

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ПЛОТНОСТЬ ПОПУЛЯЦИЙ *DREISSENA POLYMORPHA* (PALLAS, 1771) В ПЕРИФЕРИЙНОЙ ЧАСТИ АРЕАЛА

© 2020 Травина О.В.<sup>а, \*</sup>, Беспалая Ю.В.<sup>а</sup>, Аксёнова О.В.<sup>а</sup>, Шевченко А.Р.<sup>а</sup>, Соколова С.Е.<sup>а</sup>, Кошелева А.Е.<sup>б</sup>, Овчинников Д.В.<sup>б</sup>

<sup>а</sup> Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаврова РАН, Архангельск 163000, Россия;

<sup>б</sup> Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск 163002, Россия; e-mail: \*travina.oks@gmail.com

Поступила в редакцию 13.04.2018. После доработки 11.02.2020. Принята к публикации 17.02.2020.

В 2015–2017 гг. проведено изучение распространения пресноводного двустворчатого моллюска *Dreissena polymorpha* в бассейне р. Северная Двина. Впервые обнаружены популяции *D. polymorpha* в реках Юрас, Лявля и Соломбалка. Плотность изученных колоний *D. polymorpha* ниже по сравнению с популяциями в других частях ареала (Mann-Whitney *U* test,  $P = 0.01$ ), её среднее значение составило 232.9 экз./м<sup>2</sup> (от 0 до 4023.8 экз./м<sup>2</sup>). Обсуждается влияние различных факторов среды на распространение и обилие дрейссены в водотоках.

**Ключевые слова:** *Dreissena polymorpha*, бассейн реки Северная Двина, плотность, распространение, факторы среды.

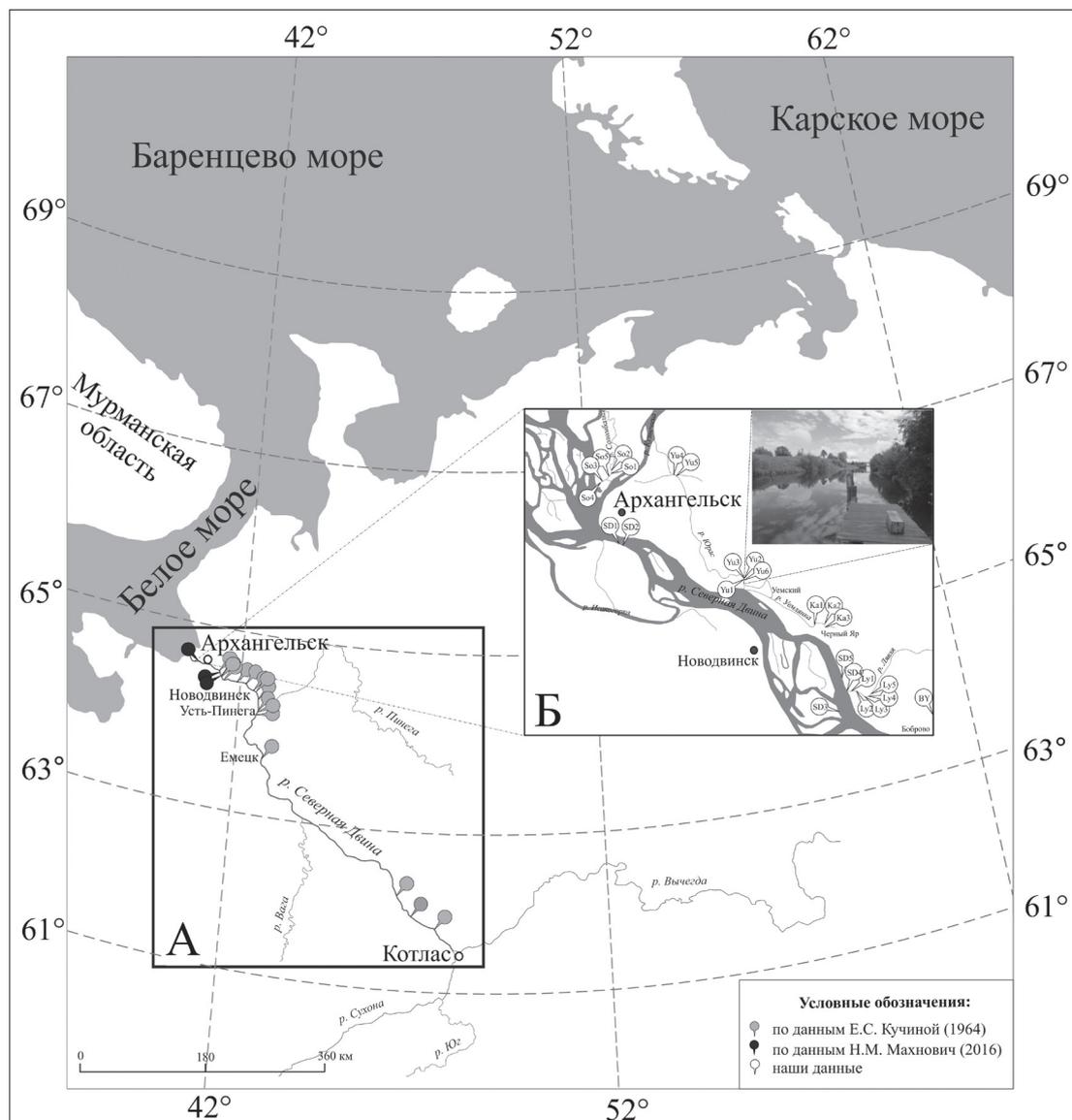
### Введение

Проблема проникновения чужеродных организмов имеет исключительно важное социально-экономическое значение, так как биологические инвазии являются серьёзной угрозой для сохранения биологического разнообразия [Дгебуадзе, 2002; Karatayev et al., 2007]. Двустворчатый моллюск *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) – это один из самых агрессивных и активно расселяющихся видов во всём мире [Karatayev et al., 2011]. В течение прошлого века этот моллюск успешно колонизировал большую часть Европы и Северной Америки [Pollux et al., 2003]. Нативным ареалом вида считается Понто-Каспийский регион, где дрейссена встречалась в озёрах и дельтовых районах крупных рек, стекающих в Чёрное и Каспийское моря [Rajagopal et al., 2009]. Самой северной границей её распространения является р. Северная Двина [Старобогатов, Андреева, 1994].

Первые упоминания о находках *D. polymorpha* в р. Северная Двина приведены в работе А.С. Скорикова [1903], обобщившего сведения о распространении её в России к началу XX в. В ходе проведения фаунистиче-

ских исследований наземных и пресноводных моллюсков окрестностей г. Архангельска в 1926 г. В.А. Величковским на берегу р. Северная Двина были обнаружены пустые раковины *D. polymorpha* [Величковский, 1927]. В 1938–1940 гг. Северной базой АН СССР (г. Архангельск) были проведены рыбохозяйственные исследования р. Северная Двина, которые позволили значительно расширить и уточнить места обитания моллюска [Кучина, 1964] (рис. 1А).

Из современных исследований следует указать работы И.С. Ворошиловой [2008] и В.В. Павловой [2010], посвящённые изучению морфологических и генетических особенностей популяций *D. polymorpha* в р. Северная Двина. Изучение распространения её популяций в дельте Северной Двины выполнено в 2010 и 2014 гг. Н.М. Махнович [2016] (рис. 1А). В настоящее время остаются практически не изученными особенности размножения дрейссены на краю ареала. Отсутствует актуальная информация о её паразитофауне и эндосимбионтах в регионе [Travina et al., 2019]. Фактически нет данных о современном состоянии популяций *D. polymorpha* и их рас-



**Рис. 1.** Карта-схема района исследования: А – распространение *D. polymorpha* в р. Северная Двина; Б – станции отбора проб.

пространении в водотоках бассейна р. Северная Двина. По данным Е.С. Кучиной [1964] и Н.М. Махнович [2016] популяции дрейссены в р. Северная Двина отличались невысокой плотностью поселений, в среднем 7–10 экз./м<sup>2</sup>. Однако причины низкой численности моллюска в бассейне до настоящего времени не установлены.

Одним из главных факторов, который влияет на распространение и обилие *D. polymorpha*, является характер субстрата [Karatajev et al., 1998]. Среди других абиотических факторов среды, оказывающих существенное влияние на распространение и плотность популяций

вида, следует указать температуру воды, солёность, уровень рН, концентрации кислорода и кальция [Ramcharan et al., 1992; Karatajev et al., 1998, 2007, 2010]. Выявлено, что дрейссена может переносить температуры в пределах от 0 до 30 °С. При температуре ниже 10 °С происходит остановка её роста и развития [Karatajev et al., 2007]. Установлено, что она не переносит даже умеренной гипоксии [Karatajev et al., 2007].

Цель настоящей работы состояла в изучении распространения и плотности популяций *D. polymorpha* в водотоках бассейна р. Северная Двина.

## Район, материалы и методы исследований

Полевые экспедиционные работы были проведены в водотоках бассейна р. Северная Двина в 2015–2017 гг. (рис. 1Б). В ходе проведённых исследований нами были изучены реки Северная Двина, Юрас, Лявля, Соломбалка, Карелка и Большая Юра. Из них поселения дрейссены не были обнаружены только в двух последних водотоках (рис. 1).

Климат района исследований характеризуется умеренно холодной продолжительной зимой и коротким прохладным летом. Средняя температура в январе составляет  $-12.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в июле  $+16.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  [Агроклиматический справочник..., 1961]. Замерзание рек начинается в конце октября – начале ноября и заканчивается в апреле-мае [Агафонова, Фролова, 2007]. При распространении дрейссены в водоёмах северных территорий важную роль играют температурные условия воды [Ворошилова, 2008]. Так для оптимального роста и развития моллюска температура воды должна быть не ниже  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  [Львова, Макарова и др., 1994].

В процессе исследований было отобрано 187 бентосных проб, содержащих 1064 особи *D. polymorpha* на 21 станции (табл. 1).

На каждой станции отбор проб зообентоса проводили по стандартной методике [Методика изучения..., 1975] с использованием дночерпателя Петерсена с площадью захвата  $0.024\text{ м}^2$  и гидробиологического сачка (размер  $0.28\text{ м} \times 0.5\text{ м}$ , размер ячеек сетки  $200\text{ }\mu\text{м}$ ). Для отбора образцов дрейссены также применяли драгу и ручной сбор с различных субстратов, ставных сетей и др. Пробы промывали с использованием гидробиологического сита (размер ячеек  $0.56\text{ мм}$ ) [Методика изучения..., 1975]. Материал разбирали в лаборатории с применением бинокулярного стереомикроскопа Leica M165C.

Для каждой станции выполнена оценка глубины, типа грунта и растительности. Тип грунтов классифицировали на основе подхода Friberg et al. [2009]: камни ( $2\text{--}75\text{ мм}$ ), песок ( $0.2\text{--}2\text{ мм}$ ), ил ( $0.005\text{--}0.2\text{ мм}$ ) и глина ( $<0.005\text{ мм}$ ).

Измерение температуры воды проводили в период полевых работ (июнь 2017 г.) с помощью цифрового термометра ТК-5.05 с погружным усиленным зондом. Значение pH и содержание  $\text{O}_2$  измеряли с помощью цифрового портативного многопараметрического

Таблица 1. Характеристика бентосных проб из водотоков бассейна р. Северная Двина

| Водоток           | Год и месяц исследования | GPS координаты                   | Кол-во станций (N) | Кол-во повторностей отбора проб на станции (N) | Кол-во проб (N) | Кол-во особей <i>Dreissena polymorpha</i> , (N, экз.) |
|-------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------|--|-----------------|---|
| р. Северная Двина | ноябрь 2015              | 64°31'16.32" N<br>40°32'37.77" E | 2                  | 6–7  | 13              | 676   |
|                   | июнь 2016                | 64°23'55.5" N<br>40°59'56.3" E   | 3                  | 3–11   | 21              | 6   |
| р. Юрас           | июнь 2016                | 64°34'51.3" N<br>40°39'10.9" E   | 3                  | 7–20   | 40              | 90  |
|                   | июнь 2017                | 64°29'00.7" N<br>40°48'02.1" E   | 3                  | 6–13   | 26              | 167   |
| р. Лявля          | июнь 2017                | 64°23'11.4" N<br>41°00'58.3" E   | 5                  | 3–8  | 25              | 120   |
| р. Соломбалка     | июнь 2017                | 64°34'36.7" N<br>40°31'30.7" E   | 5                  | 3–7  | 31              | 5   |
| р. Большая Юра    | июнь 2017                | 64°18'55.8" N<br>41°48'16.5" E   | 3                  | 4–7  | 16              | 0   |
| р. Карелка        | июнь 2017                | 64°27'05.9" N<br>40°56'37.5" E   | 3                  | 3–6  | 15              | 0   |

мультиметра CyberScan PCD 650 (Eutech Instruments, Нидерланды). Пробы воды для гидрохимического анализа отбирали, используя 0.5-литровые полиэтиленовые ёмкости, которые хранились в прохладном и тёмном месте до транспортировки в лабораторию. Образцы воды были проанализированы на содержание макроионов ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ). Гидрохимические анализы были выполнены в ЦКП НО «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова (уникальный идентификатор проекта RFMEFI59419X0016), г. Архангельск. Для р. Лявля отбор проб воды на гидрохимический анализ не проводили.

Зависимость плотности колоний моллюсков от гидрохимических параметров была проанализирована методом регрессионного анализа. Для участка на р. Лявля данные по плотности популяций не были включены в анализ. Для поиска функций линий тренда, описывающих изменения объёмов средней выборки моллюсков в изученных реках, применяли информационный критерий Акаике (Akaike IC) в программе PAST ver. 3 [Hammer et al., 2014]. Перед анализом средние значения плотностей поселений моллюсков были трансформированы ( $\log(x+1)$ ).

Значимость различий между средними значениями плотности колоний моллюсков в водотоках проводили на основе теста Краскала – Уоллиса (test Kruskal-Wallis). Оценку значимости различий между плотностями поселений вида в разных частях ареала проводили на основе теста Манна – Уитни (Mann-Whitney U test). Расчёты выполняли в программе PAST ver. 3 [Hammer et al., 2014].

Все собранные материалы хранятся в Российском музее центров биологического разнообразия ФГБУН ФИЦКИА РАН, г. Архангельск.

### Результаты исследования

По гидрохимическому составу изученные реки можно отнести к слабощелочным. Значения pH в водотоках изменялось от 6.40 до 8.65 (табл. 2). В катионном составе в реках Северная Двина, Юрас и Соломбалка преобладающими были ионы кальция и натрия

(табл. 2). В реках Большая Юра и Карелка концентрация кальция составила лишь 8.24 мг/л и 8.35 мг/л (табл. 2).

В изученных водотоках поселения *D. polymorpha* были приурочены к слабо заиленным песчаным грунтам, где они обрастали раковины *Anodonta anatina* (Linnaeus, 1758) и *Unio pictorum* (Linnaeus, 1758), а также деревянные сваи, заброшенные ставные сети и другие предметы, находящиеся на дне водотоков. Глубина варьировала от 0.3 до 9.7 м. Средняя плотность колоний *D. polymorpha* в зависимости от станции варьировала от 0 экз./м<sup>2</sup> до 4023.8 экз./м<sup>2</sup>, а её среднее значение для исследуемых рек составило 232.9 экз./м<sup>2</sup> (табл. 3А, 3Б). В составе изученных бентосных сообществ обнаружено 6 таксономических групп донных беспозвоночных (табл. 3А, 3Б).

В целом, плотность поселений *D. polymorpha* не отличалась между водотоками (Kruskal-Wallis test:  $H=2.84$ ,  $df=3$ ,  $P=0.17$ ) (табл. 3А), за исключением станции № 2 (SD2) в устьевой части р. Северная Двина, где обилие было выше по сравнению с другими водотоками (Kruskal-Wallis test:  $H=18.52$ ,  $df=3$ ,  $P<0.0001$ ) (табл. 3). В р. Северная Двина (станция SD2) дрейссена преобладает по численности среди других групп зообентоса (Kruskal-Wallis test:  $H=18.21$ ,  $df=7$ ,  $P=0.0021$ ) (табл. 3). На остальных участках плотность поселений дрейссены была ниже, чем у моллюсков Bivalvia и Gastropoda (Kruskal-Wallis test:  $H=22.65$ ,  $df=2$ ,  $P<0.0001$ ) (табл. 3). В р. Юрас плотность колоний *D. polymorpha* на исследованных нами станциях (Yr1–Yr5) была ниже по сравнению с плотностью поселений двустворчатых и брюхоногих моллюсков (Kruskal-Wallis test:  $H=15.65$ ,  $df=2$ ,  $P=0.0001$ ), либо не имела значимых различий (станция Yr6) (Kruskal-Wallis test:  $H=5.08$ ,  $df=2$ ,  $P=0.07$ ). В отношении других представителей зообентоса обилие *D. polymorpha* было выше (Kruskal-Wallis test:  $H=10.06$ ,  $df=5$ ,  $P<0.0001$ ). В р. Лявля плотность поселений дрейссены и других бентосных организмов не имела значимых различий (Kruskal-Wallis test:  $H=0.82$ ,  $df=5$ ,  $P=0.05$ ). В р. Соломбалка плотность колоний *D. polymorpha* на исследованных нами станциях была достоверно ниже среди других групп зообентоса (Kruskal-Wallis test:  $H=7.31$ ,  $df=5$ ,  $P<0.0001$ ).

Таблица 2. Характеристика гидрохимических параметров воды в водотоках бассейна р. Северная Двина и лимитирующие значения факторов среды для *D. polymorpha* (июнь 2017 г.)

| Параметры                            | р. Северная Двина | р. Юрас    | р. Соломбалка | р. Большая Юра* | р. Карелка* | Лимитирующие значения факторов среды  |
|--------------------------------------|-------------------|------------|---------------|-----------------|-------------|---|
| Температура, °С                      | 11.6±2.9          | 16.8±0.07  | 14.50±0.35    | Нет данных      | Нет данных  | 0/33 °С нижний / верхний пределы [Karataev et al., 2007];<br>12–15 °С (минимальная температура для размножения <i>D. polymorpha</i> ) [Львова и др., 1994; Pollux et al., 2010] |
| pH                                   | 8.65±0.20         | 7.36±0.20  | 6.94±0.20     | 6.70±0.20       | 6.40±0.20   | 7.3–7.5 (нижняя граница) [Ramcharan et al., 1992; Karataev et al., 2007]  |
| O <sub>2</sub> , мг/л                | 6.88±2.44         | 5.03±0.10  | 7.34±0.09     | –/–             | –/–         | 1.8–2.4 мг/л (нижняя граница) [Karataev et al., 2007]   |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л | 56.72±8.51        | 21.30±3.20 | 13.55±2.07    | 1.96±0.39       | 5.48±0.82   | Нет данных  |
| Mg <sup>2+</sup> , мг/л              | 10.00±1.00        | 7.45±0.74  | 3.76±0.59     | 4.00±0.40       | 3.32±0.66   | 0.70 мг/л (нижняя граница) [Ramcharan et al., 1992]   |
| K <sup>+</sup> , мг/л                | 0.99±0.20         | 2.64±0.40  | 0.87±0.15     | 1.12±0.17       | 0.92±0.18   | –/–   |
| Cl <sup>-</sup> , мг/л               | 7.08±1.06         | 14.88±2.23 | 2.25±0.34     | 21.6±3.24       | 9.29±1.39   | 0.13 мг/л (нижняя граница) [Ramcharan et al., 1992]   |
| Na <sup>+</sup> , мг/л               | 10.24±1.54        | 11.93±1.79 | 3.05±0.47     | 15.08±2.26      | 9.18±1.38   | –/–   |
| Ca <sup>2+</sup> , мг/л              | 40.89±4.09        | 25.68±2.57 | 16.70±1.67    | 8.24±0.82       | 8.35±0.84   | 25–28 мг/л (нижняя граница) [Ramcharan et al., 1992]  |

Примечание: –/– – нет данных. \* – водотоки, в которых *D. polymorpha* не была обнаружена.

## Обсуждение результатов

Известно, что после внедрения в новую среду, популяции *D. polymorpha* могут стремительно увеличивать свою численность, что может привести к сложным изменениям в структуре и функционировании экосистем [Simberloff et al., 2013; Oliveira et al., 2015]. При вселении дрейссены в водоём она способна становиться доминантом среди представителей бентоса, как по численности, так и по биомассе [Karataev et al., 1997], что приводит к резким изменениям в видовом составе и численности функциональных групп бентосных сообществ [Strayer, 1999; Burlakova et al., 2000, 2011].

Плотность изученных колоний *D. polymorpha* в бассейне Северной Двины ниже по сравнению с популяциями в других частях ареала (Mann-Whitney *U* test, *P* = 0.01). Так, например, по данным других исследователей средняя плотность колоний дрейссены составляла 14 449 экз./м<sup>2</sup> в р. Эбро в Испании [Araujo et al., 2010], 1376 экз./м<sup>2</sup> в р. Ильдь, 3850 экз./м<sup>2</sup> в р. Юхоть и 265 экз./м<sup>2</sup> в р. Сёбла в Ярославской области [Перова, 2015], 6200–13 600 экз./м<sup>2</sup> в нижнем течении р. Дон, 3200–5300 экз./м<sup>2</sup> в бассейне р. Маныч [Zhulidov et al., 2004].

Одним из основных факторов, который влияет на распределение и обилие дрейссены, является наличие подходящего субстрата для крепления [Ляхнович

Таблица 3А. Количественные показатели зообентоса в изученных водотоках бассейна р. Северная Двина, где была обнаружена *D. rolytorpha*

| Таксономическая группа | р. Северная Двина |                           |                    |                    |                    | р. Лявля |              |             |     |               |
|------------------------|-------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------|--------------|-------------|-----|---------------|
|                        | SD1               | SD2                       | SD3                | SD4                | SD5                | Ly1      | Ly2          | Ly3         | Ly4 | Ly5           |
| Chironomidae           | 2.2±6.11          | 172.62±322.24             | –                  | –                  | –                  | –        | –            | –           | –   | –             |
| Trichoptera            | –                 | –                         | –                  | –                  | –                  | –        | –            | –           | –   | –             |
| Asellidae              | –                 | 0.003±0.01                | –                  | –                  | –                  | –        | –            | –           | –   | –             |
| Hirudinea              | –                 | 47.62±69.84               | –                  | –                  | –                  | –        | –            | –           | –   | 2.47±7.41     |
| Nematoda               | 451.4±384.07      | 202.38±340.57             | –                  | –                  | –                  | –        | –            | –           | –   | –             |
| Gastropoda             | –                 | 339.29±471.05             | 1.66±1.63          | 2.55±3.40          | –                  | –        | –            | 27.78±48.11 | –   | 11.11±33.33   |
| Bivalvia               | –                 | 17.86±32.78               | 4.39±6.02          | 7.14±1.10          | 13.05±6.49         | –        | 4.63±13.89   | 27.78±24.06 | –   | 1.23±3.70     |
| Dreissena              | –                 | <b>4023.8±3730.96 a,b</b> | <b>0.32±1.08 b</b> | <b>0.51±1.35 b</b> | <b>5.33±4.62 b</b> | –        | 92.59±277.78 | 41.67±72.17 | –   | 119.75±359.26 |

Таблица 3Б. Количественные показатели зообентоса в изученных водотоках бассейна р. Северная Двина, где была обнаружена *D. rolytorpha*

| Таксономическая группа | р. Юрас              |                      |                      |             |             |               | р. Соломбалка |           |             |             |                   |  |
|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|-----------|-------------|-------------|-------------------|--|
|                        | Yr1                  | Yr2                  | Yr3                  | Yr4         | Yr5         | Yr6           | So1           | So2       | So3         | So4         | So5               |  |
| Chironomidae           | 2.2±6.11             | 1.02±2.7             | 4.76±6.25            | –           | –           | –             | –             | –         | –           | –           | –                 |  |
| Trichoptera            | 0.27±0.99            | –                    | –                    | –           | –           | –             | –             | –         | –           | –           | –                 |  |
| Gammaridea             | –                    | 3.06±5.62            | 1.19±2.92            | 12.89±1.35  | 5.95±15.75  | –             | –             | –         | –           | –           | –                 |  |
| Hirudinea              | 1.92±0.27            | 1.02±2.7             | 2.38±3.69            | –           | 0.51±1.35   | –             | –             | –         | –           | 7.15±10.10  | 24.40±18.95       |  |
| Nematoda               | –                    | –                    | –                    | –           | –           | –             | –             | –         | –           | –           | –                 |  |
| Gastropoda             | 57.1±68.1            | 25.51±19.28          | 66.67±62.22          | 24.97±25.88 | 53.20±45.58 | 20.58±18.49   | 5.36±7.57     | 6.00±1.41 | 21.43±15.43 | 17.86±25.25 | 8.93±10.53        |  |
| Bivalvia               | 44.51±64.51          | 87.76±143.73         | 52.38±69.35          | 36.49±30.71 | 25.68±44.02 | 23.98±27.14   | 8.93±12.63    | –         | 12.50±16.88 | –           | –                 |  |
| Dreissena              | <b>48.51±55.48 b</b> | <b>13.27±33.10 b</b> | <b>44.05±83.11 b</b> | –           | –           | 157.89±382.79 | –             | –         | –           | –           | <b>5.95±9.50b</b> |  |

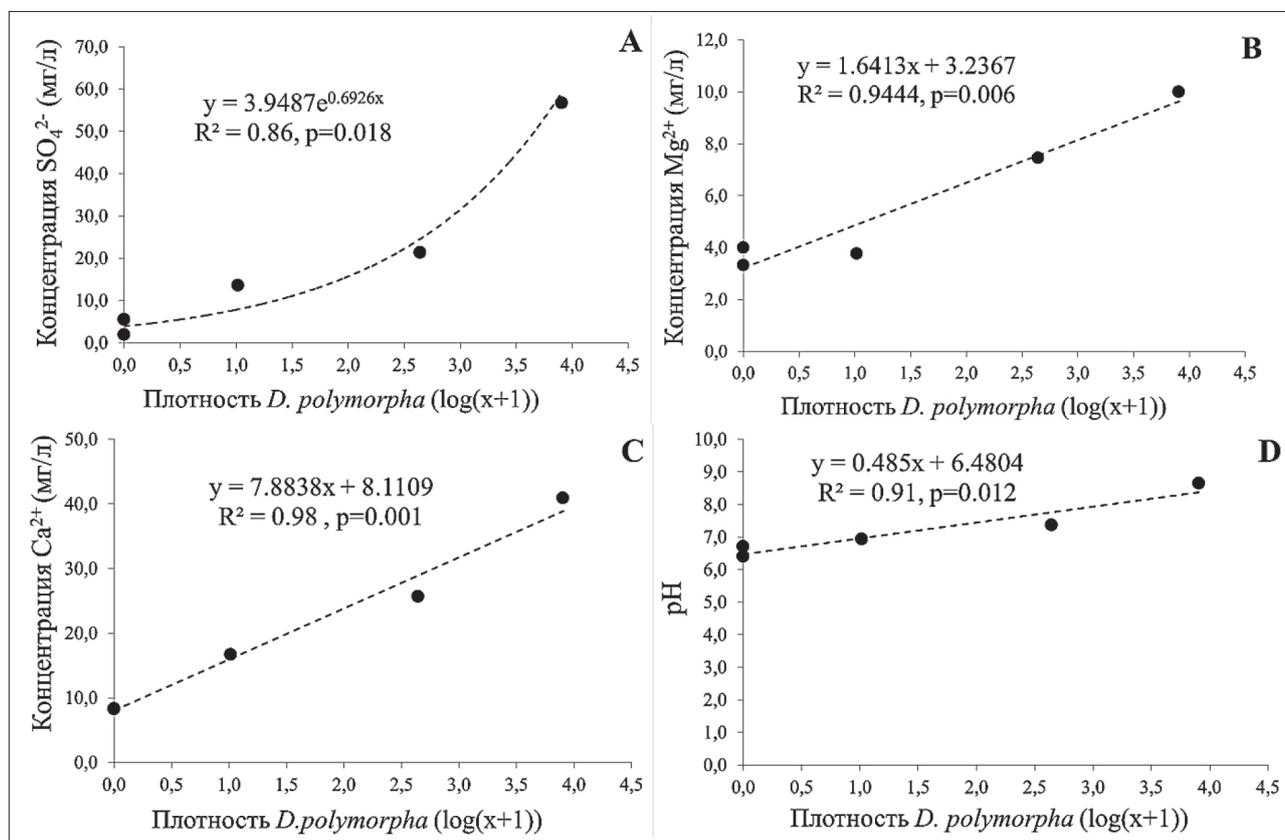
Примечание: а – отличие ( $P < 0.05$ ) средней плотности колоний *D. rolytorpha* между водотоками; b – отличие ( $P < 0.05$ ) средней плотности колоний *D. rolytorpha* по сравнению с другими группами зообентоса. Названия станций приведены в подписи к рисунку 2.

и др., 1994; Karatayev et al., 1998]. Наиболее подходящим субстратом для её поселений являются каменистые, песчаные, заилено-песчаные грунты, погружённые в воду макрофиты. Она также может формировать поселения с высокой плотностью на раковинах крупных двустворчатых моллюсков и различных предметах, находящихся на дне реки [Ляхнович и др., 1994; MacIsaac, 1996; Karatayev et al., 2007, 2010]. В целом в изученных нами водотоках популяции дрейссены населяют местообитания, характерные для этого вида и на других участках ареала.

Особенности влияния различных концентраций кальция, фосфора, щёлочности и pH на состояние популяций *D. polymorpha* хорошо изучены в настоящее время [Ramcharan et al., 1992, Baker et al., 1993, Karatayev et al., 2008, Moffitt et al., 2016]. Так, установлено, что низкие концентрации кальция, магния, фосфора, уровня pH и щёлочности ограничивают распространение и рост плотности популяций *D. polymorpha*, а также влияют на физиологические процессы моллюсков [Ramcharan et al.,

1992; Hincks, Mackie, 1997; Pollux et al., 2010; Martemyanov, 2011]. В период исследований средние значения уровня pH и содержание кальция в реках Большая Юра, Соломбалка и Карелка были ниже минимального уровня (ниже предельно допустимых нижних границ для *D. polymorpha*) (табл. 2). Это обусловлено тем, что отбор проб в водотоках проводился в период паводка. Например, по данным Т.Я. Воробьевой [2005], воды р. Северная Двина имеют слабощелочную реакцию в период межени и слабокислую в период весеннего паводка. В период ледостава средняя концентрация кальция в верхнем и среднем течении р. Северная Двина составляет 54–56 мг/л, в нижнем 64–66 мг/л. Весной концентрация выравнивается по всей длине реки и составляет в среднем 13–15 мг/л [Кузнецов и др., 1991].

В результате проведённого регрессионного анализа установлено, что с увеличением уровня содержания  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и pH в воде, средняя плотность популяций дрейссены в водотоках достоверно увеличивалась (рис. 2).



**Рис. 2.** Зависимость между плотностью популяций *D. polymorpha* и концентрацией ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  (А),  $\text{Mg}^{2+}$  (В),  $\text{Ca}^{2+}$  (С) и pH (D). Среднее значение плотности популяций *D. polymorpha* трансформированы ( $\log(x+1)$ ).

Снижение содержания  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и уровня pH в водах рек Большая Юра, Соломбалка и Карелка является одной из причин невысокой плотности либо отсутствия популяций *D. polymorpha* в этих реках. Нам не удалось найти опубликованных работ, посвящённых изучению пороговых концентраций  $\text{SO}_4^{2-}$  для данного вида. Однако, выявленная положительная корреляция плотности колоний дрейссены с концентрацией ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ , вероятно, свидетельствует об их влиянии на состояние популяций моллюска. Мы не обнаружили достоверной корреляции между концентрацией калия, натрия, хлора и средней плотностью поселений дрейссены ( $P > 0.05$ ). Содержание кислорода в водах исследованных рек выше нижних границ установленных для этого вида (табл. 2).

Известно, что начало и продолжительность репродуктивного периода *D. polymorpha* тесно связаны с температурой воды [Львова и др., 1994]. Размножение моллюска в водоёмах обычно начинается в мае-июне при температуре 12–15 °C и продолжается до конца августа или сентября [Karatajev et al., 2007]. По нашим данным, размножение дрейссены в 2017 г. проходило в период с июня по август [Травина и др., 2018]. Следовательно, температура воды в водотоках в целом соответствует экологическим требованиям вида [Karatajev et al., 2007]. В то же время, в силу региональных климатических особенностей в период с сентября по май температура воды в водотоках опускается ниже 10 °C [Агафонова, Фролова, 2007; Магрицкий, Скрипник, 2016], соответственно в этот период происходит остановка роста и развития моллюсков.

### Заключение

Настоящая работа представляет новые данные по распространению *D. polymorpha* в бассейне р. Северная Двина. Впервые обнаружены её популяции в реках Юрас, Лявля и Соломбалка. Плотность поселений в зависимости от станции варьировала от 0 экз./м<sup>2</sup> до 4023.8 экз./м<sup>2</sup>. Установлено, что концентрации  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и уровень pH положительно коррелировали с плотностью колоний дрейссены. Сравнительно невысокая плотность по-

селений моллюска обусловлена пониженным содержанием этих элементов и уровнем pH в изученных водотоках. Определённую роль здесь играют и региональные климатические особенности района исследований. Так, температура воды в период с сентября по май в бассейне р. Северная Двина опускается ниже оптимальной для роста и развития дрейссены. Необходимо проведение дальнейшего мониторинга популяций *D. polymorpha* в водотоках региона, а также исследование планктонной стадии дрейссены и её паразитофауны с применением гистологических и молекулярно-генетических методов. Изучение влияния вида на нативные популяции гидробионтов.

### Финансирование работы

Изучение распространения популяций *Dreissena polymorpha* проведено при финансовой поддержке гранта РФФИ (№ 18-34-00580 мол\_а), анализ плотности популяций дрейссены выполнен в рамках работ по гранту РФФИ (№ 17-44-290436 р\_а). При поддержке Министерства науки и высшего образования изучена структура бентосных сообществ (гос. регистрация № АААА-А17-117033010132-2).

### Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

### Соблюдение этических стандартов

Статья не содержит никаких исследований с участием животных в экспериментах, выполненных кем-либо из авторов.

### Литература

- Агафонова С.А., Фролова Н.Л. Особенности ледового режима рек бассейна Северной Двины // Водные ресурсы. 2007. Т. 34. №. 2. С. 141–149.
- Агроклиматический справочник по Архангельской области / ред. Х.А. Горяева. Л.: Гидрометеоиздат, 1961. 220 с.
- Величковский В. Моллюски окрестностей Архангельска // Труды Государственного Полярного химико-бактериологического института. 1927. 1. С. 147–151.
- Воробьёва Т.Я. Пространственно-временная структура гетеротрофного бактериопланктона экосистемы устьевой области реки Северная Двина: Дис. ... канд. биол. наук. / Институт биологии, Коми НЦ УрО РАН. Архангельск, 2005. 165 с.

- Ворошилова И.С. Происхождение и популяционная структура периферических поселений *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) северо-восточной границы ареала вида: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Борок: ИБВВ РАН, 2008. 24 с.
- Дгебуадзе Ю.Ю. Проблемы инвазий чужеродных организмов // Экологическая безопасность и инвазии чужеродных организмов. М.: МСОП; ИПЭЭ РАН, 2002. С. 11–14.
- Кузнецов В.С., Мискевич И.В., Зайцева Г.Б. Гидрохимическая характеристика крупных рек бассейна Северной Двины. Л.: Гидрометеиздат, 1991. С. 195.
- Кучина Е.С. К вопросу о распространении моллюска *Dreissena polymorpha* Pallas в р. Северной Двине // Биология дрейссены и борьба с ней. М.; Л.: Наука, 1964. С. 31–37.
- Львова А.А., Макарова Г.Е., Каратаев А.Ю., Кирпиченко М.Я. Планктонные личинки // Дрейссена *Dreissena polymorpha* (Pall.) (Bivalvia, Dreissenidae): систематика, экология, практическое значение. М.: Наука, 1994. С. 149–155.
- Ляхнович В.П., Каратаев А.Ю., Ляхов С.М., Андреев Н.И., Андреева С.И., Афанасьев С.А., Дыга А.К., Закутский В.П., Золотарёва В.И., Львова А.А., Некрасова М.Я., Осадчих В.Ф., Плигиг Ю.В., Протасов А.А., Тишиков Г.М. Условия обитания // Дрейссена *Dreissena polymorpha* (Pall.) (Bivalvia, Dreissenidae): систематика, экология, практическое значение. М.: Наука, 1994. С. 109–119.
- Магрицкий Д.В., Скрипник Е.Н. Опасные гидрологические процессы в устье Северной Двины и факторы их многолетней изменчивости // Вестник Московского ун-та. Сер. 5. География. 2016. № 6. С. 59–70.
- Махнович Н.М. Исследование *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) как объекта биомониторинга в устье реки Северная Двина // Проблемы региональной экологии. 2016. №1. С. 39–43.
- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоёмов / Отв. ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовской. М.: Наука, 1975. 240 с.
- Павлова В.В. Эколого-географическая изменчивость морфологических признаков *Dreissena polymorpha* и *Dreissena bugensis* (Mollusca, Bivalvia): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Борок: ИБВВ РАН, 2010. 26 с.
- Перова С.Н. Дрейссениды (Bivalvia, Dreissenidae) в устьевых областях малых притоков Рыбинского водохранилища // Поволжский экологический журнал. 2015. № 1. С. 55–63.
- Скориков А.С. Современное распространение *Dreissena polymorpha* (Pallas) в России // Ежегодник Волжской биологической станции. Саратов, 1903. 48 с.
- Старобогатов Я.И., Андреева С.И. Ареал и его история // Дрейссена *Dreissena polymorpha* (Pall.) (Bivalvia, Dreissenidae): систематика, экология, практическое значение. М.: Наука, 1994. С. 47–55.
- Травина О.В., Шевченко А.Р., Беспалая Ю.В., Аксёнова О.В. Чужеродные виды двустворчатых моллюсков в бассейне реки Северная Двина // В сб.: Арктические исследования: от экстенсивного освоения к комплексному развитию: Материалы I международной молодёжной научно-практической конференции (26–28 апреля 2018 г.): В 2 т. / Сев. (Арктич.) федер. ун-т; ФИЦКИА РАН. Архангельск: САФУ, 2018. Т. 2. 463 с.
- Araujo R., Valladolid M., Gymez I. Life cycle and density of a newcomer population of zebra mussels in the Ebro River, Spain // The Zebra Mussel in Europe / Eds G. Van der Velde, S. Rajagopal, A. Bij de Vaate. Backhuys Publishers, Leiden, Margraf Publishers, Weikersheim, 2010. P. 183–189.
- Baker P., Baker S., Mann R. Criteria for Predicting Zebra Mussel Invasions in the Mid-Atlantic Region. School of Marine Science, College of William and Mary, Gloucester Point, VA, 1993.
- Burlakova L.E., Karatayev A.Y., Karatayev V.A., May M.E., Bennett D.L., Cook M.J. Endemic species: contribution to community uniqueness, effect of habitat alteration, and conservation priorities // Biological Conservation. 2011. Vol. 144. No. 1. P. 155–165.
- Burlakova L.E., Karatayev A.Y., Padilla D.K. The impact of *Dreissena polymorpha* (Pallas) invasion on unionid bivalves // International Review of Hydrobiology. 2000. Vol. 85. No. 5–6. P. 529–541.
- Friberg N., Dybkjær J.B., Olafsson J.S., Gislason G.M., Larsen S.E., Lauridsen T.L. Relationships between structure and function in streams contrasting in temperature // Freshwater Biology. 2009. Vol. 54. No. 10. P. 2051–2068.
- Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: paleontological statistics. Version 3.0. Natural History Museum, University of Oslo, 2014. P. 221.
- 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 // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 1997. Vol. 54. No. 9. P. 2049–2057.
- Karatayev A.Y., Burlakova L.E., Dodson S.I. Community analysis of Belarusian lakes: correlations of species diversity with hydrochemistry // Hydrobiologia. 2008. Vol. 605. No. 1. P. 99–112.
- Karatayev A.Y., Burlakova L.E., Mastitsky S.E., Padilla D.K., Mills E.L. Contrasting rates of spread of two congeners, *Dreissena polymorpha* and *Dreissena rostriformis bugensis*, at different spatial scales // Journal of Shellfish Research. 2011. Vol. 30. No. 3. P. 923–931.
- Karatayev A.Y., Burlakova L.E., Padilla D.K. The effects of *Dreissena polymorpha* (Pallas) invasion on aquatic communities in Eastern Europe // Journal of Shellfish Research. 1997. Vol. 16. P. 187–203.
- Karatayev A.Y., Burlakova L.E., Padilla D.K. Physical factors that limit the distribution and abundance of *Dreissena polymorpha* (Pall.) // Journal of Shellfish Research. 1998. Vol. 17. No. 4. P. 1219–1235.
- Karatayev A.Y., Burlakova L.E., Padilla D.K. *Dreissena polymorpha* in Belarus: history of spread, population biology and ecosystem impacts // The Zebra Mussel in Europe / Eds G. Van der Velde, S. Rajagopal, A. Bij de Vaate. Backhuys Publishers, Leiden, Margraf Publishers, Weikersheim. 2010. P. 101–112.

- Karatayev A.Y., Padilla D.K., Minchin D., Boltovskoy D., Burlakova L.E. Changes in global economies and trade: the potential spread of exotic freshwater bivalves // *Biological Invasions*. 2007. Vol. 9. No. 2. P. 161–180.
- MacIsaac H.J. Potential abiotic and biotic impacts of zebra mussels on the inland waters of North America // *American Zoologist*. 1996. Vol. 36. No. 3. P. 287–299.
- Martemyanov V.I. Influence of Environmental Mineral Composition on the Indices of Water-Salt Metabolism in *Dreissena polymorpha* Pallas Introduced to Rybinsk Reservoir // *Russian Journal of Biological Invasions*. 2011. Vol. 2. No. 2–3. P. 213–222.
- Moffitt C.M., Stockton-Fiti K.A., Claudi R. Toxicity of potassium chloride to veliger and byssal stage dreissenid mussels related to water quality // *Management of Biological Invasions*. 2016. Vol. 7. No. 3. P. 257–268.
- Oliveira P., Lopes-Lima M., Machado J., Guilhermino L. Comparative sensitivity of European native (*Anodonta anatina*) and exotic (*Corbicula fluminea*) bivalves to mercury // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2015. Vol. 167. P. 191–198.
- Pollux B.J.A., Minchin D., Van der Velde G., Van Alen T., Moon-Van Der Staay S.Y., Hackstein J. Zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) in Ireland, AFLP-fingerprinting and boat traffic both indicate an origin from Britain // *Freshwater Biology*. 2003. Vol. 48. No. 6. P. 1127–1139.
- Pollux B.J.A., Van der Velde G., Bij de Vaate A. A perspective on global spread of *Dreissena polymorpha*: a review on possibilities and limitations // *The Zebra Mussel in Europe* / Eds G. Van der Velde, S. Rajagopal, A. Bij de Vaate. Backhuys Publishers, Leiden, Margraf Publishers, Weikersheim, 2010. P. 45–58.
- Rajagopal S., Pollux B.J.A., Peters J.L., Cremers G., Moon-van der Staay S.Y., Theo van Alen, Eygensteyn J., Van Hoek A., Palau A., Bij de Vaate A., Van Der Velde G. Origin of Spanish invasion by the zebra mussel, *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) revealed by amplified fragment length polymorphism (AFLP) fingerprinting // *Biological Invasions*. 2009. Vol. 11. No. 9. P. 2147–2159.
- Ramcharan C.W., Padilla D.K., Dodson S.I. Models to predict potential occurrence and density of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha* // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1992. Vol. 49. No. 12. P. 2611–2620.
- Simberloff D., Jean-Louis M., Genovesi P., Maris V., Wardle D., Aronson J., Courchamp F., Galil B., García-Berthou E., Pascal M., Pyšek P., Sousa R., Tabacchi E., Vilà M. Impacts of biological invasions: what's what and the way forward // *Trends in Ecology & Evolution*. 2013. No. 28. P. 58–66.
- Strayer D.L. Effects of alien species on freshwater mollusks in North America // *Journal of the North American Benthological Society*. 1999. Vol. 18. No. 1. P. 74–98.
- Travina O.V., Bepalaya Y.V., Aksenova O.V., Shevchenko A.R., Sokolova S.E. Infection of *Dreissena polymorpha* (Bivalvia: Dreissenidae) with *Phyllodistomum macrocotyle* (Digenea: Gorgoderidae) in the Northern Dvina River Basin, Northern Russia // *Biharean Biologist*. 2019. Vol. 13. No. 1. P. 49–51.
- Zhulidov A.V., Pavlov D.F., Nalepa T.F., Scherbina G.H., Zhulidov D.A., Gurtovaya T.Yu. Relative distributions of *Dreissena bugensis* and *Dreissena polymorpha* in the lower Don River system, Russia // *International Review of Hydrobiology*. 2004. Vol. 89. No. 3. P. 326–333.

# DISTRIBUTION AND DENSITY OF POPULATIONS OF *DREISSENA POLYMORPHA* (PALLAS, 1771) IN THE PERIPHERAL PART OF THE RANGE

© 2020 Travina O.V.<sup>a,\*</sup>, Bespalaya Y.V.<sup>a</sup>, Aksenova O.V.<sup>a</sup>, Shevchenko A.R.<sup>a</sup>, Sokolova S.E.<sup>a</sup>, Kosheleva A.E.<sup>b</sup>, Ovchinnikov D.B.<sup>b</sup>

<sup>a</sup> N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation;

<sup>b</sup> Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;  
e-mail: \*travina.oks@gmail.com

In 2015–2017, the distribution of freshwater bivalve *Dreissena polymorpha* in the basin of the Northern Dvina River was studied. This study provides the first record of the populations of *D. polymorpha* in the Yuras, Lyavlya and Solombalka rivers. The density of the studied colonies of *D. polymorpha* was lower in comparison with populations in other parts of the range (Mann-Whitney U test,  $P = 0.01$ ), its average value was 232.9 ind./m<sup>2</sup> (from 0 to 4023.8 ind./ m<sup>2</sup>). The influence of various environmental factors on the distribution and abundance of zebra mussel in watercourses is discussed.

**Keywords:** *Dreissena polymorpha*, Northern Dvina River basin, density, distribution, environmental factors.