

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ МОЛИБДЕНА НА КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

В.О. Хорошевская^{1),2)*}, *Л.М. Предеина*¹⁾, *А.В. Кожевников*²⁾, *К.О. Корнеева*²⁾

¹⁾ ФГБУ «Гидрохимический институт» Росгидромета,
Россия, 344091, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, д. 198

²⁾ Южный федеральный университет,
Россия, 344029, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, д.105/42; * vv.z2@yandex.ru

Резюме. Представлены результаты лабораторного эксперимента по изучению влияния гептамolibдата аммония $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ в различных концентрациях (0.5, 5, 25 и 100 мкг л⁻¹ Мо) на количественные показатели развития природного фитопланктона. Установлено, что в аквариумах с водой из р. Дон через 3 сут. после добавления Мо в концентрациях 5, 25 и 100 мкг л⁻¹ численность фитопланктона уменьшалась на 50-55% по сравнению с контрольным. Наименее устойчивыми к воздействию Мо оказались синезеленые и криптофитовые водоросли, численность которых снижалась на 70-75 и 65-88% соответственно. Показано стимулирующее влияние всех изученных добавок Мо на биомассу фитопланктона. Наибольшее увеличение биомассы синезеленых, на 160-180%, наблюдалось при добавлении низких концентраций Мо, 0.5 и 5 мкг л⁻¹. Биомасса зеленых водорослей повышалась от 39 до 275% пропорционально концентрациям внесенного Мо.

Ключевые слова. Молибден, фитопланктон, видовой состав, биомасса, численность.

INFLUENCE OF VARIOUS MOLYBDEN CONCENTRATIONS ON QUANTITATIVE INDICATORS OF PHYTOPLANKTON DEVELOPMENT IN EXPERIMENTAL CONDITIONS

V.O. Khoroshevskaya^{1),2)*}, *L.M. Predeina*¹⁾, *A.V. Kozhevnikov*²⁾, *K.O. Korneeva*²⁾

¹⁾ Hydrochemical Institute of Roshydromet,
198, Avenue of Strikes, 344091, Rostov-on-don, Russia

²⁾ Southern Federal University,
105/42, Bolshaya Sadovaya street 344029, Rostov-on-don, Russia ; *vv.z2@yandex.ru

Abstract. The results of a laboratory experiment on the study of the effect of ammonium heptamolybdate $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ in various concentrations (0.5, 5, 25 and 100 $\mu\text{g l}^{-1}$ Mo) on the quantitative indices of the development of natural phytoplankton were presented. It was established that in aquariums with water from the river Don in 3 days after addition of Mo at concentrations of 5, 25 and 100 $\mu\text{g l}^{-1}$, the phytoplankton abundance decreased by 50-55% compared to the

control one. Blue-green and cryptophytes algae were less resistant to molybdenum influence, their abundance decreased by 70-75 and 65-88%, respectively. The stimulating influence of all studied Mo concentrations on the phytoplankton biomass was shown. The greatest increase in the biomass of blue-green, by 160-180%, was observed in low concentrations of Mo, 0.5 and 5 $\mu\text{g l}^{-1}$, conditions. The biomass of green algae increased from 39 to 275% proportionally to the Mo concentrations.

Keywords. Molybdenum, phytoplankton, species composition, biomass, abundance.

Введение

Типичный редкоземельный элемент молибден широко распространен в биосфере и играет очень важную роль в метаболизме животных и растений. Среднее содержание молибдена в организмах составляет $10^{-5}\%$. Мо входит в структуру активных центров более 20 окислительно-восстановительных ферментов, в числе которых нитрогеназа, участвующая в фиксации свободного азота, нитратредуктаза, катализирующая восстановление нитратов до нитритов, альдегидоксидаза, участвующая в окислении пиримидиновых и пуриновых оснований, входящих в состав АТФ, РНК и ДНК (Якушина, Бахтенко, 2004). Связь между повышенным содержанием молибдена и увеличением первичной продукции синезелёных и численностью азотобактерий установил в 30-е годы А.П. Виноградов (Виноградов, 1993).

В то же время повышенные концентрации Мо оказывают токсическое действие на живые организмы. Гидробионты относятся к наиболее чувствительным организмам к токсическому воздействию Мо. Предельно допустимая концентрация Мо в поверхностных водных объектах рыбохозяйственного значения составляет 1 мкг л^{-1} (Перечень рыбохозяйственных нормативов..., 1999).

В земной коре молибден распространён относительно равномерно (Зеликман, 1970, Труфанов, 2011). В поверхностные воды соединения молибдена попадают в результате выщелачивания экзогенных минералов и вследствие антропогенной деятельности.

Широкое распространение молибдена в речных водах на территории бывшего СССР установлено в исследованиях, проведенных Гидрохимическим институтом в 70-е годы прошлого столетия (Коновалов, Коренева, 1979). Концентрации соединений этого металла в поверхностных водах могут достигать аномально высоких значений, в сотни и даже тысячи раз превышая ПДК (Труфанов, 2011).

В поверхностных водах Мо находится в форме аниона MoO_4^{2-} , а также в составе органоминеральных комплексов (Линник, Набиванец, 1986). Большая часть Мо, до 58 %, в речном стоке мигрирует в составе взвешенных веществ. Речная взвесь обогащена молибденом в значительной мере вследствие его участия в биологических процессах (Гордеев, 1984).

В исследованиях, проведенных в 2012-2014 гг., установлены повышенные концентрации Мо, от 3.9 до 6.5 мкг л^{-1} , в нижнем течении р. Дон (Хорошев-

ская, 2015). При этом Мо присутствовал во всех отобранных пробах воды. Для Нижнего Дона характерен аридный климат. В этих условиях в окружающем ландшафте формируются зоны повышенного содержания Мо, активизируется его миграционная способность (Перельман, Касимов, 1999), что приводит к поступлению Мо с почвенными водами в речную систему. Таким образом, Мо является постоянным компонентом в составе воды на этом участке р. Дон.

Учитывая важную роль Мо в метаболизме живых организмов, с одной стороны, и его высокую токсичность для гидробионтов, с другой, проведены исследования по оценке влияния различных концентраций анионной формы Мо на количественные показатели развития фитопланктона, как основного звена в первичном продуцировании органического вещества в водных объектах.

Методы и материалы

Эксперимент по изучению влияния молибдена на количественные показатели развития природного фитопланктона проводили в условиях лаборатории в стеклянных аквариумах объемом 10 л при естественном освещении в июле 2015 г. Продолжительность эксперимента составила 3 суток. Воду для экспериментов отбирали на участке р. Дон, расположенном выше сброса сточных вод, ниже водосброса гидроузла г. Константиновска. Географические координаты точки отбора: 47°56'86" с. ш., 41°09'91" в. д.

Молибден добавляли в воду в анионной форме в виде гептамолибдата аммония $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ в концентрациях 0.5; 5; 25 и 100 мкг л⁻¹ в расчете на элемент Мо, что составляет, соответственно, 0.5; 5; 25 и 100 ПДК молибдена для рыбохозяйственных водоемов. В контрольный аквариум гептамолибдат аммония не добавляли.

В момент отбора и по окончании эксперимента во всех аквариумах, включая контрольный, определяли видовой состав, численность и биомассу фитопланктона. Обработка фиксированных формалином (концентрация в пробе формалина составила 2%) гидробиологических проб проводилась в соответствии с (ГОСТ Р 51592-2000, 2000; Методы рыбохоз., 2005; Руководство, 1983). Численность и биомассу фитопланктона определяли по стандартной методике (Руководство, 1983) с использованием камеры Нажотта объемом 0.1 мл. Для обработки проб применяли световые микроскопы "Биолам" и «Микмед 1». Численность синезеленых *Gomphosphaeria lacustris* Chod. f. *lacustris*, 1898 и *Microcystis aeruginosa* Kutz. Emend Elenk. f. *aeruginosa*, 1924, считали по колониям. Численность нитевидных синезеленых: *Anabaena aphanizomenodeis* Forti, 1911, *Anabaena bergii* f. *Minor* (Kissel.) Kossinsk., 1932, *Anabaena* sp., *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs., 1850, f. *flos-aquae*, *Oscillatoria* sp, *O. agardhii* Gom, 1892, f. *agardhii*, *O. woronichinii* Anissim., 1949, *O. limnetica* Lemm, 1900, – считали по отрезкам длиной 100 мкм.

В исходной воде определяли суммарную концентрацию растворенных и взвешенных форм соединений молибдена (Методические указания по выполнению измерений..., 2002). В начале и в конце эксперимента во всех аквариу-

мах определяли концентрации минерального фосфора, нитратного и аммонийного азота (Руководство по химическому анализу..., 2009).

Результаты

По данным гидрохимических наблюдений государственной наблюдательной сети Росгидромета в нижнем течении р. Дон в 2015 г. минерализация воды изменялась от 883 до 948 мг л⁻¹, режим кислорода был удовлетворительным: концентрации кислорода варьировали от 6.36 до 13.5 мг л⁻¹ (Ежегодник-2015 «Качество поверхностных вод РФ», 2016).

Концентрация Мо в исходной пробе воды, отобранной для эксперимента, составила 1.2 мкг л⁻¹. Концентрации минерального фосфора во всех аквариумах в течение эксперимента изменялись в диапазоне 0.116–0.135 мг л⁻¹, нитратного азота – 0.168–0.182 мг л⁻¹, аммонийного азота – 0.011–0.104 мг л⁻¹. Отмечено постепенное снижение концентраций минеральных форм фосфора и азота к концу эксперимента во всех аквариумах, включая контрольный, однако содержание биогенных веществ было достаточным для нормального развития фитопланктона.

Численность и биомасса фитопланктона в исходной пробе воды составили соответственно 747 млн.кл м⁻³ и 127 мг м⁻³. По численности доминировали синезеленые (55%), зеленые (32%) и диатомовые водоросли (11%), по биомассе – синезеленые (52%), диатомовые (27%) и зеленые (14%). В пробе присутствовали также криптофитовые, динофитовые и эвгленовые водоросли, численность которых не превышала 1%, биомасса – 4%. В фитопланктонном сообществе присутствовало 36 видов, доминировали по численности *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs f. *flos-aquae* и *Oscillatoria agardhii* Gom. f. *agardhii*, по биомассе – *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs f. *flos-aquae* и *Stephanodiscus hantzshii*.

Через трое суток эксперимента в контрольном аквариуме наблюдалось увеличение численности и биомассы фитопланктона соответственно на 40 и 20%. В аквариуме с наиболее низкой добавкой Мо, 0.5 мкг л⁻¹, также отмечено некоторое увеличение общей численности фитопланктона по сравнению с исходными значениями, составившее 25%, и значительное, на 103%, повышение биомассы. Однако, по сравнению с контрольным аквариумом, численность фитопланктона при этой концентрации добавленного Мо уменьшилась на 18%, биомасса увеличилась на 89%. В аквариумах с более высокими концентрациями Мо, 5, 25 и 100 мкг л⁻¹, отмечено существенное снижение общей численности фитопланктона на 50-55%, как по сравнению с исходными значениями, так и с контрольным аквариумом (рис. 1, 2). Уменьшение общей численности фитопланктона в этих вариантах эксперимента обусловлено значительным снижением численности синезеленых и криптофитовых водорослей, соответственно на 70-75% и 65-88%. Численность зеленых водорослей при этом изменилась незначительно по сравнению с контрольным аквариумом, варьируя как в сторону уменьшения, так и увеличения на 9-16%.

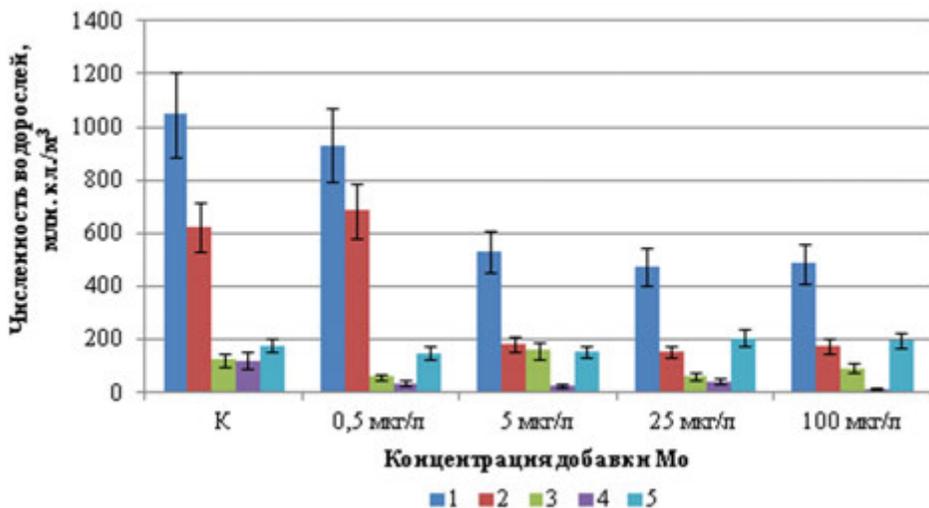


Рисунок 1. Численность фитопланктона в эксперименте с добавками Мо

1 – общая численность фитопланктона, 2 – численность синезеленых, 3 – численность диатомовых водорослей, 4 – численность криптофитовых водорослей, 5 – численность зеленых водорослей, К – контрольный аквариум без добавок Мо

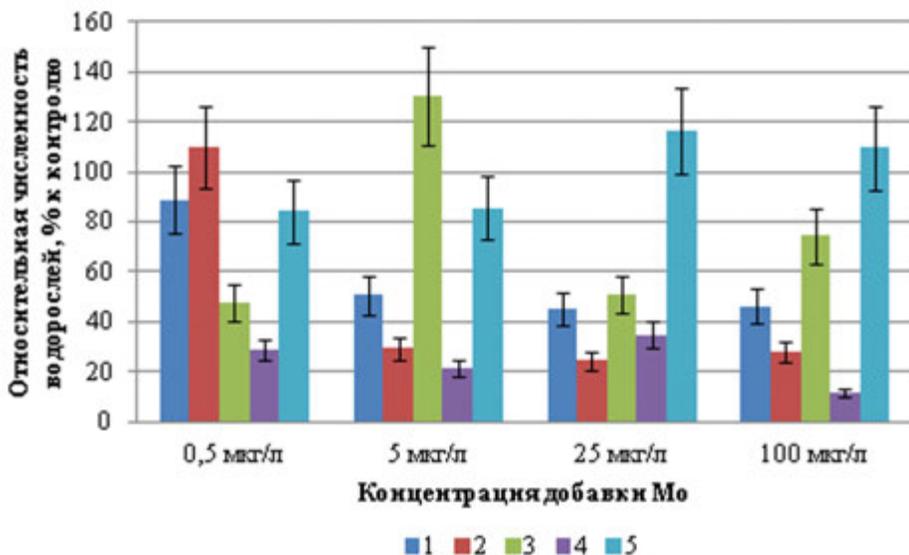


Рисунок 2. Относительное изменение численности фитопланктона по сравнению с контрольным аквариумом в эксперименте с добавками Мо

1 – общая численность фитопланктона, 2 – численность синезеленых, 3 – численность диатомовых водорослей, 4 – численность криптофитовых водорослей, 5 – численность зеленых водорослей

В отличие от изменений численности, биомасса фитопланктона значительно увеличилась во всех аквариумах с добавками Мо в сравнении с исходными значениями (на 91-133%) и контрольным аквариумом (на 60-94%) (рис. 3, 4). Наиболее значительное увеличение биомассы фитопланктона отмечено при добавлении 5 мкг л⁻¹ Мо, наименьшее – 100 мкг л⁻¹.

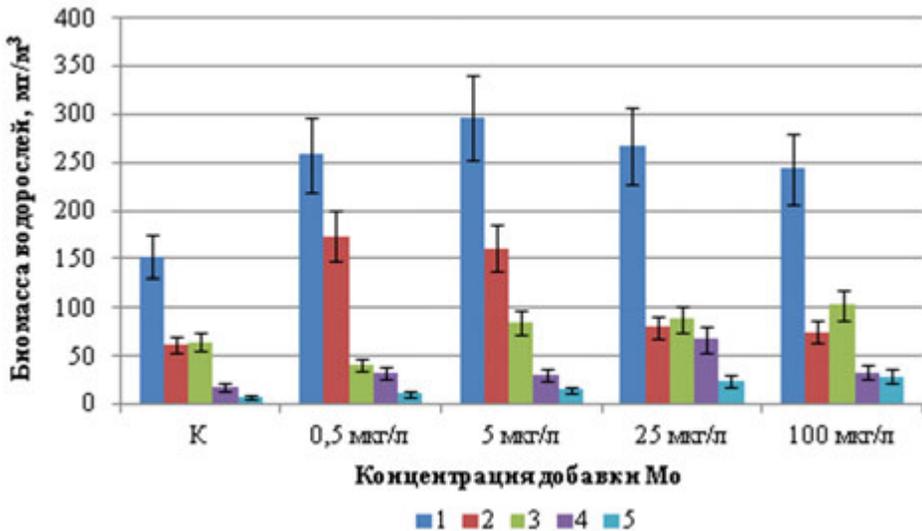


Рисунок 3. Биомасса фитопланктона в эксперименте с добавками Mo
 1 – общая биомасса фитопланктона, 2 – биомасса синезеленых, 3 – биомасса диатомовых водорослей, 4 – биомасса криптофитовых водорослей, 5 – биомасса зеленых водорослей, К – контрольный аквариум без добавок Mo

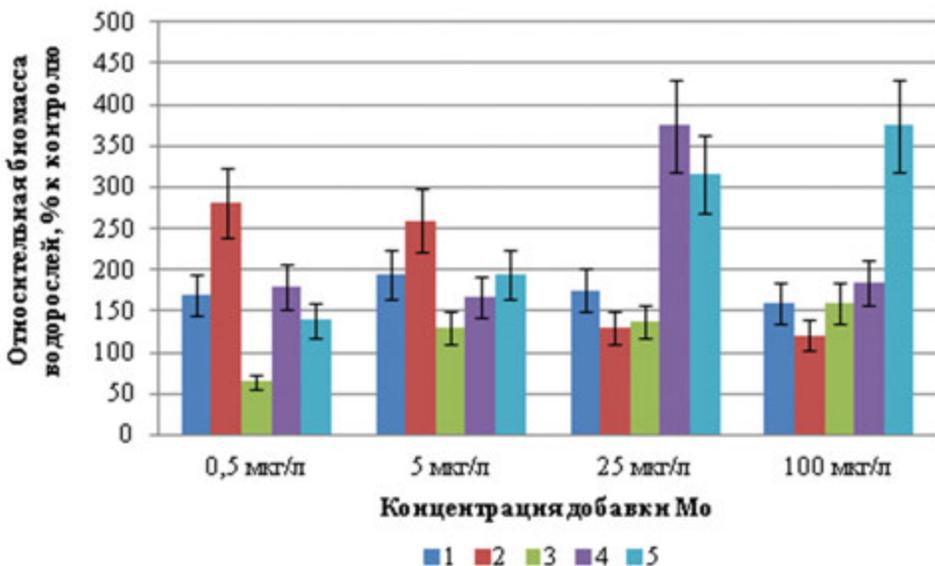


Рисунок 4. Относительное изменение биомассы фитопланктона по сравнению с контрольным аквариумом в эксперименте с добавками Mo

1 – общая биомасса фитопланктона, 2 – биомасса синезеленых, 3 – биомасса диатомовых водорослей, 4 – биомасса криптофитовых водорослей, 5 – биомасса зеленых водорослей

Биомасса зеленых водорослей повышалась с увеличением концентраций добавленного Mo от 39 до 275% (рис. 4). Наибольшее увеличение биомассы синезеленых, на 160-180%, наблюдалось при низких концентрациях добавок Mo, 0,5 и 5 мкг л⁻¹. При внесении в аквариумы 25 и 100 мкг л⁻¹ Mo их биомасса повышалась лишь на 20-30%. Наиболее выраженное увеличение био-

массы криптофитовых водорослей, на 275%, отмечалось при добавлении 25 мкг л⁻¹ Мо. Остальные концентрации добавок Мо приводили к повышению биомассы этих водорослей на 67-85%.

Следует отметить, что в видовом составе фитопланктона при внесении добавок Мо существенных изменений не выявлено. Все массовые виды, формирующие количественные показатели развития фитопланктонного сообщества, присутствовали как в контрольном аквариуме, так и в аквариумах с добавками Мо. Более того, в аквариумах с добавками Мо в концентрациях 5 и 25 мкг л⁻¹ отмечено развитие в достаточном для определения количестве 4 видов синезеленых (*Microcystis aeruginosa* Kutz. emend Elenk. f. *aeruginosa*, 1924. *Synechosystis aquilis*, *Oscillatoria amphibia* Ag. f. *Amphibian*, *O. limnetica* Lemm, 1900) и 3 видов диатомовых водорослей (*Diatoma vulgare* Bory. v. *vulgare*, *Gyrosigma acuminatum* (Kutz.) Rabenh. v. *acuminatum* u *Synedra ulna* (Nitzsch.) Her. Var. *ulna*), которые не удалось обнаружить в исходной пробе и в контрольном аквариуме.

Обсуждение

Сравнение результатов изменения численности и биомассы фитопланктона свидетельствует о том, что анионная форма Мо в концентрациях, превышающих ПДК в 5 и более раз, может оказывать значительное воздействие на количественные показатели развития пресноводного фитопланктона. Это воздействие проявляется в снижении численности, в особенности синезеленых, и в повышении его биомассы.

Результаты проведенного эксперимента не противоречат современным представлениям о реагировании сообществ планктонных водорослей и цианобактерий на воздействие тяжелых металлов и токсичных веществ в целом. Вследствие разной чувствительности отдельных видов и особой фитопланктона к токсическому воздействию формируется несколько пулов клеток. Часть клеток, отличающаяся повышенной устойчивостью к токсическому воздействию, в присутствии повышенных концентраций тяжелых металлов продолжает активно делиться, другая, как правило, большая часть клеток не делится, но накапливает биомассу, а третья часть гибнет (Дмитриева, 2011). В экотоксикологических исследованиях по изучению влияния сублетальных концентраций меди и кадмия на морской фитопланктон, проведенных в Кандакшском заливе Белого моря, показано, что численность одних популяций увеличивалась в присутствии Cu и Cd, других, напротив, уменьшалась (Капков и др., 2011).

Стимулирующее воздействие на развитие фитопланктона было отмечено в ходе лабораторного эксперимента с добавлением в воду из р. Дон анионной формы биологически активного металла ванадия в тех же концентрациях, что и молибден (Хорошевская и др., 2016). Однако, в отличие от Мо, добавки ванадата аммония приводили к увеличению не только биомассы, но и численности фитопланктона. Наиболее значимый эффект обнаружен при концентрациях 5 и 25 мкг л⁻¹ V.

Различия эффектов анионных форм ванадия и молибдена на фитопланктон, по-видимому, обусловлено их разной токсичностью для фитопланктона, несмотря на одинаковые значения ПДК для рыбохозяйственных водоемов. В отличие от V, добавление Mo, начиная с концентрации 5 мкг л^{-1} , как было показано выше, приводило к существенному снижению численности фитопланктона вследствие элиминации наиболее чувствительных клеток в разных популяциях.

Установленные эффекты Mo и V, которые присутствуют в реках Нижнего Дона в превышающих ПДК концентрациях (Хорошевская, 2015), диктуют необходимость изучения комбинированного влияния этих металлов на фитопланктон.

Выводы

В результате проведенных экспериментов установлено, что Mo при кратковременном воздействии в диапазоне концентраций от 5 до 100 мкг л^{-1} оказывал угнетающее воздействие на природный фитопланктон р. Дон, численность которого уменьшалась через 3 суток по сравнению с исходными значениями и контролем. Наиболее чувствительными к токсическому влиянию Mo оказались синезеленые и криптофитовые водоросли, наиболее устойчивыми – зеленые.

В отличие от численности, биомасса фитопланктона при добавлении всех изученных концентраций Mo, от 0.5 до 100 мкг л^{-1} , значительно повышалась вследствие увеличения размеров отдельных клеток. При относительно низких концентрациях Mo, 0.5 и 5 мкг л^{-1} , наиболее значительный рост биомассы наблюдался у синезеленых, при высоких концентрациях, 25 и 100 мкг л^{-1} – у зеленых водорослей. При этом биомасса зеленых водорослей увеличивалась с повышением концентраций добавленного Mo.

Таким образом, полученные результаты позволяют предположить о том, что в пресноводных объектах Mo может служить одним из факторов повышения первичного продуцирования органического вещества вследствие стимуляции развития крупноклеточных форм фитопланктона.

Список литературы

Виноградов А.П. 1993. Избранные труды. Геохимия изотопов и проблемы биогеохимии. – М., Наука, 236 с.

Дмитриева А.Г. 2011. Закономерности действия токсикантов на водные растительные организмы. – В сб.: Современные проблемы водной токсикологии. Материалы конференции, Петрозаводск, 17-19 мая 2011. – Петрозаводск, Изд. Петр ГУ, с. 42-44.

Гордеев В.В. 1984. Черты геохимии речного стока в океан. – Литология и полезные ископаемые, № 5, с. 29-50.

ГОСТ Р 51592-2000. Общие требования к отбору проб. Вода. – М., Изд-во стандартов, 48 с.

Ежегодник - 2015 «Качество поверхностных вод Российской Федерации». 2016. – Воронеж: ООО «Издат-Принт», 552 с.

Зеликман А.Н. 1970. Молибден. – М., Изд. Металлургия, 440 с.

Капков В.И., Беленкина О.А., Федоров В.Д. 2011. Влияние тяжелых металлов на морской фитопланктон. – Вестн. Моск. Ун-та, Сер. 16. Биология. № 1, с. 36-40.

Коновалов Г.С., Коренева В.И. 1979. Вынос микроэлементов речным стоком с территории СССР в моря в современный период. – Гидрохимические материалы, т. LXXV- Л., Гидрометеиздат, с. 11-21.

Линник П.Н., Набиванец Б.И. 1986. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. – Л., Гидрометеиздат, 270 с.

Методические указания по выполнению измерений алюминия, бария, бериллия, ванадия, висмута, железа, кадмия, кобальта, кремния, лития, марганца, меди, молибдена, мышьяка, никеля, олова, свинца, селена, серебра, стронция, сурьмы, таллия, теллура, титана, хрома, цинка в питьевых, природных и сточных водах на атомно-абсорбционном спектрометре «Квант-Z.ЭТА» с электротермической атомизацией. 2002. Сертифицированная заводская методика, 7 с.

Методы рыбохозяйственных и природоохранных исследований в Азово-Черноморском бассейне. 2005. / Под ред. С.П. Воловика и И.Г. Корпаковой. – Краснодар, 351 с.

Перельман А.И., Касимов Н.С. 1999. Геохимия ландшафта. – М., Изд. Астрей-2000, 763 с.

Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. 1999. – М., Изд. ВНИРО, 304 с.

Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. 1983. / под ред. В.А. Абакумова. – Л., Гидрометеиздат, 1983, 240 с.

Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Ч. 1. 2009. / Под ред. Л.В. Боевой. – Ростов-на-Дону, Изд. НОК, с. 510-567.

Труфанов А.И. 2011. Аномалии молибдена в природных водах ландшафтных районов южной и средней тайги. – Периодический выпуск электронного журнала "Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН" (№3) Специальный выпуск Электронный ресурс. URL:<http://regnet.uran.ru/ej/file-or/95> (дата обращения 15 апреля 2012)

Хорошевская В.О. 2015. Результаты экспедиционных исследований содержания ванадия, никеля и молибдена в водах рек Приазовья. – Глобальный научный потенциал, № 2 (47), с. 7-12.

Хорошевская В.О., Предеина Л.М., Кожевников А.В., Коренева К.О. 2016. Эксперимент по установлению влияния ванадия на жизнедеятельность фитопланктона. – Вода: химия и экология, № 4. с.79-86.

Якушина Н.И., Бахтенко Е.Ю. 2004. Физиология растений. – М., Изд. ВЛА-ДОС, 463 с.

References

Vinogradov A.P. 1993. *Izbrannye trudy. Geohimija izotopov i problemy biogeohimii* [Selected works. Geochemistry of isotopes and problems of biogeochemistry]. Moscow, Nauka Publ., 236 p. (In Russian).

Dmitrieva A.G. 2011. Zakonomernosti dejstviya toksikantov na vodnye rastitel'nye organizmy [Regularities of the action of toxicants on aquatic plant organisms] *Sovremennye problemy vodnoj toksikologii Materialy konferencii, Petrozavodsk, 17-19 maya 2011* [Modern problems of water toxicology Conference proceedings, Petrozavodsk, May 17-19, 2011.] Petrozavodsk, Petr GU Publ., pp. 42-44. (In Russian).

Gordeev V.V. 1984. Cherty geohimii rechnogo stoka v okean [Features of geochemistry of river flow into the ocean]. *Litologija i poleznye iskopaemye - Lithology and minerals*, no.5, pp. 29-50. (In Russian).

GOST R 51592-2000. *Obshhie trebovanija k otboru prob. Voda*. [GOST R 51592-2000. General requirements for sampling. Water]. 2000. Moscow, Izd-vo standartov Publ., 434 p. (In Russian).

Ezhegodnik - 2015 «*Kachestvo poverhnostnyh vod Rossijskoj Federacii*» [Yearbook - 2015 "Quality of surface waters of the Russian Federation"]. 2016. – Voronezh, ООО «Izdat-Print» Publ., 552 p. (In Russian).

Zelikman A. N. 1970. *Molibden* [Molibden]. Moscow, Metallurgija Publ., 440 p. (In Russian).

Kapkov V.I., Belenkina O.A., Fedorov V.D. 2011. Vliyanie tyzhelyh metallov na morskoy fitoplankton [Effect of heavy metals on marine phytoplankton]. *Vestn. Mosk. Un-ta. Ser. 16. Biologiya.- Herald of the Moscow University. Series 16. Biology*, no. 1, pp. 36-40. «In Russian».

Konovalov G.S., Koreneva V.I. 1979. Vynos mikroelementov rechnym stokom s territorii SSSR v morya v sovremennyj period [Removal of microelements by river flow from the territory of the USSR to the seas in the modern period] - *Gidrohimicheskie materialy - Hydrochemical ald of the Moscow University. Series 16. Biology*, no. 1, pp. 36-40. (In Russian).

Linnik P.N., Nabivanec B.I. 1986. *Formy migracii metallov v presnyh poverhnostnyh vodah* [Forms of migration of metals in fresh surface waters]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 270 p. (In Russian).

Metodicheskie ukazaniya po vypolneniyu izmerenij alyuminiya, bariya, berilliya,

vanadiya, vismuta, zheleza, kadmiya, kobal'ta, kremniya, litiya, marganca, medi, molibdena, mysh'yaka, nikelya, olova, svinca, seleno, serebra, stronciya, sur'my, talliya, tellura, titana, hroma, cinka v pit'evykh, prirodnykh i stochnykh vodah na atomno-absorbcionnom spektrometre «Kvant-Z.EHTA» s ehlektrotermicheskoj atomizaciej [Methodological guidelines for the measurement of aluminum, barium, beryllium, vanadium, bismuth, iron, cadmium, cobalt, silicon, lithium, manganese, copper, molybdenum, arsenic, nickel, tin, lead, selenium, silver, strontium, antimony, thallium, tellurium, Titanium, chromium, zinc in drinking, natural and waste waters on the atomic absorption spectrometer "Kvant-Z.ETA" with electrothermal atomization]. 2002. Sertificirovannaya zavodskaya metodika, 7 p. (In Russian).

Metody rybohozjajstvennykh i prirodoohrannykh issledovanij v Azovo-Chernomorskom bassejne. 2005. [Methods of fishery and environmental research in the Azov-Black Sea basin.2005]. Krasnodar, 351 p. (In Russian).

Perечen' rybohozyajstvennykh normativov: predel'no dopustimyh koncentracij (PDK) i orientirovochno bezopasnykh urovnej vozdejstviya (OBUV) vrednykh veshchestv dlya vody vodnykh ob'ektov, imeyushchih rybohozyajstvennoe znachenie [The list of fishery management standards: the maximum permissible concentrations (MPCs) and the roughly safe levels of exposure (OBUV) of harmful substances for water of water bodies that are of fishery importance]. 1999. Moscow, VNIRO Publ., 304 p. (In Russia).

Perel'man A.I., Kasimov N.S. 1999. *Geohimiya landshafta* [Geochemistry of the landscape]. Moscow, Astreja-2000 Publ., 763 p. «In Russian»

Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverhnostnykh vod i donnykh otlozhenij [Guidance on methods for the hydrobiological analysis of surface waters and sediments.]. 1983. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 240 p. (In Russian).

Rukovodstvo po himicheskomu analizu poverhnostnykh vod sushi. CH. 1 [Guidance on the chemical analysis of surface waters of the land. Part 1.]. 2009. Rostov-na-Donus, HOK Publ., pp. 510-567.

Trufanov A.I. 2011. Anomalii molibdena v prirodnykh vodah landshaftnykh rajonov juzhnoj i srednej tajgi [Anomalies of molybdenum in natural waters of landscape areas of southern and middle taiga] *Periodicheskij vypusk jelektronnogo zhurnala "Bjulleten' Orenburgskogo nauchnogo centra UrO RAN"-Periodical issue of the electronic journal "Bulletin of the Orenburg Scientific Center of the UrB RAS"*, no 3, Special'nyj vypusk Jelektronnyj resurs. URL: <http://regnet.uran.ru/ej/file-or/95>. (In Russian).

Horoshevskaja V.O., Predeina, L.M., Kozhevnikov A.V., Koreneva K.O. 2016. Jeksperiment po ustanovleniju vlijaniya vanadija na zhiznedateljnost' fitoplanktona [An experiment to determine the effect of vanadium on the vital activity of phytoplankton]. *Voda: himija i jekologija - Water: himija and jekologija*, no 4, pp. 79-86. (In Russian).

Horoshevskaja V.O. 2015. Rezul'taty jekspedicionnyh issledovanij sodержanija vanadija, nikelja i molibdena v vodah rek Priazov'ja [Results of expedition studies of the content of vanadium, nickel and molybdenum in the waters of the Azov River]. *Global'nyj nauchnyj potencia l- Global scientific potential*, no 2 (47), pp. 7-12. (In Russian).

Yakushina N.I., Bahtenko E.Yu. 2004. *Fiziologiya rastenij* [Plant Physiology]. Moscow, VLADOS Publ., 463 p. (In Russian).

Статья поступила в редакцию: 28.04.2017 г.

После переработки: 31.05.2017 г.