

## РЕАКЦИЯ НЕКОТОРЫХ АНТИОКСИДАНТОВ ПРОРОСТКОВ ЯЧМЕНЯ НА КИСЛОТНЫЙ ДОЖДЬ И ВИБРОЗВУКОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Проведено исследование влияния модельного кислотного дождя (МКД) и виброзвука на накопление некоторых антиоксидантов. Установлено, что однократная обработка растений МКД (рН=1,8) повышает содержание аскорбиновой кислоты, рутина, антоцианов, каротиноидов в проростках ячменя обыкновенного. Виброзвук с частотой 30 – 60 Гц с амплитудой микровибрации 2,8 – 5,4 мкм при 30- воздействии стимулирует накопление кислот системы аскорбата и рутина.

**Ключевые слова:** кислотный дождь, виброзвук, аскорбиновая кислота, рутин, антоцианы, каротиноиды.

Виброакустическое воздействие и рост кислотности атмосферных осадков – одни из основных проблем современности. Термином «кислотные дожди» называют все виды метеорологических осадков – дождь, снег, дождь со снегом, град, туман, – рН которых меньше, чем среднее значение рН дождевой воды (рН 5,6) [Тетко, 1989]. Шумовое (акустическое) и динамическое (вибрационное) воздействия являются результатом колебания тел, передаваемого непосредственно или через газообразные, жидкие и твердые среды (опосредованно). Основным источником таких воздействий является автомобильный (за последние 100 лет количество автомобилей возросло более чем в 1000 раз) [Богословский и др., 2000] и железнодорожный транспорт, а также воздушный транспорт, промышленные предприятия, строительные машины и механизмы. В связи ростом техногенной нагрузки на живые организмы особенно актуальным является изучение механизмов их адаптации к неблагоприятным факторам среды. Известно, что растения обладают разными системами защиты от негативного воздействия окружающей среды: увеличивается содержание таких антиоксидантов, как аскорбиновая кислота (АК), рутин, флавоны, полифенольные соединения [Smirnoff, 1996; Wheeler et al., 1998; Matysiak, 2001; Concetta de Pinto Maria et al., 2002; Ngo et al., 2001]. Однако до сих пор механизмы функционирования систем антиокислителей у растений изучены недостаточно. Данные по влиянию кислотного дождя и виброакустического воздействия на растения малочисленны. Целью данного исследования явилось изучение действия МКД и виброзвука на содержание антиоксидантов (аскорбиновой кислоты, рутина, каротиноидов и антоциановых пигментов) в онтогенезе растений.

В качестве объекта исследования использовались первые листья 5-10 – дневных проростков ячменя обыкновенного (*Hordeum vulgare* L.) сорта Роланд, выращенные на свету интенсивностью 5 Дж/м<sup>2</sup>·с в установке ТКШ -1 ФЛОРА. Растения подвергались обработке МКД с рН=1,8. В состав раствора модели входили 1%-ые растворы серной, соляной и азотной кислот [Velikova et al., 2000]. Первая группа растений обрабатывалась МКД только на 5 сутки (перед анализом и спустя два часа). Вторая – ежедневно с появления первых всходов в течение 10 суток перед анализом и через два часа. Виброзвук создавался аппаратом «Витафон» ТУ – 9444 – 003 – 33159359 – 95 в режиме 1 при амплитуде микровибрации 2,8 – 5,4 мкм с частотой 30 – 60 Гц. Аппарат контактным способом возбуждает микровибрацию тканей посредством непрерывно меняющейся частоты. Изменение частоты в заданных пределах и переход с одного диапазона на другой происходит автоматически по программе. Количество аскорбиновой (АК), дегидроаскорбиновой (ДАК) и дикетогулоновой (ДКГК) кислот определяли колориметрически [Чупахина, 2000], содержание аскорбиновой кислоты и рутина – титрометрически [Чупахина, 2004], антоциановые пигменты [Муравьева и др., 1981] и каротиноиды [Чупахина и др., 2004] – спектрофотометрически. Измерения оптической плотности проводили на спектрофотометре Юнико – 1201. Полученные данные обработаны статистически с использованием пакета электронных таблиц Microsoft Excel и программы Statistica 6.0 (метод парных сравнений) и представлены в виде средних арифметических значений и их стандартных отклонений из 3– 5 независимых экспериментов с 4 повторностями в каждом.

В ходе исследования влияния однократной обработки МКД на содержание некоторых антиоксидантов в проростках ячменя обыкновенного было показано, что уровень АК был выше в опытных вариантах и максимальный пул наблюдался у 10-дневных проростков (рис. 1). Самое высокое содержание АК отмечено в листьях растений первой опытной группы. Это свидетельствует о том, что защитные реакции растений при действии на них стрессора МКД происходят очень быстро (в течение минут) и протекают на уровне активации антиоксиданта АК [Noormets Asko, 2000].

Эндогенный уровень антоцианов был также выше у опытных групп (рис. 2). Ответная реакция растений на действие МКД была сильнее че-

рез два часа при повторном поливе, чем в первые минуты воздействия. Антоциановая индукция, возможно, способствует постепенной адаптации растительных организмов к тем или иным стрессовым условиям [Масленников, Чупахина, 2004].

В ходе исследования влияния однократной обработки МКД на содержание каротиноидов в проростках ячменя обыкновенного было показано (рис. 3), что их уровень в опытном варианте в 2 раза превосходил контрольный в первые минуты после полива и в 1,5 раза при повторном воздействии МКД спустя два часа. Повышенное содержание каротиноидов, вероятно, объясняется их участием в механизмах защиты фотосинтетического аппарата от различных повреждаю-

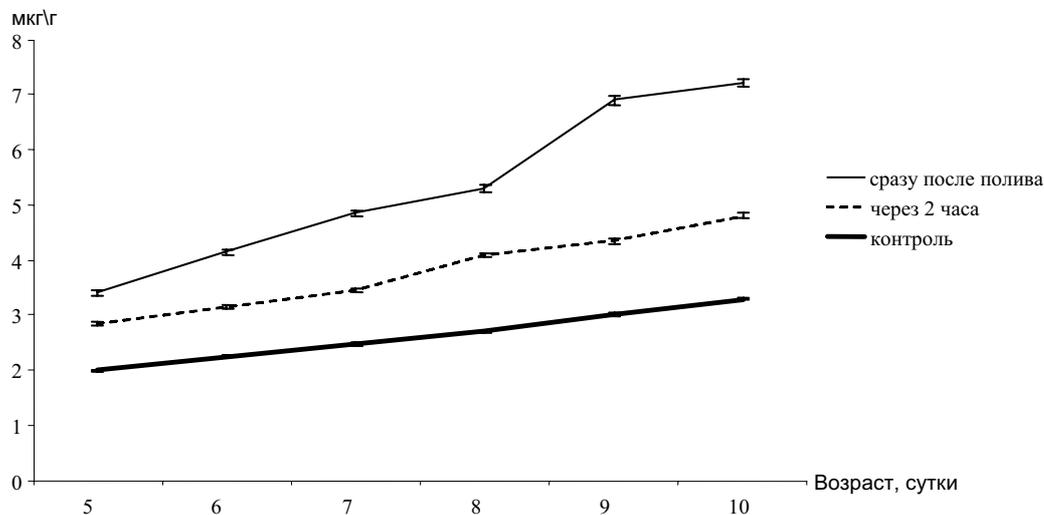


Рисунок 1. Влияние однократной обработки модельным кислотным дождем (рН 1,8) на содержание АК (мкг/г) в листьях проростков ячменя обыкновенного

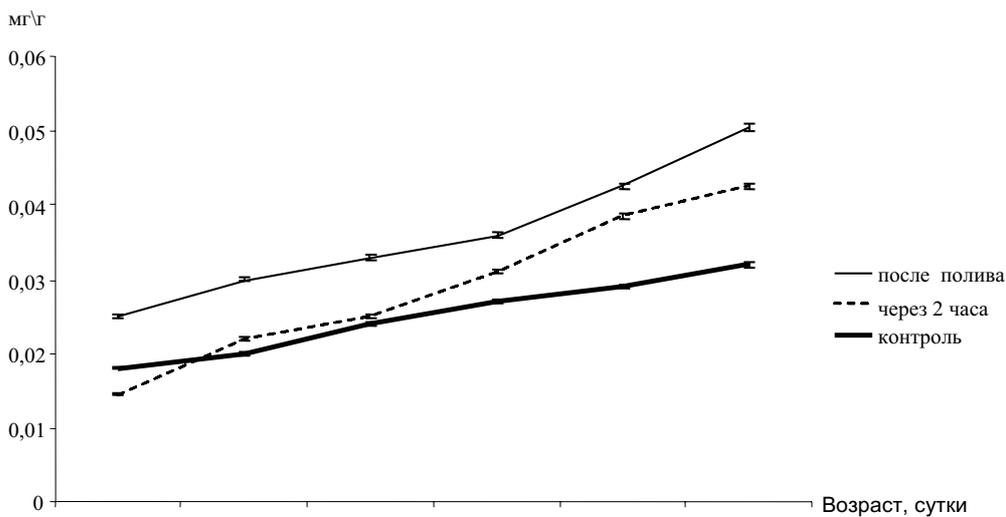


Рисунок 2. Влияние однократной обработки модельным кислотным дождем (рН 1,8) на содержание антоцианов (мг/г) в листьях проростков ячменя обыкновенного

щих факторов окружающей среды [Стржалка и др., 2003; Tracowell et al., 2001]. Аналогичная закономерность отмечена и в накоплении рутина.

В ходе исследования влияния ежедневной обработки МКД на содержание антоцианов в проростках ячменя обыкновенного было показано (рис. 4), что их уровень в опытных вариантах был ниже контрольного с максимальной разницей на 10-е сутки (в 3,5 раза). Полученные данные по влиянию многократной обработки МКД на другие антиоксиданты (АК, рутин и каротиноиды) неоднозначны и требуют дальнейшего анализа.

Таким образом, однократная обработка растений модельным кислотным дождем повы-

шает содержание исследуемых антиоксидантов (аскорбиновой кислоты, рутина, антоцианов, каротиноидов) в проростках ячменя обыкновенного, а ежедневное воздействие МКД снижает уровень антоциановых пигментов.

При изучении влияния виброзвука с частотой 30 – 60 Гц с амплитудой микровибрации 2,8 – 5,4 мкм на содержание кислот системы аскорбата в листьях ячменя было показано, что экспозиции 0,5, 1 и 5 мин снижали содержание АК, ДАК, ДКГК и оно было в среднем ниже контрольного в 1,2 раза (рис. 5). 30 – минутное виброакустическое воздействие стимулировало накопление АК у ячменя, причем, повышение уровня восстановленной формы АК (в 1,3 раза по от-

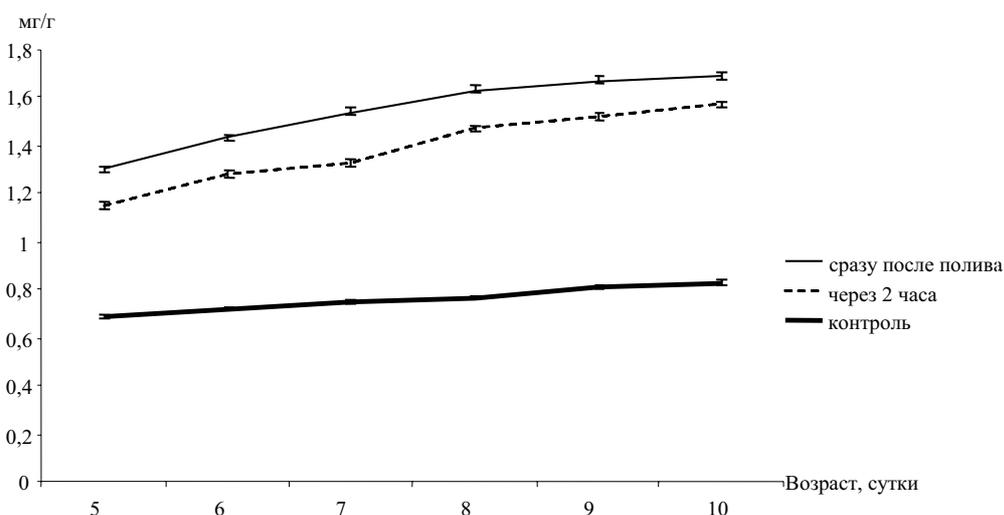


Рисунок 3. Влияние однократной обработки модельным кислотным дождем (рН 1,8) на содержание каротиноидов (мг/г) в листьях проростков ячменя обыкновенного

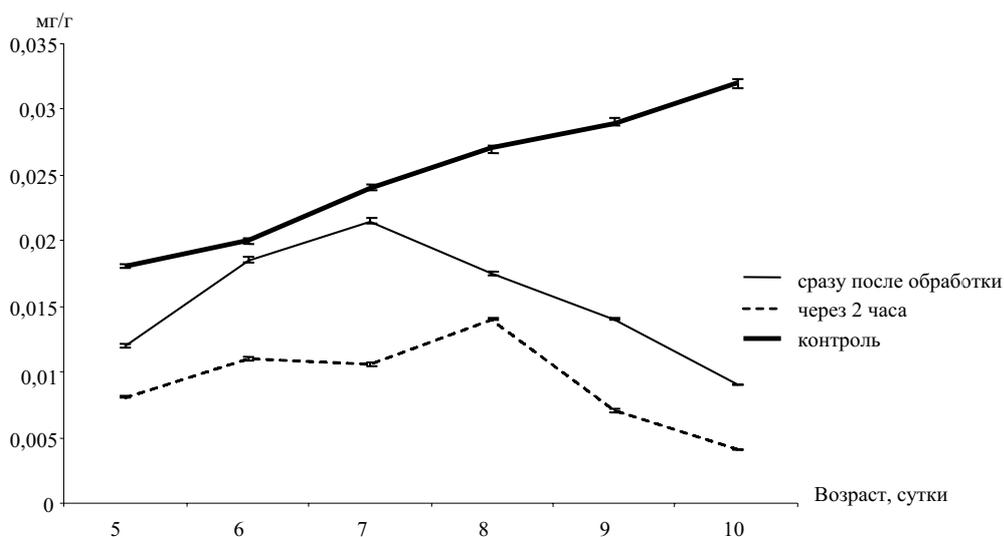


Рисунок 4. Влияние ежедневной обработки модельным кислотным дождем (рН 1,8) на содержание антоцианов (мг/г) в листьях проростков ячменя обыкновенного

ношению к контролю) сопровождалось увеличением ее окисленных форм (ДАК – в 1,5 и ДКГК – в 1,6 раза) (рис. 6), что указывает на одновременно идущие процессы биосинтеза и использования АК. Известно, что неблагоприятные факторы, а в данном случае это 30 – минутная виброзвуковая обработка, способны вызвать у растений окислительный стресс [Ежова и др., 1997; Мальдонадо, Палич, 1997], который, возможно, и привел к увеличению пула таких антиоксидантов, как аскорбиновая кислота.

Таким образом, виброзвук с частотой 30 – 60 Гц и экспозицией 30 мин повышал новообразование восстановленной формы аскорбиновой кислоты, а также ее использование в защитных реакциях растений, о чем свидетельствовал рост окисленных форм – дегидроаскорбиновой и дикетогулоновой кислот.

В ходе исследований влияния виброзвука на содержание рутина в листьях ячменя было

показано, что экспозиции 0,5 – 15 мин снижали уровень рутина в среднем в 1,2 раза, в то время как при 20 – 30-минутном воздействии виброзвуком количество рутина в опытном варианте в 1,3 раза превосходило контроль (рис. 7). Это могло быть обусловлено окислительно – восстановительной функцией данного соединения, которая связана с другими окислительно – восстановительными системами, а именно системой кислот аскорбата [Иванова, 2006].

Таким образом, виброзвуковая обработка с частотой 30 – 60 Гц с амплитудой микровибрации 2,8 – 5,4 мкм в течение 0,5, 1 и 5 мин снижает содержание АК, ДАК, ДКГК, а 0,5 – 15 мин экспозиции – и уровень рутина в проростках ячменя. С увеличением времени виброзвукового действия от 20 – 30 минут количество рутина повышается, а 30 – минутное воздействие стимулирует также накопление кислот системы аскорбата.

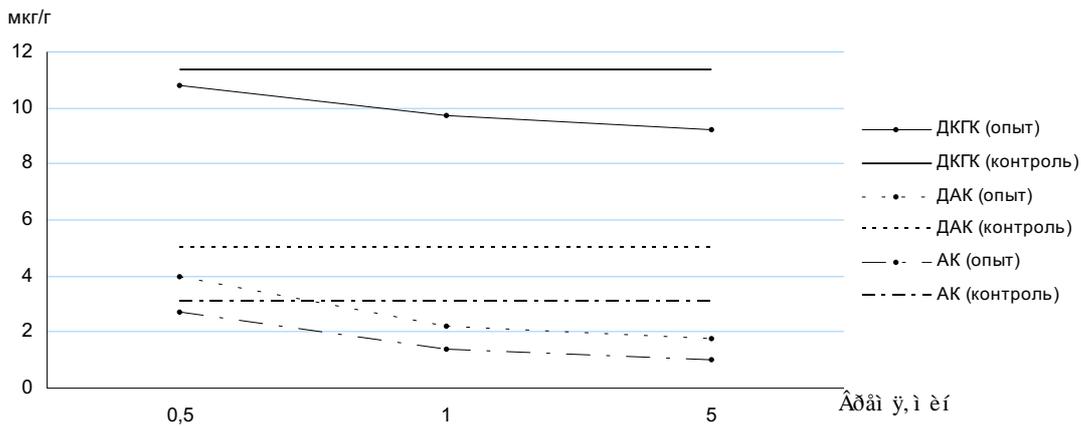


Рисунок 5. Влияние виброзвука (частота 30-60 Гц, амплитуда 2,8-5,4 мкм) на содержание АК, ДАК и ДКГК (мкг/г) в листьях проростков ячменя обыкновенного. Экспозиция - 0,5 - 5 мин.

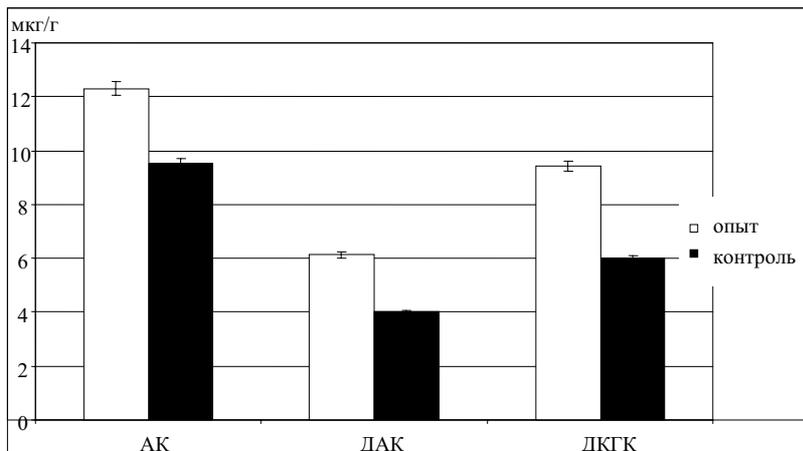


Рисунок 6. Влияние виброзвука (частота 30-60 Гц, амплитуда 2,8-5,4 мкм) на содержание АК, ДАК и ДКГК (мкг/г) в листьях проростков ячменя обыкновенного. Экспозиция – 30 мин.

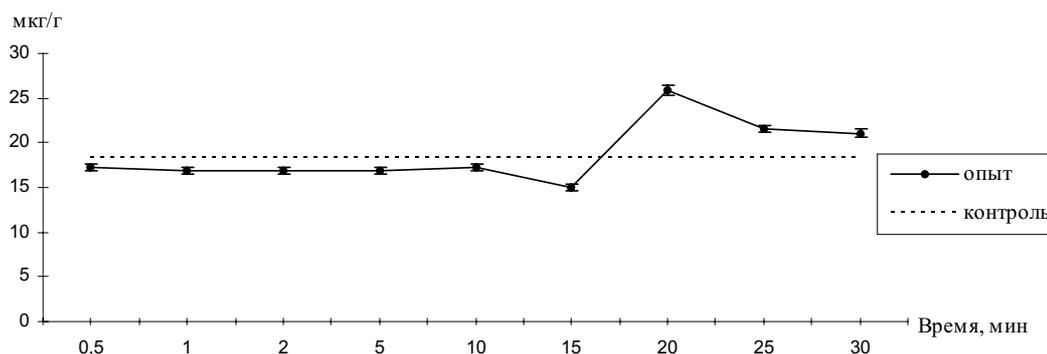


Рисунок 7. Влияние виброзвука (частота 30-60 Гц, амплитуда 2,8-5,4 мкм) на содержание рутина (мкг/г) в листьях проростков ячменя обыкновенного. Экспозиция - 0,5-30 мин.

Следовательно, механизм адаптации опытного растения ячменя обыкновенного к стрессу, который мог быть вызван модельным кислотным дождем и виброзвуковым воздей-

ствием, проявляется в активном синтезе антиоксидантов и одновременном их использовании на детоксикацию продуктов окислительного стресса.

27.10.2010

**Список литературы:**

1. Богословский В.А., Жигалин А.Д., Хмелевский В.К. Экологическая геофизика. М.: Изд-во МГУ, 2000. 256 с.
2. Гетко Н.В. Растения в техногенной среде. Минск.: Наука и техника, 1989. 205 с.
3. Ежова Т.А., Солдатова О.П., Ондар У.Н., Мамонова Л.Б., Радюкина Н.Л., Софьин А.В., Романов В.И., Шестаков С.В. Толерантные к норфлуразону карликовые мутанты *Arabidopsis thaliana* (L.) как объекты изучения резистентности к окислительному стрессу // Физиология растений. 1997. Т. 44, №5. С. 665 – 670.
4. Иванова Т.С. Эколого – биохимическая характеристика растений рода *Juglans* L. С различными адаптационными возможностями: Дис. к.б.н.: 03.06.06. Калининград, 2006. 21 с.
5. Мальдонадо К., Палич Е. Стабильность и авторегуляторные свойства цитоплазматической окислительно – восстановительной системы GSH / GSSG у растений пшеницы при воздействии умеренного водного дефицита // Физиология растений. 1991. Т. 38, №4. С. 730 – 735.
6. Масленников П.В., Чупахина Г.Н. Экологические аспекты антоциановой индукции в ювенильных листьях. Калининград. 2004. С. 15.
7. Муравьева, В.Н. Бубенчикова, В.В. Беликов. Спектрофотометрическое определение суммы антоцианов в цветках вазилька синего // Фармакология. 1984. Т. 36, №5. С. 28 – 29.
8. Стржалка К., Костецка-Гугала А., Латовски Д. Каротиноиды растений и стрессовое воздействие окружающей среды: роль модуляции физических свойств мембран каротиноидами // Физиол. раст. 2003. 50, №2. С. 188 – 193.
9. Чупахина Г.Н. Физиологические и биохимические методы анализа растений: Практикум / Калининградский ун-т. Калининград, 2000. 35 с.
10. Чупахина Г.Н., Масленников П.В. Методы анализа витаминов: Практикум / Калининградский ун-т. Калининград, 2004. 35 с.
11. Concetta de Pinto Maria, Tommasi Franca, De Gara Laura. Changes in the antioxidant systems as part of the signaling pathway responsible for the programmed cell death activated by nitric oxide and reactive oxygen species in tobacco bright-yellow 2 cells // Plant Physiology. 2002. 130, №2. P. 698 – 708.
12. Matysiak R. Content of carotinoids in needles of *Pinus sylvestris* L. growing in a polluted area // Dendrobiology. 2001. 46. P. 39 – 42.
13. Ngo T., Ringel Ch., Beer V., Wienhaus O. Vergleich der Nadelinhaltsstoffe Ascorbat, Chlorophyll und Stärke in Fichten auf unterschiedlich belasten Standorten // Forstwiss. 2001. 120, №4. S. 205 – 219.
14. Noormets Asko, Podila G. Krishna, Karnosky David F. // Forest Genet. 2000. 7, №4. P. 335 – 338.
15. Smirnoff N. The function and metabolism of ascorbic acid in plants // Annals of Botany. 1996. 78, №6. P. 661 – 669.
16. Tracewell Cara A., Vressos John S., Bautista Jams A., Frank Harry., Bradvig Gary W. Carotenoid photooxidation in photosystem II // Arch. biochem. and biophys. 2001. 385, №1. P. 61 – 69.
17. Velikova V., Yordanov I., Edreva A. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants protective role of exogenous polyamines // Plant Sci. 2000. 151, №1. С. 59 – 66.
18. Wheeler Glen L., Mark A. Jones, Smirnoff Nicholas. The biosynthetic pathway of vitamin C in higher plants // Nature. 1998. Vol. 393. P. 365 – 369.

Сведения об авторе: **Головина Елена Юрьевна**, доцент кафедры ботаники и экологии растений факультета биоэкологии Российского государственного университета имени И. Канта, кандидат биологических наук, e-mail: golowina@mail.ru

**Володина Александра Анатольевна**, старший научный сотрудник атлантического отделения института Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, кандидат биологических наук, e-mail: nezhenkandr@mail.ru