Великие озера Северной Америки соединены между собой речными системами с выходом в Атлантический океан через реку Святого Лаврентия. Эта река вытекает из озера Онтарио и впадает в залив Святого Лаврентия Атлантического океана. Содержание кальция в разных частях реки Святого Лаврентия и ее притоков значительно различается. Бедные кальцием воды, берущие начало из рек, дренирующих Канадский щит, привели к полному отсутствию колонизации двух видов дрейссен в реке Оттава и вдоль северного берега реки Святого Лаврентия к востоку от Монреаля, несмотря на обилие подходящего субстрата [Mellina, Rasmussen, 1994; Jones, Ricciardi, 2005; Casper, Johnson, 2010]. Попу-

**Таблица 2.** Концентрация катионов, ммоль/л, и распределение *D. polytompha* (●) и *D. bigensis* (■) в речных системах Азовского, Черного и Средиземного моря

Водоём	Моллюски	Натрий	Калий	Кальций	Магний	Ссылка
Бассейн Азовского моря						
Системы Нижнего Дона	●■	-	-	<b>0.95-2.47</b>	-	Zhulidov et al., 2013
р. Маныч, приток реки Дон	●■	-	-	<b>2.60-3.35</b>	-	-
дельта р. Дон	●■	-	-	<b>2.41-8.62</b>	1.72-11.45	Магишов, и др., 2023
р. Дон, между Семикараорск и Волгодонск	●■	-	-	<b>1.10-1.60</b>	1.08-1.33	Магишов и др., 2016
Бассейн р. Маныч, 3 станции	●■	-	-	<b>2.10-5.40</b>	3.67-4.75	-
р. Северский Донец, приток Дона, 4 станции	■	-	-	<b>3.05-3.65</b>	2.04-2.87	-
Бассейн Черного моря						
Киевское водохранилище, р. Днепр	●■	-	-	<b>1.08-1.45</b>	0.30-0.71	Якушин и др., 2017
р. Горынь, приток р. Припять	■	-	-	<b>2.01-2.31</b>	-	Протасов и др., 2011
р. Виля, приток р. Горынь	■	-	-	<b>2.06-2.65</b>	-	-
р. Гнилой Рог, приток р. Виля	●■	-	-	<b>1.60-1.86</b>	-	-
р. Сож, приток Днепра, Белоруссия	■	0.07-0.20	0.020-0.037	<b>0.92-1.79</b>	0.30-0.53	Рассашко и др., 2008
р. Беседь, приток р. Сож, Белоруссия	■	0.14-0.20	0.031-0.086	<b>0.97-1.75</b>	0.27-0.33	-
р. Ведерня, приток р. Беседь, Белоруссия	■	0.09-0.15	0.006-0.057	<b>0.95-1.61</b>	0.18-0.25	-
р. Уза, приток р. Сож, Белоруссия	■	0.41-0.60	0.043-0.114	<b>0.92-1.87</b>	0.43-0.61	-
р. Ипуть, приток р. Сож, Белоруссия	■	0.12-0.30	0.018-0.044	<b>0.76-1.10</b>	0.15-0.23	-
р. Березина, приток Днепра, Белоруссия	■	0.26-0.60	0.016-0.094	<b>0.73-1.87</b>	0.39-0.60	-
р. Ведрич, приток Днепра, Белоруссия	■	0.34-0.41	0.007-0.027	<b>0.73-1.65</b>	0.33-0.41	-
р. Иппа, приток р. Припять, Белоруссия	■	0.17-0.28	0.009-0.017	<b>0.65-1.44</b>	0.22-0.38	-
р. Рэут, приток Днестра, Молдавия	■	-	-	<b>1.30-2.25</b>	2.53-4.25	Gladhia et al., 2013
р. Икель, приток Днестра, Молдавия	■	-	-	<b>1.45-2.50</b>	2.08-4.83	-
р. Бык, приток Днестра, Молдавия	■	-	-	<b>1.90-2.55</b>	1.29-2.74	-
р. Ботна, приток Днестра, Молдавия	■	-	-	<b>1.05-3.05</b>	0.66-6.58	-
р. Зологая Липа, приток Днестра, Украина	■	-	-	<b>2.37-2.59</b>	0.40-0.43	Khilchevskyi et al., 2024
р. Коропец, приток Днестра, Украина	■	-	-	<b>1.83-2.32</b>	0.45-0.48	-
р. Стрыпа, приток Днестра, Украина	■	-	-	<b>2.52-2.76</b>	0.69-0.80	-
р. Серет, приток Днестра, Украина	■	-	-	<b>1.80-3.01</b>	0.51-0.65	-
р. Ничлава, приток Днестра, Украина	■	-	-	<b>3.16-3.73</b>	0.73-0.89	-
р. Збруч, приток Днестра, Украина	■	-	-	<b>2.32-2.78</b>	59-0.78	-

В-ще Огоста, бассейн Дуная, Болгария	●■	-	-	0.80	-	Trichkova et al. 2008
В-ще Аспарухов Вал, -"	●■	-	-	3.71	-	Kozuharov et al. 2013
р. Драва, приток Дуная, Хорватия	●■	-	-	0.96-1.16	-	Lajtner et al. 2004
В-ще Дубрава, р. Драва, Хорватия	●■	-	-	0.80-1.20	-	-"
р. Дунай, Венгрия, 7 станций	●■	0.66-0.73	0.064-0.070	1.33-1.36	0.60-0.67	Saeed et al., 2024
Озеро Балатон, бассейн Дуная, Венгрия	●■	-	-	0.91-1.18	-	Baldi et al. 2019
Бассейн Средиземного моря						
Пчелинское в-ще, р. Струма Болгария	●■	1.98	0.127	1.15	1.09	Kozuharov et al. 2009
Изворское в-ще, бассейн р. Струма, Болгария	●■	0.37	0.043	1.35	0.53	-"
Горна Диканья в-ще, бассейн р. Струма	●■	0.53	0.032	0.83	0.93	-"
Стойковецкое в-ще, бассейн р. Струма	●■	0.37	0.050	0.75	0.43	-"
Озеро Лугано, бассейн реки По, Италия	●■	0.12	0.031	0.91-0.95	0.38-0.39	Rogora et al. 2015
Озеро Лугано, бассейн реки По, Италия	●■	0.07-0.23	0.028-0.036	0.87-0.99	0.33-0.35	Barbieri, Mosello, 1992
Озеро Гарда, бассейн р. По, Италия	●■	0.15-0.18	0.025-0.028	0.82-0.85	0.34-0.35	Rogora et al. 2015
Озеро Гарда, бассейн р. По, Италия	●■	0.15-0.16	0.030	0.70-0.98	0.33-0.34	Salmasso et al., 1997
Озеро Женева, бассейн р. Роны	●■	-	-	0.95-1.08	0.21-0.23	Escoffier et al., 2022

● присутствие *D. polymorpha*; ■ присутствие *D. bugensis*; ■ возможное вселение *D. bugensis*; □ невозможность вселения *D. bugensis*; □ невозможность вселения *D. bugensis* в водоем; жирным шрифтом выделено содержание кальция в воде превышающие пороговые значения.

ляции двух видов дрейссен были обнаружены по всей длине реки Святого Лаврентия от истока (озеро Онтарио) до р. Оттава [Casper, Johnson, 2010; Baldwin et al., 2012] и вдоль южного побережья ниже реки Оттавы [Jones, Ricciardi, 2005], где концентрация кальция в воде превышает пороговые значения (табл. 3). Два вида дрейссен вселились в канал Суланж, вода в который поступает из верхней части р. Св. Лаврентия [Ricciardi, Whoriskey, 2004].

*D. bugensis* колонизировала различные районы озера Онтарио [Mills et al., 1996; 1999; Wilson et al., 2006], озера Эри [Mills et al., 1996; 1999; Claxton, Mackie, 1998; Stoeckmann, 2003; Zhang et al., 2011], озера Мичиган [Peyer et al., 2009; Nalera et al., 2010; Zalusky et al., 2023], озера Гурон [Zalusky et al., 2023] и озера Симко [Ginn et al., 2018], где содержание кальция в воде превышает пороговые значения (табл. 3).

Содержание кальция в воде озера Верхнее (табл. 3) и озера Ладожское (табл. 1) соответствует пороговым значениям, полученным нами для *D. polymorpha* [Martemyanov et al., 2024] и ниже для *D. bugensis* (рис.). Эта ситуация не позволяет обоим видам дрейссен осваивать данные озера. Однако *D. polymorpha* и *D. bugensis* могут колонизировать притоки рек, впадающих в Ладожское и Верхнее озера, где содержание кальция в воде превышает пороговые значения. Совместные колонии *D. polymorpha* и *D. bugensis* обнаружены в устьевой зоне реки Сент-Луис, впадающей в озеро Верхнее [Grigorovich et al., 2008a].

Водные пути в Соединенных Штатах представляют собой сеть взаимосвязанных рек, которые поддерживают регулярное движение коммерческих и вспомогательных судов. Вследствие этого, речные системы подвергаются чрезвычайно высокому риску вселения как *D. polymorpha* так и *D. bugensis*.

**Таблица 3.** Концентрация калия, натрия, кальция, магния, в воде и распределение *D. robusta* (●) и *D. bigensis* (■) в речных системах Северной Америки

Водоем	моллюски	Натрий	Калий	Кальций	Магний	Источник
Бассейн Атлантического океана						
р. Оттава, северное побережье р. Св. Лаврентия	○□	-	-	0.20-0.35	-	Mellina, Rasmussen, 1994
р. Оттава, северное побережье р. Св. Лаврентия	○□	-	-	0.19-0.26	-	Jones, Ricciardi, 2005
Южная сторона р. Св. Лаврентия ниже р. Оттавы	●■	-	-	0.41-0.94	-	Mellina, Rasmussen, 1994
Южная сторона р. Св. Лаврентия ниже р. Оттавы	●■	-	-	0.61-0.71	-	Jones, Ricciardi, 2005
р. Св. Лаврентия от истока до р. Оттава	●■	-	-	0.56-0.77	-	-
р. Св. Лаврентия от истока до р. Оттава	●■	0.43	-	0.90	-	Casper, Johnson, 2010
р. Св. Лаврентия от истока до р. Оттава	●■	-	-	0.64-0.83	-	Baldwin et al., 2012
Канал Суланж, бассейн р. Св. Лаврентия	●■	-	-	0.59-0.68	-	Ricciardi, Whoriskey, 2004
Озеро Онтарио	●■	0.50-0.55	0.036-0.038	0.84-1.03	0.32-0.36	Chapra et al., 2012
Озеро Эри	●■	0.32-0.52	0.027-0.038	0.77-0.98	0.31-0.39	-
Озеро Мичиган	●■	0.36-0.48	0.044-0.085	0.95-2.25	0.46-1.00	Kolak, Long, 2024
Река Сент-Джозеф, бассейн озера Мичиган	●■	-	-	2.4-6.7	-	Horvath et al., 1996
Озеро Гурон	●■	0.13-0.17	0.019-0.026	0.6-0.74	0.27-0.32	Chapra et al., 2012
Озеро Симко, бассейн озера Гурон	●■	1.07	-	1.11	-	Ginn et al., 2018
Озеро Верхнее	○□	0.05-0.06	0.01-0.013	0.32-0.34	0.10-0.12	Chapra et al., 2012
Река Миссисипи, США	●■	-	-	0.95-1.55	0.50-0.99	Allen, Ramcharan, 2001
Река Иллинойс, приток реки Миссисипи	●■	-	-	1.57-1.67	1.02-1.12	-
Река Миссури, приток реки Миссисипи	●■	-	-	1.35-1.62	0.72-1.0	-
Река Саут-Платт, бассейн реки Миссури	■	1.35-11.3	0.069-0.282	1.02-6.50	0.54-6.25	Mueller, 1990
Река Огайо, приток реки Миссисипи	●■	-	-	0.82-0.92	0.37-0.42	Allen, Ramcharan, 2001
Река Аллегейни, приток реки Огайо	●■	-	-	0.62	0.28	-
Река Моногахела, приток реки Огайо	●■	-	-	0.82	0.35	-
Река Канава, приток реки Огайо	●□	-	-	0.4	0.22	-
Река Кентукки, приток реки Огайо	●■	-	-	0.95	0.35	-
Река Теннесси, приток реки Огайо	●?	-	-	0.47-0.50	0.15-0.20	-
Река Агчафалая, приток реки Миссисипи	●■	-	-	0.77-0.87	0.40-0.45	-
Река Арканзас, приток реки Миссисипи	●■	-	-	0.77-1.12	0.31-0.34	-
Река Уайт, приток реки Миссисипи	■	-	-	0.70-0.82	0.47-0.57	-
Ред-Ривер, приток реки Миссисипи	■	-	-	0.70-1.15	0.31-0.53	-

Река Уошита, приток реки Ред-Ривер	○□	-	-	0.18-0.23	0.06-0.09	- <sup>4</sup>
Река Язу, приток реки Миссисипи	○□	-	-	0.26	0.15	- <sup>4</sup>
Канал Теннесси–Томбигби	○□	-	-	0.38-0.39	0.06-0.12	- <sup>4</sup>
Река Блэк-Уорриор, приток реки Томбигби	○□	-	-	0.29	0.25	- <sup>4</sup>
Река Алабама, сливается с рекой Томбигби	○□	-	-	0.23-0.30	0.11-0.12	- <sup>4</sup>
Река Гудзон	●□	-	-	<b>0.68</b>	-	Strayer, Malcom, 2007
Река Гудзон, эстуарий	●□	-	-	<b>0.55-0.75</b>	-	Strayer et al., 1996
Бассейн Тихого океана						
Бассейн реки Рио-Гранде, США и Мексика	■	0.39-19.2	0.033-0.254	<b>1.27-4.05</b>	0.29-2.12	Yuan, Miyamoto, 2004
Река Колорадо, Лиис-Ферри, Аризона	■	2.43-6.17	0.072-0.167	<b>1.5-2.9</b>	0.79-1.62	Irelan, 1971
Река Колорадо, Гранд-Каньон, Северная Аризона	●□	2.61-7.43	0.100-0.185	<b>1.65-2.87</b>	0.79-1.62	- <sup>4</sup>
Река Колорадо ниже плотины Гувера	●□	3.52-5.09	0.100-0.156	<b>1.95-2.75</b>	0.96-1.33	- <sup>4</sup>
Озеро Хавасу, река Колорадо	●□	3.61-5.26	0.110-0.151	<b>1.87-2.70</b>	1.00-1.42	- <sup>4</sup>
Озеро Империял, река Колорадо	●□	3.83-6.52	0.074-0.164	<b>2.07-2.75</b>	1.04-1.42	- <sup>4</sup>
Озеро Мид, река Колорадо	●□	4.00-5.74	0.097-0.126	<b>1.90-2.65</b>	0.67-1.11	Moran et al., 2015
Озеро Мид, река Колорадо	●□	3.63-3.95	-	<b>1.22-1.52</b>	0.99-1.08	Seitz et al., 2023
Река Санта Клара	●□	2.26-10.43	0.077-0.131	<b>2.02-5.75</b>	1.25-3.33	Reichard et al., 1999
Река Санта-Маргарита	●□	3.09-3.96	0.041-0.061	<b>0.92-1.40</b>	0.62-0.96	WATER..., 2025
Озеро Скиннер, река Санта-Маргарита	●□	3.96-4.13	0.118-0.126	<b>1.52-1.55</b>	0.92-0.96	- <sup>4</sup>

●присутствие *D. robustiora*; ■присутствие *D. bugensis*; □возможное вселение *D. bugensis*; □невозможность вселения *D. bugensis*; жирным шрифтом выделено содержание кальция в воде превышающие пороговые значения.

Великие озера связаны через Иллинойс–Мичиганский канал с бассейном реки Миссисипи, а через канал Эри с рекой Гудзон.

Оба вида дрейссен обнаружены в реке Миссисипи [Grigorovich et al., 2008b], водохранилищах Пепин на реке Миссисипи [Sepulveda et al., 2019], Тибр [Sepulveda et al., 2019], Суитуотер [Wong et al., 2013] бассейна реки Миссури, притоках Иллинойс [Cranberg, Keller, 2020] и Огайо [Grigorovich et al., 2008b], а также в средней части [Marshall, Stepien, 2021] и устьевой зоне [Strayer et al., 2020] реки Гудзон, где концентрация кальция в воде выше пороговых значений. В водоемах, где содержание кальция ниже или равно пороговым значениям, моллюски отсутствуют (табл. 3).

### Бассейн Тихого океана

*D. bugensis* заселила многие участки реки Колорадо [Benson et al., 2025], озера расположенные на этой реке Мид [Cross et al., 2010; McMahon, 2011; Muetting et al., 2011; Choi et al., 2013; Seitz et al., 2023], Мохаве [McMahon, 2011], Коппер Бейсин, Мэтьюз [Reid et al., 2010], Хавасу, Империял, реки Санта Клара, Сан-Диего, Сан-Гейбриел, Санта-Маргарита, озеро Скиннер на реке Санта-Маргарита [Benson et al., 2025], озеро Эль-Карризо, бассейна реки Тихуана [Wakida-Kusunoki et al., 2015]. Содержание кальция в воде этих водоемов существенно выше пороговых значений, полученных для *D. bugensis*.

## Заключение

Пороговые концентрации натрия, калия, кальция, магния в воде, необходимые для поддержания ионного баланса между организмом *D. bugensis* и пресной водой, составляют 0.022–0.026, 0.0021–0.0026, 0.43–0.47 и 0.0032–0.0039 ммоль/л, соответственно. Ранее были представлены данные, что минимальные концентрации натрия, калия, кальция, магния в воде, необходимые для поддержания баланса между организмом *D. polymorpha* и средой, составляют 0.015–0.018, 0.0021–0.0025, 0.34–0.38, 0.0032–0.0039 ммоль/л, соответственно. По сравнению с *D. polymorpha*, для выживания *D. bugensis* требуются несколько более высокие концентрации ионов натрия и кальция в воде. Сравнительный анализ показал, что оба вида дрейссен независимо от региона и бассейна не встречаются в водоемах, где содержание ионов кальция в воде ниже пороговых значений. Пороговые концентрации кальция в воде определяют нижнюю границу ареала распространения дрейссен в пресноводных водоемах. Для оценки возможного масштаба дальнейшего распространения дрейссен необходимо определить диапазоны содержания ионов, главным образом кальция, в разных пресноводных водоемах. Ожидается, что в любом бассейне и регионе моллюски будут осваивать преимущественно те водоемы, где уровень кальция в воде выше пороговых значений и не смогут вселяться в водоемы с содержанием кальция ниже пороговых значений. Наши данные позволяют рекомендовать строительство тепловых и атомных электростанций вблизи водоемов, где концентрация кальция в воде ниже пороговых значений.

## Финансирование работы

Настоящее исследование выполнено в рамках государственного задания по теме № 124032500016-4.

## Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

## Соблюдение этических стандартов

Обращение с животными проводилось в соответствии с Руководством Национальных

институтов здравоохранения по уходу и использованию лабораторных животных (<http://oacu.od.nih.gov/regs/index.htm>). Протоколы использования животных были одобрены Комитетом по биоэтике Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН (Протокол № 07 от 10 марта 2022 г.).

## Литература

- Васильева Н.В. Современное состояние водных объектов Великого Новгорода // Водное хозяйство России. 2013. № 4. С. 32–45.
- 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 // Биология внутренних вод. 2005. № 3. С. 74–78.
- Дыга А.Т., Золотарева В.И. Биология *Dreissena bugensis* из Запорожского водохранилища и его роль в самоочищении воды // Тр. 3-го Всесоюз. совещ. Гидробиол. об-ва. Рига. 1976. С. 237–240.
- Журавель П.А. О *Dreissena bugensis* (Mollusca) из системы Днепра и недавнем ее появлении в Днепровском водохранилище // Зоол. журн. 1951. Т. 30. № 2. С. 186–188.
- Журавель П.А. Образование новых очагов фауны лиманно-каспийского комплекса в водоемах различных климатических зон СССР // Зоол. журн. 1967. Т. 46. № 8. С. 1152–1162.
- Костоусов В.Г., Баран Т.Л., Попиначенко Т.И., Сенникова В.Д. Оценка гидроэкологического состояния участка реки Виля в зоне строительства Белорусской АЭС // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. 2020. № 36. С. 146–158.
- Ладога / под ред. В.А. Румянцева, С.А. Кондратьева. Санкт-Петербург: Институт озерадения РАН, 2013. 568 с. <http://ladoga-lake.ru/pages/artcl-ladoga-ladoga-ran.php>
- Липатникова О.А., Лубкова Т.Н., Хавина Е.М. Гидрохимическая характеристика водных объектов канала имени Москвы и Волго-Балтийской системы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2020. № 6. С. 69–76.
- Львова А.А. О проникновении *Dreissena bugensis* (Bivalvia, Dreissenidae) в Учинское водохранилище (Московская обл.) и реку Москву // Зоологический журнал. 2004. Т. 83. № 6. С. 766–768.
- Ляшенко А.В., Зорина-Сахарова Е.Е., Маковский В.В. Дрейссена бугская (*Dreissena bugensis* Andr., Mollusca, Bivalvia) в Килийской дельте Дуная // Гидробиол. журн. 2010. Т. 46. № 1. С. 117–120.
- Мартемьянов В.И. Содержание катионов в плазме, эритроцитах, мышечной ткани леща отловленного из разных участков Рыбинского водохранилища // Вопр. ихтиологии. 1994. Т. 34. № 5. С. 727–731.
- Мартемьянов В.И. Содержание воды и катионов в различных тканях двустворчатых моллюсков, обитаю-

- щих в Волжском плесе Рыбинского водохранилища // Журн. эвол. биохимии и физиологии. 1996. Т. 32. № 2. С. 151–155.
- Матишов Г.Г., Григоренко К.С. Качество питьевой воды дельты Дона в условиях маловодья // Доклады РАН. Науки о Земле. 2023. Т. 512. № 2. С. 320–331. DOI: 10.31857/S2686739723601151
- Матишов Г.Г., Степаньян О.В., Харьковский В.М. и др. Особенности водной экосистемы Нижнего Дона в позднеосенний период // Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 6. С. 620–632.
- Современное состояние экосистемы Шекснинского водохранилища / под ред. А.С. Литвинова. Ярославль, 2002. 367 с.
- Набоженко М.В., Сон М.О. Особенности распределения *Dreissena bugensis* (Andrusov, 1897) (Mollusca: Bivalvia: Dreissenidae) в низовьях Дона, Волги и в Таганрогском заливе Азовского моря // Азовское море, Керченский пролив и предпроливные зоны в Чёрном море: проблемы управления прибрежными территориями для обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования / Ред. Г.Г. Матишов, В.А. Иванов; ЮИЦ РАН: Ростов-на-Дону, 2011; С. 191–197.
- Наточин Ю.В., Лукьяненко В.И., Лаврова Е.А., Металлов Г.Ф. Катионы сыворотки крови осетровых в морской и речной периоды жизни // Вопр. ихтиологии. 1975. Т. 15. № 5. С. 890–895.
- Пихлак А., Маремья Э., Линдпере А., Милиус А., Стараст Х. Гидрохимическое состояние вод Псковско-Чудского озера в июне 1985 г. // Известия Академии Наук Эстонской ССР. Биология. 1987. Т. 36. № 2. С. 133–145. <https://doi.org/10.3176/biol.1987.2.05>
- Протасов А.А., Силаева А.А. Данные об инвазии и совместном обитании видов-вселенцев в водоемах бассейна Днепра // Российский Журнал Биологических Инвазий. 2010. № 1. С. 31–36.
- Протасов А.А., Семенченко В.П., Силаева А.А. и др. Техно-экосистема АЭС. Гидробиология, абиотические факторы, экологические оценки / Под ред. А.А. Протасова. Киев: Институт гидробиологии НАН Украины, 2011. 234 с.
- Пряничникова Е.Г., Перова С.Н. Дрейссениды волжских водохранилищ // Волга и ее жизнь: сборник тезисов докладов Всероссийской конференции / Ин-т биологии внутр. вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, Россия, 22–26 октября 2018 г. Филигрань: Ярославль, Россия, 2018. С. 106.
- Рассашко И.Ф., Собченко В.А., Гончаренко Г.Г., Ковалева О.В., Дроздова Н.И., Горнасталев А.А. Гидроэкологическое состояние рек бассейна Днепра (в пределах Гомельской области). Гомель: УО «ГТУ им. Ф.Скорины», 2008. 124 с.
- Тимофеев И.В., Никольская Л.В. Комплексный мониторинг качества воды устья реки Великой (Псковская область) по ряду гидрохимических и гидробиологических показателей // Самарский научный вестник. 2024. Т. 13. № 2. С. 81–87. DOI: 10.55355/snvn2024132109
- Уманская М.В., Краснова Е.С., Горбунов М.Ю. Химический состав воды и трофический статус прибрежных участков водохранилищ Камского каскада в 2009 г. // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2011. Т. 20. № 3. С. 39–49.
- Цельмович О.Л., Отюкова Н.Г. Содержание железа и главных компонентов солевого состава в воде волжских водохранилищ в период открытой воды 2015 года // Труды ИБВВ РАН. 2018. Вып. 81. С. 7–14. DOI 10.24411/0320-3557-2018-1-0001
- Якушин В.М., Щербак В.И., Семенюк Н.Е., Линчук М.И. Гидрохимическая характеристика Киевского водохранилища на современном этапе его существования // Гидробиол. журн. 2017. Т. 53. № 4. С. 105–120.
- Aldridge D.C., Ho S., Froufe E. The Ponto-Caspian quagga mussel, *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov, 1897) invades Great Britain // Aquatic Invasions. 2014. V. 9. № 4. P. 529–535. <https://doi.org/10.3391/ai.2014.9.4.11>
- Allen Y.C., Ramchran C.W. *Dreissena* distribution in commercial waterways of the U.S.: using failed invasions to identify limiting factors // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 2001. V. 58. № 5. P. 898–907. <https://doi.org/10.1139/f01-043>
- Baars J.-R., Caplice M.B., Flynn O., O’Leary K., Swanwick H., Minchin D. The Ponto-Caspian quagga mussel, *Dreissena rostriformis bugensis* Andrusov, 1897, is established in Ireland // BioInvasions Records. 2022. V. 11. № 1. P. 173–180. <https://doi.org/10.3391/bir.2022.11.1.17>
- Baldi K., Balogh C., Sztano O. et al. Sediment contributing invasive dreissenid species in a calcareous shallow lake – Possible implications for shortening life span of lakes by filling // Elementa. 2019. V. 7: 42. <https://doi.org/10.1525/elementa.380>
- Baldwin B.S., Carpenter M., Rury K., Woodward E. Low dissolved ions may limit secondary invasion of inland waters by exotic round gobies and dreissenid mussels in North America // Biol. Invasions. 2012. V. 14. P. 1157–1175. DOI 10.1007/s10530-011-0146-0
- Balogh C., Kobak J., N. Farago, Serfozo Z. Competition between two congener invaders: Food conditions drive the success of the quagga over zebra mussel in a large shallow lake // Freshwater Biology. 2023. V. 68. № 11. P. 1963–1980. <https://doi.org/10.1111/fwb.14168>
- Balogh C., Vlacilova A., Laszlo G.T., Serfozo Z. Dreissenid colonization during the initial invasion of the quagga mussel in the largest Central European shallow lake, Lake Balaton, Hungary // J. Great Lakes Res. 2018. V. 44. № 1. P. 114–125. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2017.11.007>
- Barbieri A., Mosello R. Chemistry and trophic evolution of Lake Lugano in relation to nutrient budget // Aquatic Sciences. 1992. V. 54. № 3-4. P. 219–237.
- Beggel S., Cerwenka A.F., Brandner J., Geist J. Shell morphological versus genetic identification of quagga mussel (*Dreissena bugensis*) and zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) // Aquat. Invasions. 2015. V. 10. № 1. P. 93–99. <http://dx.doi.org/10.3391/ai.2015.10.1.09>
- Benson A.J., Richerson M.M., Maynard E., Larson J., Fusaro A., Bogdanoff A.K., Neilson M.E., Elgin A. *Dreissena rostriformis bugensis* Andrusov, 1897: U.S. Geological Survey, Nonindigenous Aquatic Species Database,

- Gainesville, FL, 2025. <https://nas.er.usgs.gov/queries/FactSheet.aspx?speciesID=95>, Revision Date: 9/7/2023, Access Date: 11/25/2025
- Bij de Vaate A. Some evidence for ballast water transport being the vector of the quagga mussel (*Dreissena rostriformis bugensis* Andrusov 1897) introduction into Western Europe and subsequent upstream dispersal in the River Rhine // *Aquat Invasions* 2010. V. 5. № 2. P. 207–209. doi: 10.3391/ai.2010.5.2.13
- Bij de Vaate A., Beisel J.N. Range expansion of the quagga mussel (*Dreissena rostriformis bugensis* Andrusov 1897) in Western Europe: first observation from France // *Aquat Invasions* 2011. V. 6. № 1. P. 71–74. doi: 10.3391/ai.2011.6.S1.016
- Burlakova L.E., Karatayev A.Y., Padilla D.K. Changes in the distribution and abundance of *Dreissena polymorpha* within lakes through time // *Hydrobiologia*. 2006. V. 571. P. 133–146. DOI 10.1007/s10750-006-0234-9
- Capelli C, Mauri F, Pianta E, Rotta F, Lepori F. Environmental DNA survey indicates arrival of quagga mussel in Ticino River basin // *J. Limnol.* 2023. V. 82:2105. DOI: 10.4081/jlimnol.2023.2105
- Casper A.F., Johnson L.E. Contrasting shell/tissue characteristics of *Dreissena polymorpha* and *Dreissena bugensis* in relation to environmental heterogeneity in the St. Lawrence River // *J. Great Lakes Res.* 2010. V. 36. № 1. P. 184–189. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2009.10.001>
- Chapra S.C., Dove A., Warren G.J. Long-term trends of Great Lakes major ion chemistry // *J. Great Lakes Research.* 2012. V. 38. P. 550–560, doi:10.1016/j.jglr.2012.06.010
- Choi W.J., Gerstenberger S., McMahon R.F., Wong W.H. Estimating survival rates of quagga mussel (*Dreissena rostriformis bugensis*) veliger larvae under summer and autumn temperature regimes in residual water of trailered watercraft at Lake Mead, USA // *Management of Biological Invasions.* 2013. V. 4. P. 61–69. <https://doi.org/10.3391/mbi.2013.4.1.08>
- Ciutti F., Bonacina L., Chemello A. et al. The quagga mussel (*Dreissena bugensis*) south of the Alps: an ongoing biological invasion in Lake Garda // *Aquat. Ecol.* 2025. <https://doi.org/10.1007/s10452-025-10232-8>
- Claxton W.T., Mackie G.L. Seasonal and depth variations in gametogenesis and spawning of *Dreissena polymorpha* and *Dreissena bugensis* in eastern Lake Erie // *Can. J. Zool.* 1998. V. 76. № 1. P. 2010–2019. <https://doi.org/10.1139/z98-150>
- Coada V., Tiganas A., Gitu A. Invasive species in the malacofauna aquatic (Mollusca, Gastropoda, Bivalvia) of the Republic of Moldova // *Acta et Commentationes, Exact and Natural Sciences.* 2020. V. 9. № 1. P. 24–29. DOI: 10.36120/2587-3644.v9i1.24-29
- Cranberg C., Keller R. Illinois Database of Aquatic Non-native Species // School of Environmental Sustainability, Loyola University Chicago. 2020.
- Cross C.L., Wong W.H., Che T.D. Estimating carrying capacity of quagga mussels (*Dreissena rostriformis bugensis*) in a natural system: A case study of the Boulder Basin of Lake // *Aquatic Invasions.* 2010. V. 6. P. 141–147. <https://doi.org/10.3391/ai.2011.6.2.03>
- Cymes I., Glińska-Lewczuk K. The use of Water Quality Indices (WQI and SAR) for multipurpose assessment of water in dam reservoirs // *J. Elem.* 2016. V. 21. P. 1211–1224. doi: 10.5601/jelem.2016.21.2.1200
- Debska K., Rutkowska B. Changes of water pollution dynamics in Vistula river on Warsaw city area // *Nr II/2/2017, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie*, s. 849–861. <http://dx.medra.org/10.14597/infracco.2017.2.2.066>
- De Ventura L., Kopp K., Seppala K., Jokela J. Tracing the quagga mussel invasion along the Rhine river system using eDNA markers: early detection and surveillance of invasive zebra and quagga mussels // *Management of Biological Invasions.* 2017. V. 8. № 1. P. 101–112. <https://doi.org/10.3391/mbi.2017.8.1.10>
- Dietz T.H., Lessard D., Silverman H., Lynn J.W. Osmoregulation in *Dreissena polymorpha*: the importance of Na, Cl, K, and particularly Mg // *Biol. Bull.* 1994. V. 187. № 1. P. 76–83. <https://doi.org/10.2307/1542167>
- Dietz T.H., Wilcox S.J., Byrne R.A., Silverman H. Effects of hyperosmotic challenge on the freshwater bivalve, *Dreissena polymorpha*: importance of K // *Can. J. Zool.* 1997. V. 75. № 5. P. 697–705. <https://doi.org/10.1139/z97-090>
- Escoffier N., Perolo P., Lambert T. et al. Whiting events in a large peri-alpine lake: Evidence of a catchment-scale process // *J. Geophys. Res., Biogeosciences.* 2022. V. 127: e2022JG006823. <https://doi.org/10.1029/2022JG006823>
- Flynn O., Minchin D., Caplice M.B. et al. Early stage of invasion of the quagga mussel (*Dreissena rostriformis bugensis*) within the interconnected lakes Lough Ree and Lough Derg of the Shannon River system, Ireland // *Aquatic Invasions.* 2023. V. 18. № 4. P. 473–486. <https://doi.org/10.3391/ai.2023.18.4.111650>
- Ginn B.K., Bolton R., Coulombe D. et al. Quantifying a shift in benthic dominance from zebra (*Dreissena polymorpha*) to quagga (*Dreissena rostriformis bugensis*) mussels in a large, inland lake // *J. Great Lakes Res.* 2018. V. 44. № 2. P. 271–282. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2017.12.003>
- Gładchia V., Ducab G., Goreaceva N., Bunduchia E., Lis A. Chemical composition from the Dniester river tributaries // *J. Mold.* 2013. V. 8. № 1. P. 23–32.
- Glińska-Lewczuk K. Effect of land use and lake presence on chemical diversity of the Lyna River system // *Polish J. Environ. Stud.* 2006. V. 15. № 2. P. 259–269.
- Grigorovich I.A., Angradi T.R., Stepien C.A. Occurrence of the quagga mussel (*Dreissena bugensis*) and the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in the Upper Mississippi River System // *J. Freshw. Ecol.* 2008b. V. 23. P. 429–435. <https://doi.org/10.1080/02705060.2008.9664220>
- Grigorovich I.A., Kelly J.R., Darling J.A., West C.W. The Quagga mussel invades the Lake Superior Basin // *J. Great Lakes Res.* 2008a. V. 34. № 2. P. 342–350. [https://doi.org/10.3394/0380-1330\(2008\)34\[342:TQ MITL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3394/0380-1330(2008)34[342:TQ MITL]2.0.CO;2)
- Haltiner L, Zhang H, Anneville O. et al. The distribution and spread of quagga mussels in perialpine lakes north of the Alps // *Aquatic Invasions.* 2022. V. 17. № 2. P. 153–173. <https://doi.org/10.3391/ai.2022.17.2.02>

- Heiler K.C.M., Bij de Vaate A., Ekschmitt K., von Oheimb P.V., Albrecht C., Wilke T. Reconstruction of the early invasion history of the quagga mussel (*Dreissena rostriformis bugensis*) in Western Europe // *Aquat. Invasions*. 2013. V. 8. № 1. P. 53–57. <http://dx.doi.org/10.3391/ai.2013.8.1.06>
- Hincks S.S., Mackie G.L. Effects of pH, calcium, alkalinity, hardness, and chlorophyll on the survival, growth, and reproductive success of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in Ontario lakes // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1997. V. 54. № 9. P. 2049–2057. <https://doi.org/10.1139/f97-114>
- Horvath T.G., Lamberti G.A., Lodge D.M., Perry W.L. Zebra mussel dispersal in lake-stream systems: source-sink dynamics? // *J. North Am. Benthol.* 1996. V. 15. № 4. P. 564–575. <http://www.jstor.org/stable/1467807>
- Hubenov Z., Trichkova T. *Dreissena bugensis* (Mollusca: Bivalvia: Dreissenidae). New invasive species to the Bulgarian malacofauna // *Acta zool. Bulg.* 2007. V. 59. № 2. P. 203–209.
- Imo M., Seitz A., Johannesen J. Distribution and invasion genetics of the quagga mussel (*Dreissena rostriformis bugensis*) in German rivers // *Aquat. Ecol.* 2010. V. 44. P. 731–740. <https://doi.org/10.1007/s10452-009-9311-2>
- Irelan B. Salinity of surface water in the Lower Colorado River-Salton Sea Area 1971. <https://pubs.usgs.gov/pp/0486e/report.pdf>
- Jones L.A., Ricciardi A. Influence of physicochemical factors on the distribution and biomass of invasive mussels (*Dreissena polymorpha* and *Dreissena bugensis*) in the St. Lawrence River // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2005. V. 62. № 9. P. 1953–1962. <https://doi.org/10.1139/f05-096>
- Kerambrun E., Delahaut L., Geffard A., David E. Differentiation of sympatric zebra and quagga mussels in ecotoxicological studies: A comparison of morphometric data, gene expression, and body metal concentrations // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018. V. 154. P. 321–328. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.051>
- Khilchevskiy V., Kapusta T., Sherstyuk N., Zabokrytska M. Hydrochemical characteristics of left-bank tributaries of the Dniester within Ternopil Oblast // *J. Geol. Geograph. Geology*. 2024. V. 33. № 1. P. 88–99. <https://doi.org/10.15421/112410>
- Kolak J.J., Long D.T. Major ion pore-water chemistry evolution in Lake Michigan benthic sediments: Evidence for direct input from Michigan Basin saline groundwater // *GSA Bulletin*. 2024. V. 136. № 9-10. P. 4285–4300. <https://doi.org/10.1130/B37143.1>
- Kozuharov D., Trichkova T., Botev I., Hubenov Z., Füreder L. Invasion of *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) to reservoirs in the Struma River Basin (Aegean Sea Drainage Basin, Southwest Bulgaria) // *Biotechnol. Biotechnol. Equip.* 2009. V. 23. № 1. P. 192–196. <https://doi.org/10.1080/13102818.2009.10818398>
- Kozuharov D., Trichkova T., Stanachkova M. et al. Comparative analysis of zooplankton composition in reservoirs of North-West Bulgaria: relation to water physicochemical parameters and *Dreissena* infestation // *Acta Zool. Bulg.* 2013. V. 65. № 3. P. 359–370.
- Lajtner J., Marušić, Z., Klobučar, G.I.V. et al. Comparative shell morphology of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha* in the Drava River (Croatia) // *Biologia, Bratislava*. 2004. V. 59. № 5. P. 595–600.
- Lyons W.B., Carey A.E., Gardner C.B. et al. The geochemistry of Irish rivers // *J. Hydrology: Regional Studies*. 2021. V. 37. 100881. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100881>
- MacIsaac H.J. Potential abiotic and biotic impact of zebra mussels on the inland waters of North America // *American Zoologist*. 1996. V. 36. № 3. P. 287–299. <https://doi.org/10.1093/icb/36.3.287>
- Marescaux J., Boets P., Lorquet J., Sablon R., Van Doninck K., Beisel J.-N. Sympatric *Dreissena* species in the Meuse River: towards a dominance shift from zebra to quagga mussels // *Aquatic Invasions*. 2015. V. 10. P. 287–298. <http://dx.doi.org/10.3391/ai.2015.10.3.04>
- Marshall N.T., Stepien C.A. Genetic trajectories of zebra and quagga mussel invasions across three decades: Lake Erie versus Hudson River populations // *Aquatic Invasions*. 2021. V. 16. № 1. P. 147–166. <https://doi.org/10.3391/ai.2021.16.1.10>
- Martemyanov V.I., Berezina N.A., Mavrin A.S., Sharov A.N. Shifted mineral ions transport in the mollusk *Unio pictorum* exposed to environmental concentrations of diclofenac // *Comp. Biochem. Physiol. C Toxicol. Pharmacol.* 2021. V. 248:109107. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2021.109107>
- Martemyanov V.I., Markiyanova M.F. Threshold concentrations of cations in the water necessary for maintaining the ionic balance between organism of *Chironomus balatonicus* Devai et al. larvae and environment // *Inland Water Biology*. 2018. V. 11. P. 81–86. <https://doi.org/10.1134/S1995082917040071>
- Martemyanov V.I., Mavrin A.S. Threshold environmental concentrations of cations defining the range of roach *Rutilus rutilus* L. in freshwater reservoirs // *Inland Water Biology*. 2012. V. 5. P. 91–95. <https://doi.org/10.1134/S1995082912010099>
- Martemyanov V.I., Poddubnaya N.Y., Tikhonenkov D.V. Threshold concentrations of ions in the environment determining the borders of the invasive species *Dreissena polymorpha* range in fresh waterbodies // *Inland Water Biol.* 2024. V. 17. № 6. P. 1129–1145. <https://doi.org/10.1134/S1995082923600394>
- Matthews J., Schipper A.M., Hendriks A.J. et al. A dominance shift from the zebra mussel to the invasive quagga mussel may alter the trophic transfer of metals // *Environ. Pollution*. 2015. V. 203. P. 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.03.032>
- Matthews J., Van der Velde G., Bij de Vaate A. et al. Rapid range expansion of the invasive quagga mussel in relation to zebra mussel presence in The Netherlands and Western Europe // *Biol. Invasions*. 2014. V. 16. № 1. P. 23–42. <https://doi.org/10.1007/s10530-013-0498-8>
- McMahon R.F. Quagga mussel (*Dreissena rostriformis bugensis*) population structure during the early invasion of Lakes Mead and Mohave January–March 2007 // *Aquatic Invasions*. 2011. V. 6. № 2. P. 131–140. doi: 10.3391/ai.2011.6.2.02
- Mellina E., Rasmussen J.B. Patterns in the distribution and abundance of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in

- rivers and lakes in relation to substrate and other physicochemical factors // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1994. V. 51. № 5. P. 1024–1036. <https://doi.org/10.1139/f94-102>
- Melnikova A.V., Pryanichnikova E.G. Bivalves of the genus *Dreissena* from the Kuibyshev Reservoir // *Inland Water Biol.* 2025. V. 18. № 1. P. 167–180. <https://doi.org/10.1134/S1995082924600996>
- Mills E.L., Chrisman J.R., Baldwin B. et al. Changes in the dreissenid community in the lower Great Lakes with emphasis on southern Lake Ontario // *J. Great Lakes Res.* 1999. V. 25. № 1. P. 187–197. [https://doi.org/10.1016/S0380-1330\(99\)70727-6](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(99)70727-6)
- Mills E.L., Rosenberg G., Spidle A.P., Ludyanskiy M., Pliagin Yu., May Y.B. A review of the biology and ecology of the quagga mussel (*Dreissena bugensis*), a second species of freshwater dreissenid introduced to North America // *American Zoologist.* 1996. V. 36. № 3. P. 271–286. <https://doi.org/10.1093/icb/36.3.271>
- Montarges-Pelletier E., Jeanneau L., Faure P. et al. The junction of Fensch and Moselle rivers, France; mineralogy and composition of river materials // *Environ. Geol.* 2007. V. 53. № 1. P. 85–102. <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0621-6>
- Moran M.J., Wilson J.W., Beard L.S. Hydrogeology and sources of water to select springs in Black Canyon, south of Hoover Dam, Lake Mead National Recreation Area, Nevada and Arizona: U.S. Geological Survey. Scientific Investigations Report 2015–5130. 2015. 61 p. <http://dx.doi.org/10.3133/sir20155130>
- Mueller D.K. Analysis of water-quality data and sampling programs at selected sites in north-central Colorado. Water-Resources Investigations Report 90-4005. 1990. <https://doi.org/10.3133/wri904005>
- Mueting S.A., Gerstenberger S.L., Wong W.H. An evaluation of artificial substrates for monitoring the quagga mussel (*Dreissena bugensis*) in Lake Mead, Nevada-Arizona // *Lake and Reservoir Management.* 2011. V. 26. № 4. P. 283–292. <https://doi.org/10.1080/07438141.2010.540700>
- Nalepa T.F., Fanslow D.L., Pothoven S.A. Recent changes in density, biomass, recruitment, size structure, and nutritional state of *Dreissena* populations in southern Lake Michigan // *J. Great Lakes Res.* 2010. V. 36. P. 5–19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jglr.2010.03.013>
- Noges T., Haberman J., Jaani, A. et al. General description of Lake Peipsi-Pihkva // *Hydrobiologia.* 1996. V. 338. № 1. P. 1–9. <https://doi.org/10.1007/BF00031706>
- Orlova M.I., Muirhead J., Antonov P.I. et al. Range expansion of quagga mussels *Dreissena rostriformis bugensis* in the Volga River and Caspian Sea basin // *Aquatic Ecology.* 2004. V. 38. P. 561–573. <https://doi.org/10.1007/s10452-004-0311-y>
- Palais, F., Mouneyrac, C., Dedourge-Geffard, O., et al., One-year monitoring of reproductive and energy reserve cycles in transplanted zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) // *Chemosphere.* 2011. V. 83, No. 8. P. 1062–1073. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.01.060>
- Pavlova V. First finding of deepwater profunda morph of quagga mussel *Dreissena bugensis* in the European part of its range // *Biol. Invasions* 2012. V. 14. P. 509–514. <https://doi.org/10.1007/s10530-011-0100-1>
- Peyer S.M., McCarthy A.J., Lee C.E. Zebra mussels anchor byssal threads faster and tighter than quagga mussels in flow // *J. Exp. Biol.* 2009. V. 212. № 13. P. 2027–2036. doi: 10.1242/jeb.028688
- Pimentel D., Zuniga R., Morrison D. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States // *Ecological Economics.* 2005. V. 52. P. 273–288. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.10.002>
- Poleszczuk G., Niedźwiecki E., Wolnomiejski N., Bucior A. On Great Lagoon (Szczecin Lagoon) water salinity - once again // *Baltic Coastal Zone : ecology, protection, shaping of Coastal Zone of Southern Baltic.* 2005. № 9. P. 53–72.
- Popa O.P., Popa L.O. The most westward European occurrence point for *Dreissena bugensis* (Andrusov 1897) // *Malacol. Bohemoslovaca.* 2006. V. 5. P. 3–5. <https://doi.org/10.5817/MaB2006-5-3>
- Potasznik A., Szymczyk S. Magnesium and calcium concentrations in the surface water and bottom deposits of a river-lake system // *J. Elem.* 2015. V. 20. P. 677–692. doi: 10.5601/jelem.2015.20.1.788
- Prie V., Frugot J.-F. Heading south: new records of the invasive quagga mussel *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov, 1897) in France and further perspectives // *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.* 2017. V. 418. № 3. Article Number 7. <https://doi.org/10.1051/kmae/2017023>
- Protasov A.A., Sylaieva A.A., Novoselova T.N., Gromova Y.F., Morozovskaya I.A., Stepanova T.I. Nuclear Power Plant technoecosystem: 18 years of hydrobiological observations // *J. Sib. Fed. Univ. Biol.* 2017. V. 10. № 4. P. 459–484. DOI: 10.17516/1997-1389-0045
- Pryanichnikova E.G., Tyutin A.V., Shcherbina G.Kh. Comparative analysis of the structure and fauna of endosymbionts of communities of two dreissenid species (Mollusca, Dreissenidae) in the Upper Volga Reservoirs // *Inland Water Biology.* 2011. V. 4. № 2. P. 203–210. doi: 10.1134/S1995082911020179
- Ramcharan C.W., Padilla D.K., Dodson S.I. Models to predict potential occurrence and density of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha* // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1992. V. 49. № 12. P. 2611–2620. <https://doi.org/10.1139/f92-289>
- Reid N.J., Anderson M.A., Taylor W.D. Distribution of quagga mussel veligers, *Dreissena bugensis*, in the reservoirs of the Colorado River Aqueduct // *Lake and Reservoir Management.* 2010. V. 26. № 4. P. 328–335. <https://doi.org/10.1080/07438141.2010.542878>
- Reichard E.G., Crawford S.M., Paybins K.S., Martin P., Land M., Nishikawa T. Evaluation of surface-water/ground-water interactions in the Santa Clara River Valley, Ventura County, California // U.S. GEOLOGICAL SURVEY, Water-Resources Investigations Report 98-4208. 1999. Sacramento, California. <https://pubs.usgs.gov/wri/1998/4208/report.pdf>
- Reymondet E., Grimond J., Beisel J.N. et al. Photogrammetric assessment of quagga mussel growth shows no winter cessation in lake Geneva // *Sci. Rep.* 2025. V. 15: 8309. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-93064-8>
- Ricciardi A., Whoriskey F.G. Exotic species replacement: shifting dominance of dreissenid mussels in the Soulange

- es Canal, upper St. Lawrence River, Canada // J. N. Am. Benthol. Soc. 2004. V. 23, No 3. P.507–514.
- Rogora M., Mosello R., Kamburska L. et al. Recent trends in chloride and sodium concentrations in the deep subalpine lakes (Northern Italy) // Environ. Sci. Pollut. Res. 2015. V. 22. P. 19013–19026, doi 10.1007/s11356-015-5090-6
- Roy S., Gaillardet J., Allegre C.J. Geochemistry of dissolved and suspended loads of the Seine river, France: Anthropogenic impact, carbonate and silicate weathering // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1999. V. 63. № 9. P. 1277–1292. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(99\)00099-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(99)00099-X)
- Saeed O., Székács A., Jordán G. et al. Assessing surface water quality in Hungary's Danube basin using geochemical modeling, multivariate analysis, irrigation indices, and Monte Carlo simulation // Sci. Rep. 2024. V.14:18639. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69312-8>
- Salmaso N., Decet F., Mosello R. Chemical characteristics and trophic evolution of the deep subalpine Lake Garda (Northern Italy) // Mem. Ist. ital. Idrobiol. 1997. V. 56. P. 51–76.
- Salmaso N., Ciutti F., Cappelletti C., Pindo M., Boscaini A. First record of quagga mussel, *Dreissena bugensis* Andrusov, 1897, in Italy: morphological and genetic evidence in Lake Garda // BioInvasions Records. 2022. V. 11. № 4. P. 1031–1044. <https://doi.org/10.3391/bir.2022.11.4.21>
- Schloesser D.W, Nalepa T.F. Dramatic decline of unionid bivalves in offshore waters of western Lake Erie after infestation by the zebra mussel, *Dreissena polymorpha* // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1994. V. 51. № 10. P. 2234–2242. <https://doi.org/10.1139/f94-226>
- Schonenberg D.B., Gittenberger A. The invasive quagga mussel *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov, 1879) (Bivalvia: Dreissenidae) in the Dutch Haringvliet, an enclosed freshwater Rhine-Meuse estuary, the westernmost record for Europe // Basteria 2008. V. 72. P. 345–352.
- Seitz C., Scordo F., Suenaga E., Carlson E.M., McMillen S., Gregory L., Chandra S. Salinity and pH effects on survival, growth, and reproduction of quagga mussels // PeerJ 2023. 11:e15450 DOI 10.7717/peerj.15450
- Sepulveda A.J., Amberg J.J., Hanson E. Using environmental DNA to extend the window of early detection for dreissenid mussels // Management of Biological Invasions. 2019. V. 10. № 2. P. 342–358. <https://doi.org/10.3391/mbi.2019.10.2.09>
- Sergeeva I.S. The phenotypic diversity of *Dreissena polymorpha* (Pallas) in the Northeastern Part of its range // Inland Water Biology. 2008. V. 1. P. 248–254. doi: 10.1134/S1995082908030085.
- Shcherbina G.Kh., Buckler D.R. Distribution and ecology of *Dreissena polymorpha* (Pallas) and *Dreissena bugensis* (Andrusov) in the Upper Volga Basin // J ASTM Intern. 2006. V. 3. № 4. doi: 10.1520/JAI13256.
- Son M.O. Native range of the zebra mussel and quagga mussel and new data on their invasions within the Ponto-Caspian Region // Aquat. Invasions. 2007. V. 2. № 3. P. 174–184. <http://dx.doi.org/10.3391/ai.2007.2.3.4>
- Sprung M. Ecological requirements of developing *Dreissena polymorpha* eggs // Arch. Hydrobiol. 1987. V. 79. № 1. P. 69–86.
- Stoeckmann A. Physiological energetics of Lake Erie dreissenid mussels: a basis for the displacement of *Dreissena polymorpha* by *Dreissena bugensis* // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 2003. V. 60. № 2. P. 126–134. <https://doi.org/10.1139/f03-005>
- Strayer D.L., Fischer D.T., Hamilton S.K., Malcom H.M., Pace M.L., Solomon C.T. Long-term variability and density dependence in Hudson River *Dreissena* populations // Freshwater Biology. 2020. V. 65. № 3. P. 474–489. <https://doi.org/10.1111/fwb.13444>
- Strayer, D.L., Malcom, H.M., Effects of zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) on native bivalves: the beginning of the end or the end of the beginning? // J. North Am. Benthol. Soc. 2007. V. 26. № 1. P. 111–122. [https://doi.org/10.1899/0887-3593\(2007\)26\[111:EOZMDP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1899/0887-3593(2007)26[111:EOZMDP]2.0.CO;2)
- Strayer, D.L., Powell, J., Ambrose, P., et al., Arrival, spread, and early dynamics of a zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) population in the Hudson River estuary // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1996. V. 53. № 5. P. 1143–1149. <https://doi.org/10.1139/f96-038>
- Szekeres J., Szaloky Z., Bodolai K. Első adat a *Dreissena bugensis* (Andrusov, 1897) (Bivalvia: Dreissenidae) magyarországi megjelenéséről // Malacological newsletter. 2008. V. 26. P. 33–36. In Hungarian
- Therriault T.W., Orlova M.I., Docker M.F., MacIsaac H.J., Heath D.D. Invasion genetics of a freshwater mussel (*Dreissena rostriformis bugensis*) in eastern Europe: high gene flow and multiple introductions // Heredity. 2005. V. 95. P. 16–23. doi: 10.1038/sj.hdy.6800691.
- Travina O.V., Bepalaya Y.V., Aksenova O.V. et al. Distribution and density of populations of *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) in the peripheral part of the range // Russ. J. Biol. Invasions. 2020. V. 11. № 2. P. 155–163. <https://doi.org/10.1134/S2075111720020125>
- Trichkova T.A., Kozuharov D.S., Hubenov Z.K., Botev I.S., Zivkov M.T., Cheshmedjiev S.D. Characteristics of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) populations in infested reservoirs, northwest Bulgaria // J. Nat. Hist. 2008. Vol. 42, no. 5-8. P. 619–631. <https://doi.org/10.1080/00222930701835589>
- Trichkova T., Todorov M., Kenderov, M. et al. Invasive alien species of benthic macroinvertebrates and fish in the Bulgarian sector of the Danube River—Results of the Joint Danube Survey 4 (JDS4) // Water. 2022. V. 14: 2299. <https://doi.org/10.3390/w14152299>
- Trichkova T., Tyufekchieva V., Kenderov L. et al. Benthic macroinvertebrate diversity in relation to environmental parameters, and ecological potential of reservoirs, Danube River basin, North-West Bulgaria // Acta zool. bulg. 2013. V. 65. № 3. P. 337–348.
- Trunfio N., Bournonville T., Debortoli N. et al. Demographic and genetic structure of the quagga mussel, *Dreissena rostriformis bugensis*, in the Moselle River ten years after first observation // Aquatic Invasions. 2023. V. 18. № 2. P. 199–218. <https://doi.org/10.3391/ai.2023.18.2.105436>
- Van der Velde G., Platvoet D. Quagga mussels *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov, 1897) in the main river (Germany) // Aquat. Invasions. 2007. V. 2. № 3. P. 261–264. <http://dx.doi.org/10.3391/ai.2007.2.3.11>

- Van der Weijden C.H., Middelburg J.J. Hydrogeochemistry of the River Rhine: Long term and seasonal variability, elemental budgets, base levels and pollution // *Water Res.* 1989. V. 23. № 10. P. 1247–1266. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(89\)90187-5](https://doi.org/10.1016/0043-1354(89)90187-5)
- Wakida-Kusunoki A.T., Wakida F.T., Leon-Sandoval J.M. First record of quagga mussel *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov, 1897) (Bivalvia, Dreissenidae) from Mexico // *BioInvasions Records*. 2015. V. 4. P. 31–36. <https://doi.org/10.3391/bir.2015.4.1.05>
- WATER QUALITY REPORT 2025 // Fallbrook Public Utility District. <https://www.fpud.com/files/e382a2f70/Water+Quality+Report+2025++Web+Final.pdf>
- Wawrzyniak-Wydrowska B., Radziejewska T., Skrzypacz A., Wozniczka A. Two non-indigenous Dreissenids (*Dreissena polymorpha* and *D. rostriformis bugensis*) in a Southern Baltic coastal lagoon: Variability in populations of the “old” and a “new” immigrant // *Frontiers in Marine Science*. 2019. V. 6. Article 76. doi: 10.3389/fmars.2019.00076
- Wilson K.A., Howell E.T., Jackson D.A. Replacement of zebra mussels by quagga mussels in the Canadian near shore of Lake Ontario: the importance of substrate, round goby abundance, and upwelling frequency // *J. Great Lakes Res.* 2006. V. 32. P. 11–28. [https://doi.org/10.3394/0380-1330\(2006\)32\[11:ROZMBQ\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3394/0380-1330(2006)32[11:ROZMBQ]2.0.CO;2)
- Wong W.H., Gerstenberger S.L., Hatcher M.D., Thompson D.R., Schrimsher D. Invasive quagga mussels can be attenuated by redear sunfish (*Lepomis microlophus*) in the Southwestern United States // *Biological Control*. 2013. V. 64. P. 276–282.
- Woźniczka A., Wawrzyniak-Wydrowska B., Radziejewska T., Skrzypacz A. The quagga mussel (*Dreissena rostriformis bugensis* Andrusov, 1897) — another Ponto-Caspian dreissenid bivalve in the southern Baltic catchment: the first record from the Szczecin Lagoon // *Oceanologia*. 2016. V. 58, No 2. P. 154–159. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2015.12.002>
- Yuan F., Miyamoto S. Influence of the Pacific Decadal oscillation on hydrochemistry of the Rio Grande, USA, and Mexico // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2004. V. 5. № 12. Q12010. <https://doi.org/10.1029/2004GC000769>
- Zalusky J., Huff A., Katsev S., Ozersky T. Quagga mussels continue offshore expansion in Lake Michigan, but slow in Lake Huron // *J. Great Lakes Res.* 2023. V. 49. № 5. P. 1102–1110. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2023.07.004>
- Zhang H Culver D.A., Boegman L. Dreissenids in Lake Erie: an algal filter or a fertilizer? // *Aquatic Invasions*. 2011. V. 6. № 2. P. 175–194. <https://doi.org/10.3391/ai.2011.6.2.07>
- Zhulidov A.V., Pavlov D.F., Nalepa T.F., Scherbina G.H., Zhulidov D.A., Gurtovaya T.Y. Relative distribution of *Dreissena bugensis* and *Dreissena polymorpha* in the Lower Don River System, Russia // *Internat. Rev. Hydrobiol.* 2004. V. 89. P. 326–333. <https://doi.org/10.1002/iroh.200310727>
- Zhulidov A.V., Kozhara A.V., Scherbina G.H. et al. Invasion history, distribution, and relative abundances of *Dreissena bugensis* in the old world: a synthesis of data // *Biological Invasions*. 2010. V. 12. P. 1923–1940. <http://dx.doi.org/10.1007/s10530-009-9641-y>
- Zhulidov A.V., Kozhara A.V., Nalepa T.F., Gurtovaya T.Yu., Zhulidov D.A. Relative abundance of two dreissenid species, *Dreissena polymorpha* and *Dreissena rostriformis bugensis* in the Lower Don River system, Russia // *Aquatic Invasions*. 2013. V. 8. P. 311–318. <http://dx.doi.org/10.3391/ai.2013.8.3.07>

# THRESHOLD CONCENTRATIONS OF CATIONS IN THE EXTERNAL ENVIRONMENT DETERMINING THE BOUNDARIES OF THE INVASIVE SPECIES *DREISSENA BUGENSIS* (ANDRUSOV, 1897) RANGE IN FRESH WATER BODIES

© 2026 Martemyanov V.I.

Papanin Institute for Biology of Inland Waters, RAS, Borok, 152742, Russia  
e-mail: [martem@ibiw.ru](mailto:martem@ibiw.ru)

This study demonstrates that the minimum concentrations of sodium, potassium, calcium, and magnesium in water required to maintain balance between *D. bugensis* and its environment are 0.022–0.026, 0.0021–0.0026, 0.43–0.47, and 0.0032–0.0039 mmol/L, respectively. Compared to *D. polymorpha*, *D. bugensis* requires slightly higher concentrations of sodium and calcium ions in water for survival. A comparative analysis showed that both mussel species are not found in water bodies where calcium ion levels in water are below the threshold values. To assess the further spread of mussels, it is necessary to determine the range of changes in the content of ions, primarily calcium, in different freshwater bodies. In any basin and region, mollusks will colonize those water bodies where the calcium level in the water is above the threshold values and will not be able to settle in fresh water with calcium content below the threshold values.

**Key words:** *Dreissena bugensis*, threshold concentrations, sodium, potassium, calcium, magnesium.