

ДИНАМИКА МИНЕРАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА И ФОСФОРА В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ В ПРИСУТСТВИИ *DREISSENA BUGENSIS*

© 2016 Е.А. Шашуловская, С.А. Мосияш

Государственный научно-исследовательский институт
озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга, Саратовское отделение

Статья поступила в редакцию 10.05.2016

Представлены результаты лабораторных исследований влияния вида-эдификатора Нижневолжских водохранилищ двустворчатого моллюска *Dreissena bugensis* на динамику основных биогенных элементов. Показано, что в результате жизнедеятельности дрейссены выделяет значительные количества нитратов и фосфатов в окружающую среду, что в пересчете на 1 г биомассы составляет около 0,03 мгN/сут и 0,001 мгP/сут. Кроме того в присутствии дрейссены существенно ускоряются процессы нитрификации. Полученные данные могут послужить основой для приближенного расчета влияния *D. bugensis* на режим биогенных элементов в воде водохранилищ.

Ключевые слова: моллюски, *Dreissena bugensis*, водохранилища, минеральные формы азота и фосфора.

Доминирующим видом бентофауны нижневолжских водохранилищ в настоящее время является двустворчатый моллюск – *Dreissena bugensis* [1]. Он часто встречается во всех зонах водохранилища, за исключением глубоко вдающихся в сушу сильно заросших высшей водной растительностью устьев притоков и затопленных пойм. На Волгоградском водохранилище средняя биомасса *D. bugensis* составляет около 1400 г/м². При массовом развитии в водоемах эти моллюски являются видами эдификаторами, обладающими сильно выраженной средообразующей способностью [2]. Как моллюски-фильтраторы за вегетационный сезон они способны отфильтровать объем воды, в 2,5 раза превышающий объем Волгоградского водохранилища, накапливая в своих мягких тканях значительную часть загрязняющих веществ. Роль дрейссены в потоках биогенных элементов достаточно сложна. С одной стороны, это аккумуляция запасов азота и фосфора в биомассе и тем самым вывод их из круговорота на значительное время; с другой – прижизненные выделения биогенных элементов в процессе метаболизма и разложение мягких тканей отмерших моллюсков [3]. Суммарный поток экскретируемого моллюсками азота и фосфора (биологически доступных биогенных элементов, способных включаться в биологический круговорот), по мнению некоторых авторов, сопоставим с годовой внешней биогенной нагрузкой [4]. Вместе с тем в литературе практически отсутствуют количественные данные по аккумуляции или экскреции *D. bugensis* основных биогенных элементов.

Шашуловская Елена Александровна, кандидат биологических наук, заведующая сектором гидрохимии и экологической токсикологии. E-mail: shash.elena2010@yandex.ru
Мосияш Светлана Александровна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник сектора гидрохимии и экологической токсикологии. E-mail: gosniorh@mail.ru

Цель настоящего исследования – оценить влияние *D. bugensis* на динамику основных биогенных элементов – минеральных форм азота и фосфора в лабораторных условиях. Инкубацию дрейссены проводили в водных системах объемом 11 л в сентябре – октябре 2015 г. при температуре $18 \pm 2^\circ\text{C}$. В качестве культивационной среды использовали природную волжскую воду при постоянном аэрировании в течение всего эксперимента. Исследования проводили в трех вариантах: I – волжская вода, II – волжская вода + соединения аммонийного азота и фосфора в концентрации 1 ПДК для рыбохозяйственных водоемов ($0,388 \text{ мгN/дм}^3 + 0,15 \text{ мгP/дм}^3$), III – волжская вода + соединения аммонийного азота и фосфора в концентрации 10 ПДК. В каждом варианте в качестве контроля использовали аквариум без дрейссены и опытный – с внесением моллюсков в количестве 250 г. В эксперименте использовали экземпляры, выловленные в литоральной зоне Волгоградского водохранилища. Средняя длина особей составила $18,6 \pm 0,5$ мм, возраст 1–3 года. Длительность эксперимента – 20 суток. Пробы на химический анализ воды отбирали в начале инкубации, а также на 1, 3, 5, 10, 15 и 20 сутки опыта. Оценку качества воды производили по следующим показателям: pH, содержание минеральных форм азота, минерального фосфора, органического вещества по ХПК, перманганатной окисляемости и БПК₅ [5].

Величина pH изменялась во всех вариантах эксперимента в пределах 8,0 – 8,65, при этом значения pH в присутствии дрейссены были несколько ниже. Внесение биогенных элементов на реакцию среды влияния не оказывало.

Содержание органического вещества (ОВ) по трем показателям в течение эксперимента снижалось до минимальных значений на десятые сутки опыта, затем стабилизировалось. Внесение

биогеов на концентрации органического вещества влияния не оказывало, как и присутствие дрейссены. В вариантах с моллюсками динамика ОВ характеризовалась такими же значениями, как и в контроле.

На рис. 1 представлены данные эксперимента с дрейссеной в волжской воде без внесения биогеов. Через 2 часа после внесения *D. bugensis* в воде повысилось содержание всех трех форм азота и фосфора.

Содержание аммония в контроле было невысоким. Уже через сутки эксперимента концентрация $N-NH_4^+$ снизилась до аналитического нуля ($<0,05$ мг/дм³). На 3–10 сутки наблюдался некоторый подъем аммония, вероятно за счет процесса аммонификации ОВ. В аквариумах с дрейссеной содержание $N-NH_4^+$ постепенно снижалось с $0,8$ мг/дм³ до аналитического нуля.

Концентрация нитритов изменялась в контроле от $0,003$ до $0,088$ мг/дм³ с подъемом на 5 сутки одновременно с аммонием. В аквариумах с дрейссеной содержание нитритов было суще-

ственно выше: $0,037 - 0,367$ мг/дм³. Максимальная концентрация наблюдалась также на 5 сутки. Количество нитратов и фосфатов в контроле было невысоким в течение всего периода исследования. В аквариумах с дрейссеной содержание нитратов и фосфатов существенно увеличивалось на протяжении 20 суток (рис. 1).

Экспериментальные данные с внесением аммонийного азота и фосфора в количестве 1 ПДК представлены на рис. 2.

В контрольных аквариумах к 10-м суткам опыта происходило постепенное снижение содержания аммония до аналитического нуля и возрастание нитритов и нитратов. В последующие 10 суток количество нитритов снизилось до $0,135 - 0,140$ мг/дм³, а нитратов увеличилось по сравнению с началом опыта в 2 раза. В аквариумах с дрейссеной концентрация аммония также снижалась до минимума на 10–15 сутки, количество нитритного азота в конце эксперимента было ниже контрольного в 3 раза. В присутствии моллюсков концентрация нитратов на 20 сутки

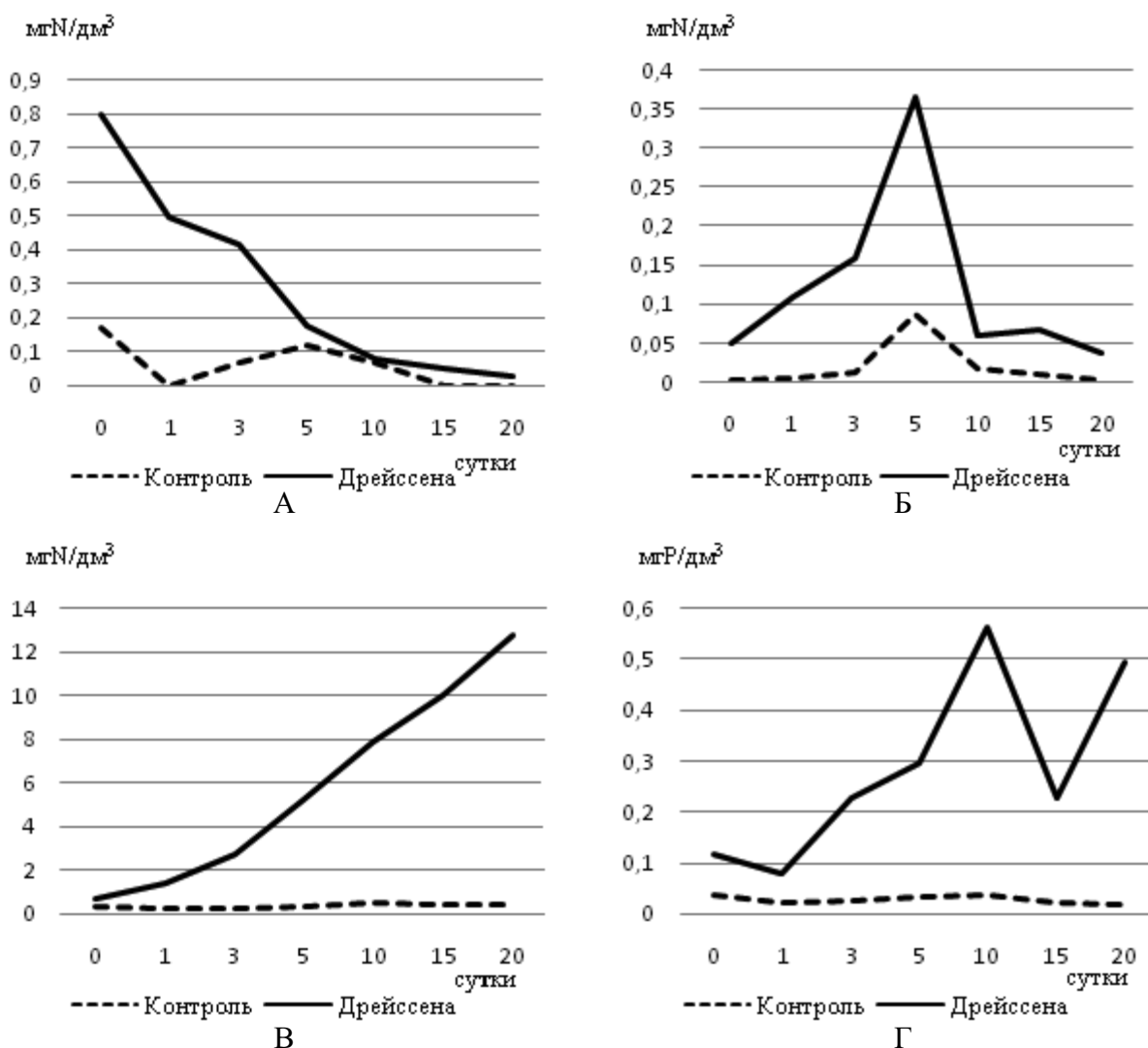


Рис. 1. Динамика аммония (А), нитритов (Б), нитратов (В) и фосфатов (Г) в аквариумах с волжской водой (контроль) и с волжской водой с внесением дрейссены (вариант I)

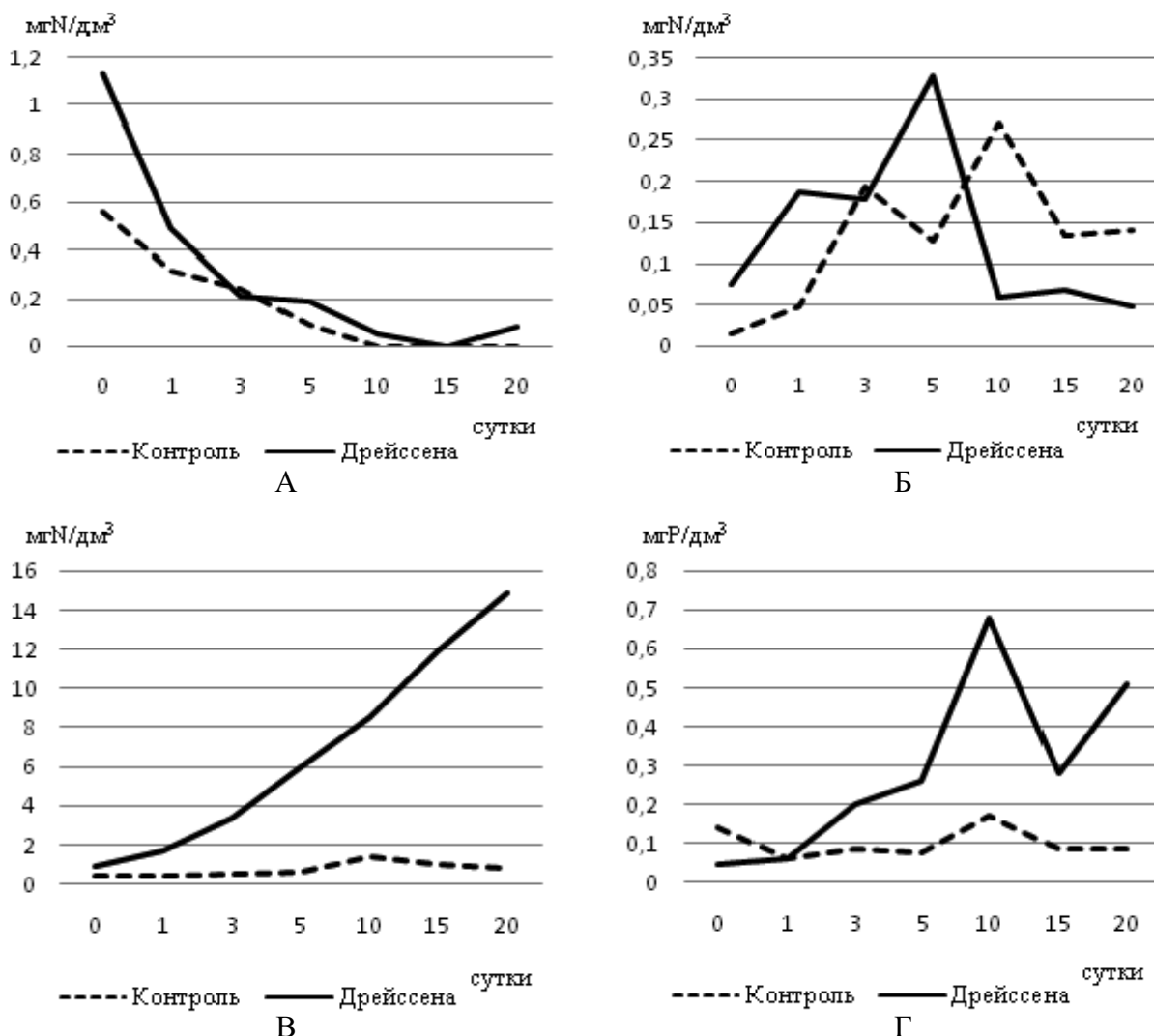


Рис. 2. Динамика аммонийного азота (А), нитритов (Б), нитратов (В) и фосфатов (Г) в опытах с внесением азота и фосфатов в концентрации 1 ПДК (вариант II)

по сравнению с исходным значением увеличилась в 16 раз. Содержание фосфатов в контроле колебалось в пределах 0,062 – 0,17 мг/дм³, в присутствии *D. bugensis* концентрация P-PO₄³⁻ постепенно увеличивалась с максимумом на 10 сутки. За экспериментальный период количество фосфатов возросло в 11 раз.

Обращает на себя внимание тот факт, что изменения исследуемых показателей в аквариумах с дрейссеной и без нее как с внесением 1 ПДК азота и фосфора, так и без внесения происходили синхронно: в контрольных сосудах по нитратам $r = 0,98$ ($p=0,0001$); в присутствии дрейссены по фосфатам $r = 0,98$ ($p=0,0001$), по нитратам – $r = 0,99$ ($p=0,0001$). Такие высокие коэффициенты корреляции свидетельствуют об общности происходящих процессов, на которые небольшие концентрации внесенных биогенов влияния не оказывают.

В следующем варианте опыта концентрации внесенных соединений азота и фосфора составили 10 ПДК. Результаты представлены на рис. 3.

В контроле содержание аммония к 10 суткам

опыта снизилось в 1,5 раза, а к 15-м – достигло аналитического нуля. Количество нитритов к 10-м суткам существенно увеличилось, достигнув к 20-м суткам максимального значения, превышающего начальное в 40 раз. Концентрация нитратов к 15 суткам увеличилась в 3 раза, затем незначительно снизилась.

В аквариуме с моллюсками содержание аммонийного азота уменьшилось к 5-м суткам в 10 раз. Концентрация нитритов увеличилась также в течение первых суток, а к 15-м достигла первоначального уровня. Количество нитратов в аквариуме с дрейссеной возрастало в течение периода исследования, как и в предыдущих вариантах. В конце эксперимента содержание нитратов было выше исходного в 17,3 раза.

Количество фосфатов в контроле постепенно снижалось и к концу эксперимента достигло 0,12 мг/дм³, что меньше исходного в 11 раз. В аквариумах с дрейссеной содержание элемента колебалось, концентрация P-PO₄³⁻ на 20-е сутки была меньше начальной лишь в 1,5 раза (рис. 3).

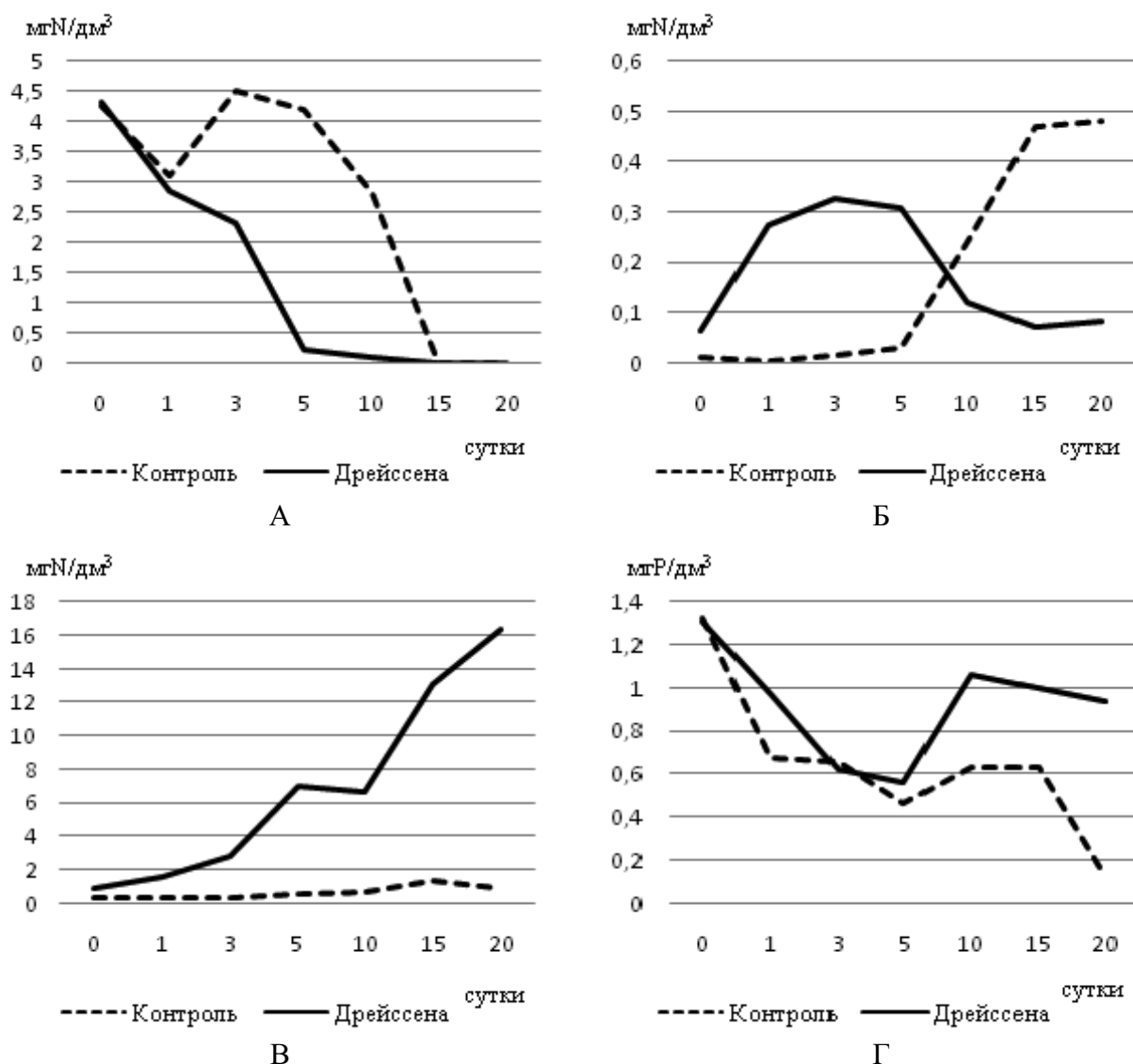


Рис. 3. Динамика аммонийного азота (А), нитритов (Б), нитратов (В) и фосфатов (Г) в опытах с внесением азота и фосфатов в концентрациях 10 ПДК (вариант III)

На рис. 4 показано, что в контрольном варианте при внесении 10 ПДК аммонийного азота его переход в кислородосодержащие формы происходит к 15 суткам, тогда как в присутствии дрейссены скорость процесса нитрификации существенно выше. Уже к 5 суткам концентрация аммония в аквариумах с моллюсками в 19 раз ниже, чем в контроле, а к 10-м снизилась до минимальных значений.

В литературе имеются сведения об экскреции дрейссеной преимущественно аммонийного азота, величина которого сопоставима с внешней биогенной нагрузкой [3]. Как показали результаты наших исследований, основным продуктом азотистого обмена у *D. bugensis*, являются нитраты. Увеличение содержания нитратов в присутствии дрейссены (рис. 5) описывается следующими уравнениями: в варианте с волжской водой – $y = 2,09x - 2,51$; внесение 1 ПДК – $y = 2,41x - 2,87$; внесение 10 ПДК – $y = 2,59x - 3,4$.

На 20-е сутки в вариантах с внесением аммонийного азота концентрация нитратов тем выше, чем выше вносимая концентрация. Исходя из установленных закономерностей, рассчитали, что 1 г дрейссены в сутки выделяет около 0,03 мг нитратного азота.

Динамика фосфатов в экспериментальных сосудах отличалась от динамики нитратов. В I и II вариантах в контрольных аквариумах (без дрейссены) содержание фосфора в воде колебалось в одних пределах в течение всего эксперимента, а в опытных сосудах с *D. bugensis* наблюдался синхронный рост содержания $P-PO_4^{3-}$, внесение дополнительной концентрации элемента влияния не оказывало (рис. 1, 2). Однако при внесении 10 ПДК фосфатов (III вариант) характер динамики этого соединения менялся: в контроле содержание фосфатов уменьшалось, видимо за счет сорбции на стенках сосудов или поглощения микроорганизмами. Конечная кон-

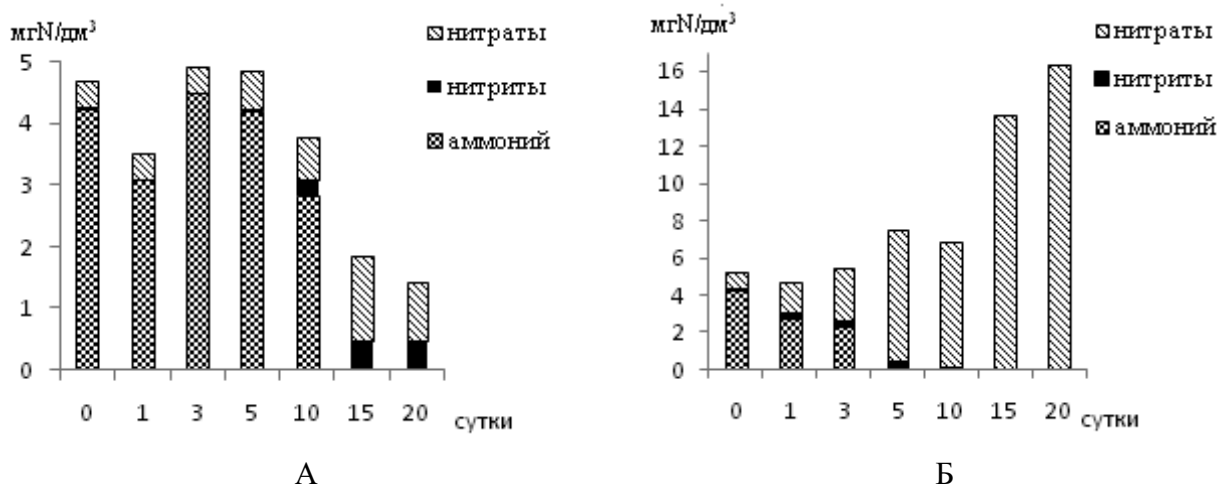


Рис. 4. Соотношение различных форм минерального азота в его суммарном содержании в контроле (А) и аквариумах с дрейссеной (Б) (вариант III)

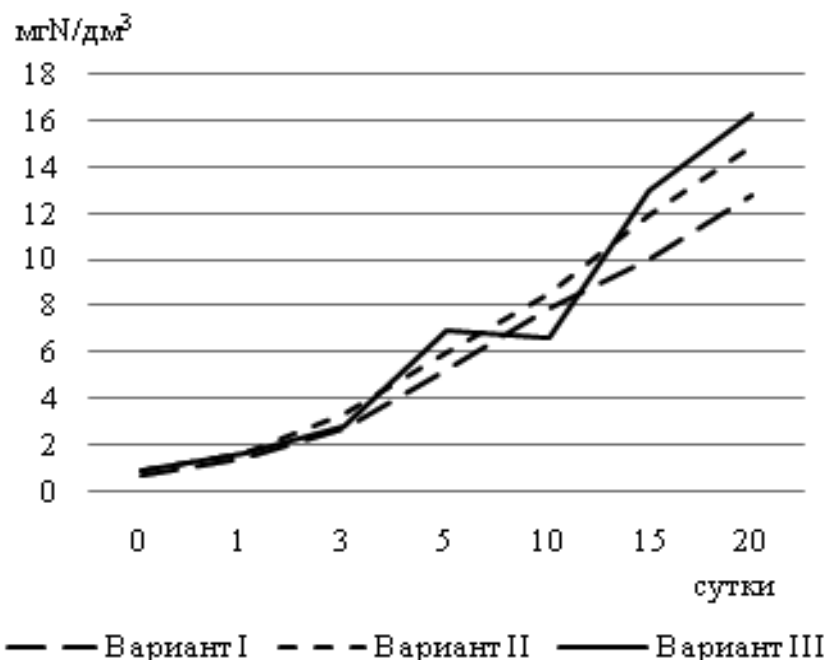


Рис. 5. Динамика содержания азота нитратов в аквариумах с внесением аммонийного азота в присутствии дрейссены в течение эксперимента

центрация была ниже исходной в 11 раз (рис. 3). В аквариумах с дрейссеной происходили колебания концентрации минерального фосфора и, несмотря на ее некоторое снижение за 20 суток эксперимента, уровень фосфатов был выше, чем в контроле в 8 раз. В первых двух вариантах выделение фосфатов составило в среднем 0,001 мгР/сут на 1 г дрейссены. В опытах с добавкой 10 ПДК $P-PO_4^{5-}$ экскреция этого элемента 1 г дрейссены в сутки увеличилась до 0,0018 мг.

Таким образом, по полученным нами результатам, *D. bugensis* выделяет значительные количества нитратов и фосфатов в водную среду. Внесение аммонийного азота незначительно влияло на концентрацию нитратов, но скорость

окисления аммония до нитратов значительно увеличивалась в присутствии дрейссены. Динамика фосфатов при их внесении в экспериментальные сосуды носила более сложный характер. При более высоких концентрациях вносимых соединений динамика фосфатов в опыте и контроле существенно отличалась.

Полученные данные могут послужить основой для приближенного расчета влияния дрейссены на режим биогенных элементов в Волгоградском водохранилище, но для экстраполяции экспериментальных данных на водную экосистему необходимо дальнейшее изучение динамики элементного состава водной среды в присутствии такого вида-эдификатора, как *D. bugensis*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филинова Е.И. Особенности расселения биоинвазивных видов зообентоса и их роль в экосистемах водохранилищ Нижней Волги//Бассейн Волги в XXI веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ. Материалы докладов Всероссийской конференции. Борок. 2012. С. 311-314.
2. Развитие экосистемы и биоресурсного потенциала Волгоградского водохранилища в начале XXI века /В.А. Шашуловский, С.С. Мосияш, В.П. Ермолин, И.Н. Далечина, Е.А. Джаяни, С.А. Мосияш, Е.Э. Соница, Е.И. Филинова, Е.А., Шашуловская // Рыбное хозяйство. 2014. Спец. выпуск. С. 49-55.
3. Жукова Т.В. Роль дрейссены (*Dreissena polymorpha Pallas*) в функционировании Нарочанских озер (обзор)// Бассейн Волги в XXI веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ. Материалы докладов Всероссийской конференции. Борок. 2012. С. 55-59.
4. Жукова И.В., Остапеня А.П. Влияние на экосистему Нарочанских озер вселенца моллюска-фильтратора *Dreissena polymorpha Pallas* // Озерные экосистемы: Материалы II науч. конф. Минск: Изд. Центр БГУ, 2003. С. 438–440.
5. Перечень методик, внесенных в Государственный реестр методик количественного химического анализа. Ч. I. Количественный химический анализ вод. М., 2015. 44 с.

**DYNAMICS OF MINERAL COMPOUNDS OF NITROGEN AND PHOSPHORUS
IN THE EXPERIMENTAL CONDITIONS IN THE PRESENCE DREISSENA BUGENSIS**

© 2016 E.A. Shashulovskaya, S.A. Mosiyash

State Research Institute of Lake and River Fisheries named after L.S. Berg, Saratov Branch

The results of laboratory studies of the effect of the form-edificator Lower Volga reservoirs bivalve *Dreissena bugensis* the dynamics of major nutrients. It is shown that the result of the activity *Dreissena* allocates substantial amounts of nitrate and phosphate in the environment, in terms of 1 g of biomass is about 0.03 mgN / day and 0.001 mgP / day. In addition, in the presence of *Dreissena* significantly accelerates the process of nitrification. The findings may provide the basis for an approximate calculation of the impact of *D. bugensis* on the regime of nutrients in water reservoirs.

Keywords: shellfish, *Dreissena bugensis*, reservoirs, mineral forms of nitrogen and phosphorus.

Elena Shashulovskaya, Candidate of Biology, Head at the Hydrochemistry and Environmental Toxicology Sector. E-mail: shash.elena2010@yandex.ru
Svetlana Mosiyash, Candidate of Biology, Senior Research Fellow at the Hydrochemistry and Environmental Toxicology Sector. E-mail: gosniorh@mail.ru