

## Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-6-12>

УДК 631.67:628.316: 6:628.113.1



### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ НА ЭВТРОФИКАЦИЮ ВОДОЕМОВ И РАБОТУ СИСТЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

О.Н. Дидманидзе<sup>1</sup>, А.В. Евграфов<sup>1✉</sup>, Д.А. Москвичев<sup>1</sup>, С.И. Харитонов<sup>2</sup>, А.Ю. Кульчев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Российский аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия

<sup>2</sup>ФГБНУ «ФНИЦ ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова»; 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, корпус 2, Россия

**Аннотация.** В статье рассмотрены результаты экспериментальных исследований факторов, влияющих на возникновение эвтрофикации водоемов. Проблема загрязнения поверхностных вод стала особо актуальной в XX в. Связано это в основном с развитием промышленности и ростом городов. Поступление в водоемы огромного количества загрязняющих веществ приводит к деградации как отдельных компонентов экосистемы, так и целых групп водоемов, что в свою очередь является причиной сокращения запасов пресной воды на локальном и региональном уровнях. С середины XX в. наблюдается стремительное нарастание количества эвтрофированных водоемов и непригодности воды для систем капельного орошения по причине закупорки эмиттеров, связанной с развитием водорослей и бактерий в поверхностных источниках орошения. Для очистки капельниц применяют хлорирование путем добавления в поливную воду гипохлорита натрия в жидкой форме (NaOCl) или твердой формы гипохлорита кальция (Ca(OCl)<sub>2</sub>), которое вызывает подавление развития водорослей, что негативно влияет на почву и производимую продукцию. Цель исследований заключается в выявлении влияния степени затенения водной поверхности на рост и развитие сине-зеленых водорослей, на водородный показатель, карбонатную жесткость и содержание биогенных элементов в воде, а также ее дальнейшей пригодности для капельного орошения. В результате исследований установлена динамика развития водорослей в зависимости от степени освещенности водной поверхности и изменения содержания биогенных элементов.

**Ключевые слова:** эвтрофикация водоемов, капельное орошение, цветение воды, биогенные элементы, азотные и фосфорные элементы, освещение, хлор

**Формат цитирования:** Дидманидзе О.Н., Евграфов А.В., Москвичев Д.А., Харитонов С.И., Кульчев А.Ю. Экспериментальные исследования влияния освещения на эвтрофикацию водоемов и работу систем капельного орошения // Природообустройство. 2024. № 3. С. 6-12. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-6-12>

Original article

### EXPERIMENTAL STUDIES OF THE EFFECT OF LIGHTING ON EUTROPHICATION OF WATER BODIES AND THE OPERATION OF DRIP IRRIGATION SYSTEMS

O.N. Didmanidze<sup>1</sup>, A.V. Evgrafov<sup>1✉</sup>, D.A. Moskvichev<sup>1</sup>, S.I. Kharitonov<sup>2</sup>, A.Y. Kulchev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Russian Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy;

Institute of Mechanics and Power Engineering named after V.P. Goryachkin; 127434, Moscow, st. Timiryazevskaya. 49, Russia

<sup>2</sup>All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov; 127434, Moscow, st. Bolshaya Akademicheskaya, 44 building 2, Russia

**Abstract.** The article discusses the results of experimental studies of factors influencing the occurrence of eutrophication of water bodies. The problem of surface water pollution became particularly relevant in the 20th century. This is mainly due to the development of industry and urban growth. The entry of huge amounts of pollutants into water bodies leads to the degradation of both individual components

of the ecosystem and entire groups of water bodies. This, in turn, causes a reduction in freshwater supplies at the local and regional level. Since the middle of the 20th century, there has been a rapid increase in the number of eutrophicated reservoirs and the unsuitability of water for drip irrigation systems due to clogging of emitters associated with the development of algae and bacteria in surface irrigation sources. To clean drippers, chlorination is used by adding sodium hypochlorite in liquid form (NaOCl) or solid form of calcium hypochlorite ( $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ) to irrigation water, which suppresses the development of algae, which negatively affects the soil and the products produced. The purpose of the study is to identify the influence of the degree of shading of the water surface on the growth and development of blue-green algae, as well as on the pH value, carbonate hardness and content of nutrients in water, and its further suitability for drip irrigation. As a result of the research, the dynamics of algae development was established depending on the degree of illumination of the water surface and changes in the content of biogenic elements in it.

**Keywords:** Eutrophication of reservoirs, drip irrigation, water blooming, biogenic elements, nitrogen and phosphorus elements, lighting, chlorine

**Format of citation:** Didmanidze O.N., Evgrafov A.V., Moskvichev D.A., Kharitonov S.I., Kulchev A.Y. Experimental studies of the effect of lighting on eutrophication of water bodies and the operation of drip irrigation systems // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 3. P. 6-12. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-6-12>

**Введение.** Согласно ГОСТ 17.1.1.01-77 эвтрофированием называется повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления биогенных элементов под действием антропогенных или естественных факторов, то есть это процесс увеличения уровня питательных веществ (азота и фосфора) в водных системах, что приводит к избыточному росту водных растений, водорослей и вызывает серьезные экологические проблемы.

В России эвтрофикация становится все более актуальной проблемой по причине таких факторов, как:

- антропогенные источники загрязнения, рост населения, индустриализация и сельское хозяйство, приводящие к увеличению поступления азота и фосфора в водные системы;
- сброс сточных вод в водоемы;
- изменение климата в сторону потепления, и как следствие – повышение температуры воды в водоемах.

Источником антропогенного поступления биогенных элементов являются сточные воды поселений, сельскохозяйственных угодий, промышленных предприятий. При эвтрофикации наблюдается цветение воды, массовое развитие высших водных растений, что приводит к биологическому засорению систем капельного полива.

Закупорка эмиттеров связана с развитием водорослей и бактерий как в источнике орошения, так и в системе. При использовании воды из открытых источников засорение капельниц возникает по причине распространения сине-зеленых водорослей.

Для очистки применяют хлорирование, которое вызывает подавление развития водорослей в воде. В поливную воду вводят хлор в концентрации 20 мг/л. Промывка производится в течение 30-60 мин. Для этого используют гипохлорит

натрия в жидкой форме (NaOCl) или твердую форму гипохлорита кальция ( $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ). Однако опасность данной операции заключается в следующем:

1. Людей, работающих в поле, необходимо предупреждать о том, что обработанная вода является токсичной.
2. Хранить химикат в течение даже непродолжительного времени нельзя, так как он теряет свою активность.
3. В состоянии газа хлор выделяет токсичные испарения.
4. При превышении концентрации хлора в организме накапливаются хлораты, которые приводят к химическому отравлению организма человека и животных.
5. Растения накапливают в себе хлор и хлорсодержащий остаток, который участвует во многих физиологических процессах растений, и сельхозпроизводители часто сталкиваются с его чрезмерным количеством.
6. Хлор негативно влияет на большинство культур по причине избытка в почве. Молодые растения особенно чувствительны к этому микроэлементу, поскольку он влияет на ферментативные системы и приводит к нарушению развития растений, что проявляется в высыхании верхушек и краев листьев с последующим потемнением и опаданием.
7. Хлор приводит к изменению компонентного состава почвы и снижению дыхательной активности ее микробиоты [1].

**Материалы и методы исследований.** Отбор проб воды для проведения экспериментальных исследований производился 18.04.2023 г. из Нижнего Фермского пруда, расположенного на территории РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (рис. 1).



Опыт был начат 04.06.2023 г. в 7:00 по московскому времени. Свет выставлен на высоте 10 см над уровнем воды, имитируя теплый весенний день. Была выбрана продолжительность светового дня: 12 часов, с 7:00 до 19:00. Выбор такой продолжительности основывается на работе «Свет и развитие растений» (Шаин С.С., Богданов П.И., Капманов А.А., Косарева Е.Г., Кособоков Г.И., Кузнецова Г.К., Могова А.В., Трусова Н.Р., Тямин В.В., 1963) [2].

С периодичностью один раз в 7 дней с момента начала эксперимента (11 апреля 2023 г.)

производился забор воды и проводился анализ по следующим показателям:

- 1)  $PO_4^3$  – фосфаты;
- 2)  $kH$  – карбонатная жесткость;
- 3)  $NO_3^-$  – нитраты;
- 4)  $pH$  – водородный показатель.

Отобранные пробы анализировались при помощи профессиональных тестов VladOx для воды (рис. 5).

На рисунке 6 представлены боксы с затенением поверхности 95, 50, 25 и 0%, а также показано развитие водорослей по неделям.

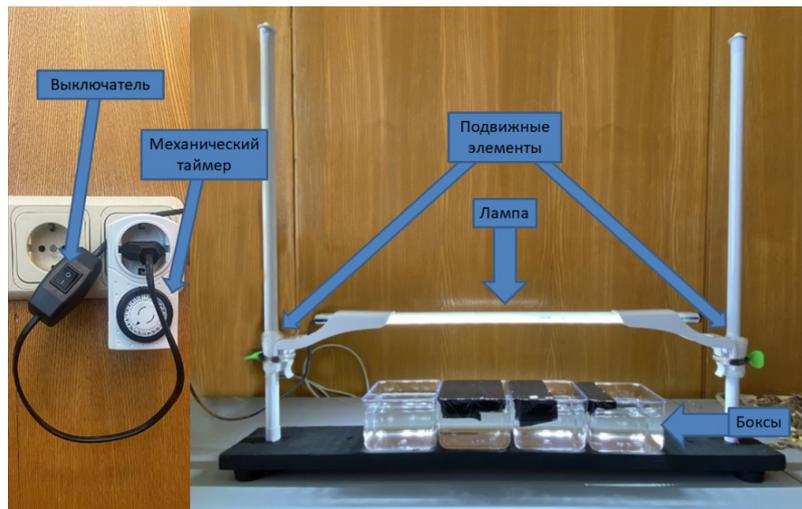


Рис. 3. Схема экспериментальной установки

Fig. 3. Scheme of the experimental installation

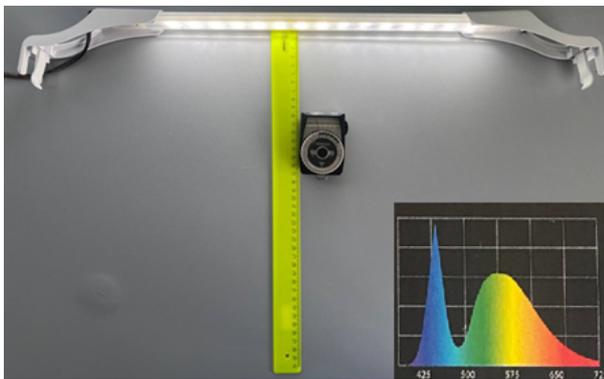


Рис. 4. Параметры лампы и высота расположения

Fig. 4. Lamp parameters and location height



Рис. 5. Профессиональные тесты VladOx для воды

Fig. 5. Professional tests for VladOx water

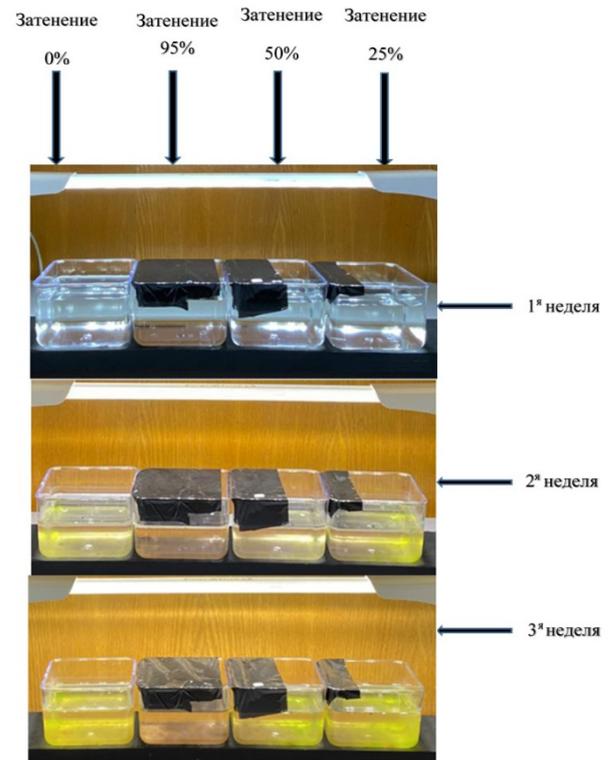


Рис. 6. Развитие водорослей в боксах

Fig. 6. Algae development in boxes

**Результаты и их обсуждение.** В ходе проведения экспериментальных исследований отмечено, что развитие водорослей зависело от степени затенения поверхности. Соответственно визуально максимальный рост отмечен в боксах с затенением 0 и 25%, меньше – в боксе с открытой поверхностью 50% и с затенением 95% – наблюдались следы растительности. На четвертой неделе проведения опытов наблюдалось пожелтение, а к шестой неделе – гибель водной растительности.

По данным литературы, наиболее благоприятными для развития сине-зеленых водорослей является нейтральная реакция и температура воды от 2° С. По мере возрастания рН от 4,0 до 10,0 количество видов и форм сначала увеличивается, затем уменьшается, достигая максимума в интервале рН 6-7 [3, 4].

На рисунке 8 представлены результаты замеров рН во время проведения эксперимента, из которых следует, что в течение первой недели водородный показатель во всех четырех боксах находился на уровне 7. На второй неделе показатель в боксе с 95%-ным затенением поверхности остался на прежнем уровне, а в остальных – поднялся до 7,5. Далее происходил рост рН, в дальнейшем достигнув максимального значения 8, при котором наблюдалась гибель водорослей, что соответствует данным источников литературы.

В процессе эксперимента производился также замер карбонатной жесткости воды кН, град., согласно ГОСТ 31865-2012 «Вода. Единица жесткости» (рис. 9) [6]. Во всех боксах отмечена тенденция снижения карбонатной жесткости с 10 до 3.

По данным литературы, в дневное время водоросли поглощают углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), как и другие водные растения. Если уровень  $\text{CO}_2$  в воде становится слишком низким, водоросли могут получать  $\text{CO}_2$  из карбонатной жесткости (кН) [7].

Жесткость воды определяется содержанием в ней растворенных солей кальция и магния. Высокая жесткость способствует бурному росту водорослей и водных растений, вызывая цветение воды, снижение прозрачности и нарушение баланса экосистемы.

Фосфаты и нитраты необходимы для растений. В период цветения уменьшается содержание в воде биогенных веществ – таких, как нитраты и фосфаты (рис. 10, 11). При снижении концентрации фосфатов до нуля массовое развитие цианобактерий (сине-зеленых водорослей) прекращается [8-11].

Результаты опытов по изменению содержания фосфатов  $\text{PO}_4^{3-}$  и  $\text{NO}_3$  нитратов приведены на рисунках 10, 11. Из содержания рисунков следует, что в процессе активного роста и развития

сине-зеленых водорослей наблюдалось падение концентрации фосфатов и нитратов в боксах, причем с увеличением степени затенения боксов динамика падения концентрации

$\text{PO}_4^{3-}$  и  $\text{NO}_3$  замедлялась в связи со снижением активности роста водорослей, что подтверждается данными литературы.

Оценка пригодности воды для капельного орошения по СП 100.13330.2016 приведена в таблице [12]. Из данных таблицы следует, что вода при применении технологии затенения пригодна для капельного орошения по таким показателям, как рН (рис. 8) и количество популяций водорослей, которая оценивалась визуально (рис. 6).

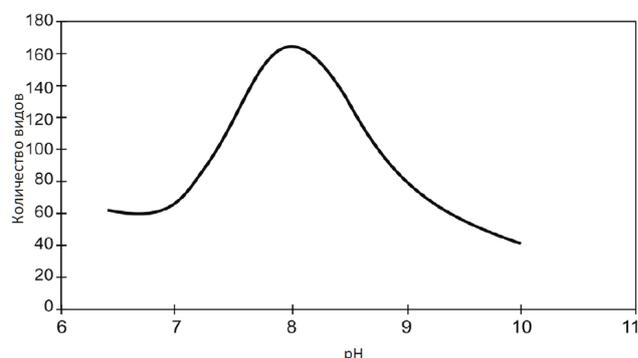


Рис. 7. Распределение растений в диапазоне активной реакции воды [5]

Fig. 7. Distribution of plants in the range of active water reaction [5]

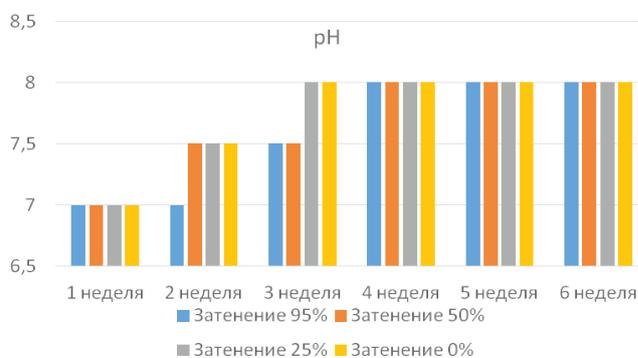


Рис. 8. Результаты замера рН в боксах

Fig. 8. Results of measuring kH in boxes

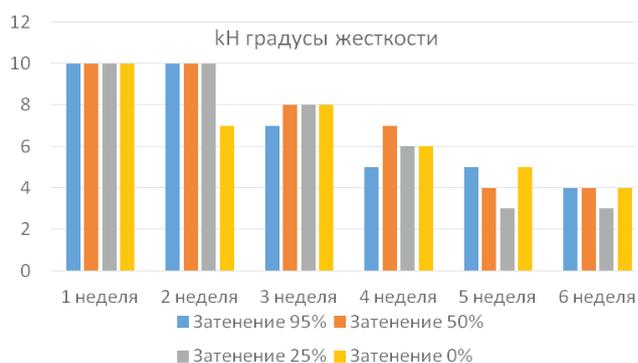


Рис. 9. Результаты замера кН в боксах

АНГЛ

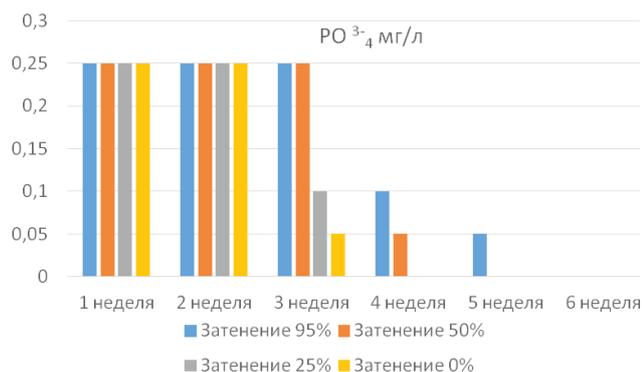


Рис. 10. Результаты замера  $PO_4^{3-}$  в боксах  
Fig. 10. Results of measuring  $PO_4^{3-}$  in boxes

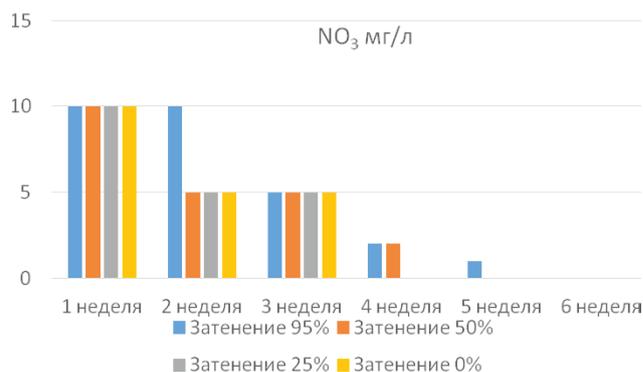


Рис. 11. Результаты замера  $NO_3$  в боксах  
Fig. 11. Results of measuring  $NO_3$  in boxes

**Таблица. Показатели пригодности воды по степени влияния на элементы системы капельного орошения [12]**

**Table. Indicators of water suitability by the degree of influence on the elements of the drip irrigation system [12]**

Показатель <i>Indicator</i>	Степень пригодности воды / <i>Degree of water suitability</i>		
	Пригодна <i>Suitable</i>	Условно пригодна <i>Conditionally suitable</i>	Непригодна <i>Unusable</i>
Общая минерализация мг/л <i>General mineralization mg / l</i>	<500	500-2000	>2000
рН	6-7	7-8	>8
Содержание марганца мг/л / <i>Manganese content mg / l</i>	<0,1	0,1-1,5	>1,5
Содержание железа мг/л / <i>Iron content mg / l</i>	<0,2	0,2-1,5	>1,5
Содержание сероводорода мг/л <i>Hydrogen sulfide content mg / l</i>	<0,2	0,2-2,0	>2,0
Количество популяций бактерий <i>Quantity of bacteria ppulations</i>	<10·10 <sup>6</sup>	10·10 <sup>6</sup> -50·10 <sup>6</sup>	>50·10 <sup>6</sup>

**Выводы**

1. Закупорка эмиттеров капельниц при заборе воды из поверхностных источников связана с развитием водорослей и бактерий.

2. Для очистки применяют хлорирование, которое вызывает подавление развития водорослей в воде. В состоянии газа хлор выделяет токсичные испарения, которые приводят к химическому отравлению организма человека и животных; растения накапливают

в себе хлор, что приводит к нарушению их развития.

3. Хлор вызывает изменение компонентного состава почвы и снижение дыхательной активности ее микробиоты.

4. Затенение поверхности источника орошения приводит к угнетению сине-зеленых водорослей, что позволяет отказаться от применения промывки систем капельного орошения хлорсодержащими веществами.

**Список использованных источников**

1. Рымовская М.В., Романовский В.И. Воздействие отработанных растворов дезинфекции сооружений водоснабжения на почву // Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2016. № 4 (186). С. 214-219. EDN: WHMPSP.
2. Шаин С.С. Свет и развитие растений / Богданов П.И., Кашманов А.А. и др. М.: Сельхозиздат, 1963. 623 с.
3. Никитина В.Н. Сине-зеленые водоросли термальных местообитаний: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Санкт-Петербург: 2000. 43 с. EDN: NJNKYF.
4. Сокольский А.Ф., Воронина А.И., Башмакова В.И. Влияние значения рН на организмы высших водных растений и моллюсков-фильтраторов // Перспективы развития строительного комплекса. 2017. № 1. С. 21-24. EDN: ZOFTSN.

**References**

1. Rymovskaya M.V. The effect of spent disinfection solutions of water supply facilities on the soil / M.V. Rymovskaya, V.I. Romanovsky // Proceedings of BSTU. No. 4. Chemistry, technology of organic substances and biotechnology. 2016. No. 4(186). P. 214-219. – EDN WHMPSP.
2. Shain S.S. Light and plant development / Bogdanov P.I., Kashmanov A.A. et al. M.: Agricultural publishing House, 1963. 623 p.
3. Nikitina V.N. Blue-green algae of thermal habitats: specialty 03.00.05: abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Biological Sciences / Nikitina Valentina Nikolaevna. – St. Petersburg, 2000. 43 p. – EDN NJNKYF.
4. Sokolsky A.F. Influence of pH value on organisms of higher aquatic plants and filter mollusks / A.F. Sokolsky, A.I. Voronina, V.I. Bashmakova // Prospects

5. **Зиновьева А.Е., Дурникин Д.А.** Влияние активной реакции воды (рН) на распределение водных и прибрежно-водных растений в водоемах юга Обь-Иртышского междуречья // Известия Алтайского государственного университета. 2012. № 3-2 (75). С. 21-24. EDN: PMDMCF.

6. ГОСТ 31865-2012. Вода. Единица жесткости. М.: Стандартинформ, 2019.

7. **Ивчатов А.Л.** Химия воды и микробиология: учебник / Малов В.И., Ивчатов А.Л., Малов В.И. М.: ИНФРА-М, 2011. EDN: QKTQGH.

8. **Беспалова К.В., Селезнева А.В., Селезнев В.А.** Питьевое водоснабжение в условиях массового развития сине-зеленых водорослей на водохранилищах // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 2. С. 121-134. DOI: 10.35567/1999-4508-2021-2-9. EDN: KSKHDN.

9. **Harke M.J., Steffen M.M., Gobler C.J., Otten T.G., Wilhelm S.W., Wood S.A., Paerl H.W.** A review of the global ecology, genomics, and biogeography of the toxic cyanobacterium, *Microcystis* spp. Harmful Algae. 2016. Vol. 54. Pp. 4-20.

10. **Li J., Li R.** Current research scenario for microcystins biodegradation – A review on fundamental knowledge, application prospects and challenges // Science of the Total Environment. 2017. Vol. 595. Pp. 615-632.

11. **Fagan R., Cormack D.E., Dionysiou D.D., Pillai S.C.** A review of solar and visible light active TiO<sub>2</sub> photocatalysis for treating bacteria, cyanotoxins and contaminants of emerging concern // Materials Science in Semiconductor Processing. 2016. Vol. 42. Pp. 2-14.

12. СП100.13330.2016. Свод правил. мелиоративные системы и сооружения. СНиП 2.06.03 85 (дата актуализации: 01.01.2021). URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293747/4293747638.htm>.

#### Об авторах

**Отари Назирович Дидманидзе**, академик РАН, д-р. техн. наук, профессор; ORSID: 0000-0003-2558-0585; AuthorID: 311972; [didmanidze@rgau-msha.ru](mailto:didmanidze@rgau-msha.ru)

**Алексей Владимирович Евграфов**, д-р. техн. наук, доцент; ORSID: 0000-0002-2313-2191, AuthorID: 828739; [labpoliv@list.ru](mailto:labpoliv@list.ru)

**Дмитрий Александрович Москвичев**, канд. техн. наук, AuthorID, 964662; [moskvichev@rgau-mcha.ru](mailto:moskvichev@rgau-mcha.ru)

**Станислав Игоревич Харитонов**, старший научный сотрудник; ORSID: 0000-0001-8891-4568, AuthorID: 835849; [s9169645595@yandex.ru](mailto:s9169645595@yandex.ru)

**Андрей Юрьевич Кульчев**, младший научный сотрудник; ORSID: 0000-0002-1885-8959, AuthorID: 1118272; [andreykulchev@rambler.ru](mailto:andreykulchev@rambler.ru)

#### Критерии авторства / Criteria of authorship

Дидманидзе О.Н., Евграфов А.В. Москвичев Д.А., Харитонов С.И., Кульчев А.Ю. выполнили практические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов / Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests / Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

#### Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 21.04.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 15.05.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 15.05.2024

for the development of the construction complex. 2017. No. 1. P. 21-24. – EDN ZOFTSN.

5. **Zinovieva A.E.** The influence of the active reaction of water (pH) on the distribution of aquatic and coastal aquatic plants in the reservoirs of the south of the Ob-Irtysh interfluvium / A.E. Zinovieva, D.A. Durnikin // Izvestiya Altai State University. 2012. No. 3-2(75). P. 21-24. – EDN PMDMCF.

6. GOST 31865-2012 "Water. The unit of rigidity." Moscow: Standartinform, 2019.

7. **Ivchatov A.L.** Water Chemistry and Microbiology: textbook / A.L. Ivchatov, V.I. Maslov; A.L. Ivchatov, V.I. Maslov. M.: INFRA-M, 2011. – ISBN 978-5-16-002421-9. – EDN QKTQGH.

8. **Bespalova K.V.** Drinking water supply in conditions of mass development of blue-green algae in reservoirs / K.V. Bespalova, A.V. Selezneva, V.A. Seleznev // Water management of Russia: problems, technologies, management. 2021. No. 2. P. 121-134. – DOI 10.35567/1999-4508-2021-2-9. – EDN KSKHDN.

9. **M.J. Harvey, M.M. Stefan, C.J. Gobler T.G., Ottex S.W., Wilhelm, S.A. Wood, H.W. Pearl.** A review of the global ecology, genomics, and biogeography of the toxic cyanobacterium, *Microcystis* spp. Harmful Algae. 2016. Vol. 54. P. 4-20.

10. **Li J., Li R.** Current research scenario for microcystins biodegradation – A review on fundamental knowledge, application prospects and challenges // Science of the Total Environment. 2017. Vol. 595. P. 615-632.

11. **Fagan R., Cormack D.E., Dionysiou D.D., Pillai S.C.** A review of solar and visible light active TiO<sub>2</sub> photocatalysis for treating bacteria, cyanotoxins and contaminants of emerging concern // Materials Science in Semiconductor Processing. 2016. Vol. 42. P. 2-14.

12. SP100.13330.2016. A set of rules. reclamation systems and structures. The reclamation systems and construction updated version of snip 2.06.03-85. Update date 01.01.2021. <https://meganorm.ru/Index2/1/4293747/4293747638.htm>

#### About the authors

**Otari N. Didmanidze**, Academician of the Russian Academy of Sciences, DSc (Tech), Professor; ORSID: 0000-0003-2558-0585; AuthorID: 311972; [didmanidze@rgau-msha.ru](mailto:didmanidze@rgau-msha.ru)

**Alexey V. Evgrafov**, DSc (Tech), associate professor; ORSID: 0000-0002-2313-2191, AuthorID: 828739; [labpoliv@list.ru](mailto:labpoliv@list.ru)

**Dmitry A. Moskvichev**, CSc (Tech); AuthorID, 964662; Sciences; [moskvichev@rgau-mcha.ru](mailto:moskvichev@rgau-mcha.ru)

**Stanislav I. Kharitonov**, ORSID: 0000-0001-8891-4568, AuthorID: 835849; [s9169645595@yandex.ru](mailto:s9169645595@yandex.ru)

**Andrey Yu. Kulchev**, ORSID: 0000-0002-1885-8959, AuthorID: 1118272, [andreykulchev@rambler.ru](mailto:andreykulchev@rambler.ru)

Didmanidze O.N., Evgrafov A.V., Moskvichev D.A., Kharitonov S.I., Kulchev A.Y. carried out practical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.