

Результаты исследования по разработке конструктивно-технологического устройства защиты водозаборов оросительных систем от сине-зеленых водорослей

Елгуджа Демурович Хецуриани

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, г. Новочеркасск, Россия

e-mail: goodga@mail.ru

Аннотация. В статье представлена информация проведенных экспериментальных исследований по разработке конструктивно-технологического устройства по защите водозаборов оросительных систем от сине-зеленых водорослей. Целью данного опыта являлось определение знака заряда крупных колоний цианобактерий. В ходе проведенных опытов было установлено, что колонии «живых» цианобактерий имеют отрицательный знак заряда, так как обнаруживали характерное движение в сторону анода, а колонии «отмерших» водорослей показали отсутствие характерного движения к аноду или катоду, что свидетельствует об отсутствии заряда. Исследования по разработке конструктивно-технологического устройства защиты водозаборов оросительных систем от сине-зеленых водорослей проводили в три этапа: пробное коагулирование в лабораторных условиях; фильтрование с использованием ершей в лабораторных условиях; натурные исследования на пилотной установке. В заключении предлагается новый технологический метод оздоровления водной экосистемы в виде водозаборно-очистного сооружения. Внедрение разработанного конструктивно-технологического устройства защиты водозаборов оросительных систем от сине-зеленых водорослей придаст режиму работы дождевальных машин стабильность, значительно сократит энергозатраты на перекачку оросительной воды во время цветения водоемов, повысит плодородие почвы, что в итоге увеличит урожайность сельскохозяйственных культур и в целом повысит функциональность работы мелиоративной системы.

Ключевые слова: оросительная вода; мелиоративный водозабор; ихтиофауна; сине-зеленые водоросли; цветение водоемов; дождевальные машины; плодородие почвы.

Для цитирования: Хецуриани Е. Д. Результаты исследования по разработке конструктивно-технологического устройства защиты водозаборов оросительных систем от сине-зеленых водорослей // Аграрный научный журнал. 2022. № 4. С. 103–108. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp103-108>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

The results of a study on the development of a constructive and technological device for protecting water intakes of irrigation systems from blue-green algae

Yelguja D. Khetsuriani

Russian Research Institute for Land Reclamation Problems, Novocherkassk, Russia

e-mail: goodga@mail.ru

Abstract. The article presents the information of the conducted experimental studies on the development of a constructive and technological device for the protection of water intakes of irrigation systems from blue-green algae. The purpose of this experiment was to determine the charge sign of large colonies of cyanobacteria. During the experiments, it was found that colonies of “living” cyanobacteria have a negative charge sign, since they detected a characteristic movement towards the anode, and colonies of “dead” algae showed no characteristic movement towards the anode or cathode, which indicates the absence of charge. Research on the development of a constructive and technological device for protecting water intakes of irrigation systems from blue-green algae was carried out in three stages: trial coagulation in laboratory conditions; filtration using ruffs in laboratory conditions; field studies at the pilot plant. In conclusion, a new technological and design method of improving the aquatic ecosystem, in the form of a water intake and treatment facility, is proposed. The introduction of the developed constructive and technological device for protecting irrigation system intakes from blue-green algae will give the operation mode of sprinkler machines stability, significantly reduce energy consumption for pumping irrigation water during the flowering of reservoirs, increase soil fertility, which will eventually increase crop yields and generally improve the functionality of the reclamation system.

Keywords: irrigation water; reclamation water intake; ichthyofauna; blue-green algae; blooming reservoirs; sprinkler machines; soil fertility.

For citation: Khetsuriani Ye. D. The results of a study on the development of a constructive and technological device for protecting water intakes of irrigation systems from blue-green algae // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(4):103–108. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp103-108>.

Введение. Экологическое состояние (ЭС) водных объектов в пределах бассейна Нижнего Дона в значительной степени зависит от естественных процессов эвтрофикации, которая в причинно-следственной цепи взаимосвязана массовым развитием цианобактерий (сине-зеленых водорослей) как вредоносного «цветения» воды на действующих водохранилищах, прудах, озерах неотъемлемо взаимосвязанных с речной гидрографической сетью. Следует отметить, что в пределах речной гидрографической сети Нижнего Дона функционируют порядка 44 водозаборных технологических комплексов (ВТК) систем многоцелевого водоснабжения населенных пунктов, где проживает более 5 млн. городского и сельского населения [1, 4–6].

Одним из наиболее изученных токсинов сине-зеленых водорослей является микроцистин. Микроцистины – это циклические токсины, являющиеся пептидами, составляют одну уникальную фенил-дека кислоту, содержат четыре неизменные D-аминокислоты, и две переменные L-аминокислоты. Среди более чем 80 микроцистинов, выявленных на сегодняшний день, лишь немногие из них встречаются часто и в высоких концентрациях. Microcystin-LR является одним из наиболее частых и наиболее токсичных соединений цианобактерий. Множество видов цианобактерий содержат эти токсины. Зарождение микроцистинов происходит внутри клетки, а значительное количество их попадает в воду вследствие клеточного





разрушения либо защитных реакций клетки. Предварительное нормальное содержание Microcystin-LR в воде, принятое Всемирной организацией здравоохранения, составляет 0,001 мг/л. Рекомендуемое значение является предварительным, так как оно распространяется только на Microcystin-LR. Из-за широкого распространения эвтрофикации в водоемах эти токсины могут встречаться чаще и в неестественно высокой концентрации. На сегодняшний день информации по токсинам цианобактерий крайне мало, а новые данные по токсичности цианобактерий токсинов генерируются.

Установлено, что люди менее чувствительны к действию токсичных цианобактерий, чем животные, хотя результаты такого воздействия мало известны [2–5]. Это объясняется тем, что человек с его острым обонянием просто удерживается сам от употребления застойной гнилой воды. Вероятно, на эту возможность мало обращали внимания, и она просто оказалась недостаточно учтенной. Во всяком случае, поводы для контакта с этими организмами имеются. Водозабор из поверхностных источников для нужд ирригации, объем которых составляет по России более 40 % от всего водопользования, оказывает значительное влияние на нормальную работу инженерно-мелиоративных систем. При ухудшении качественных показателей состава воды, которая забирается на мелиоративные системы, значительно снижается плодородие почвы, нарушается работоспособность насосных станций и дождевальных машин. Вместе с оросительной водой из поверхностных водоемов в насосные агрегаты и на поля орошения попадает молодь рыб, которая в последующем гибнет там же. В результате увеличивается нагрузка на насосные станции.

Методика исследований. В связи с вышеизложенным в статье представлены результаты экспериментальных исследований по разработке конструктивно-технологических устройств защиты водозаборов оросительных систем от сине-зеленых водорослей. В работе предложена экологически безопасная конструкция функциональной работы мелиоративных водозаборов с целью очистки оросительной воды от механических и биологических загрязнений, с сохранением рыбных запасов в водные объекты, в виде фильтрующих кассет, монтируемые перед приемным отделением насосной станции первого подъема. Удаление колоний сине-зеленых водорослей из воды происходит в теле загрузки. Для обоснования режима работы и технологические параметры фильтра определяли знак электрического заряда цианобактерий. Использовали пробы воды, отобранные в Цимлянском водохранилище г. Волгоград в период массового «цветения» воды. Для определения знака заряда была использована U-образная трубка с графитовым анодом и катодом (рис. 1). Целью данного опыта являлось визуальное определение знака заряда крупных колоний цианобактерий при движении их в сторону одного из электродов. В ходе проведенных опытов было установлено, что колонии «живых» цианобактерий имеют отрицательный знак заряда, так как обнаруживали характерное движение в сторону анода, а колонии «отмерших» водорослей показали отсутствие характерного движения к аноду или катоду, что свидетельствует об отсутствии заряда (рис. 2).



Рис. 1. U-образная трубка с графитовым анодом и катодом



Рис. 2. Результат опыта

Определение электрокинетического потенциала (ξ -потенциала) цианобактерий связано с определением электрокинетического потенциала (ξ -потенциала) колоний «живых» цианобактерий. Исследования проводили при напряжении 200 В и силе тока 1,5 А.

Для измерения ξ -потенциала цианобактерий использовали электрофоретическую ячейку с анодом и катодом. В качестве катода была взята медная пластина размером 5×5 см, в качестве анода – стальная пластина размером 5×5 см. Расстояние между пластинами составило 70 мм. Также был использован трансформатор постоянного тока, фотоаппарат SAMSUNG –D980h, секундомер.

Для определения ξ -потенциала нами было замерено расстояние между «анодом» и «катодом» и время, за которое цианобактерии проходили данное расстояние.

Расстояние зоны наблюдения составило 25 мм, время прохождения частицы через зону наблюдения – 3 с. Для измерения потенциала цианобактерий использовали формулу Гельмгольца-Смолуховского (1):

$$\xi = 4\pi\eta LU3002/\varepsilon E,$$

где ξ – электрокинетический потенциал; η – динамическая вязкость дисперсной среды ($\eta = 1 \cdot 10^{-3}$), %; L – расстояние между электродами, см; E – разность потенциалов на электроде, В; ε – абсолютная диэлектрическая проницаемость дисперсной среды ($\varepsilon = 81$); U – электрофоретическая скорость двух частиц;

$$U = H/t,$$

где H – расстояние зоны наблюдения, см; t – время прохождения частицы через зону наблюдения, с.

$$U = 25/3 = 8,3 \text{ мм/с} = 8,3 \cdot 10^{-3} \text{ м/с};$$

$$\xi = 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 70 \cdot 8,3 \cdot 10^{-3} \cdot 3002 / 81 \cdot 200 = -40,5 \cdot 10^{-3} \text{ В} = -40,5 \text{ мВ}.$$

В экспериментальных исследованиях (2015–2017 гг.) применяли стандартные аналитические и calorиметрические методы определения концентрации веществ в воде. Определяли мутность по ГОСТ 3351-74, цветность, pH, щелочность, температуру.

Исследования проводили в три этапа.

Первый этап – пробное коагулирование в лабораторных условиях.

1. Моделирование очистки вели в 5 стеклянных цилиндрах вместимостью по 1 л по стандартной методике. Время отстаивания – 60 мин.

2. В цветущей донской воде определяли мутность, щелочность, pH, температуру. Температура – 23 °С, pH 8,82.

3. Дозу коагулянта рассчитывали по мутности воды и уменьшали на 10–20 %. Соотношение железо- и алюмосодержащих коагулянтов варьировало.

4. Коагулянты использовались как в жидком, так и в сухом состоянии.

Коагулянты в жидком состоянии:

Унико ОХА 10 (на 0,5 л) – 42 мл раствора, 458 мл воды; СКИФ 180 (на 0,5 л) – 34,48 мл раствора, 465,52 мл воды; алюминия сульфат (водный раствор) (на 250 мл) – 67,6 мл раствора, 432,4 мл воды; алюминий хлоргидрат (чистый) (на 0,5 л) – 21,55 мл раствора, 478,45 мл воды; Уника СА (на 0,5 л) – 31,25 мл раствора, 468,75 мл воды; Аква-Аурат 102 (на 300 мл) – 30 мл раствора, 270 мл воды; Аква-Аурат 110 (на 250 мл) – 31 мл раствора, 219 мл воды; Аква-Аурат 105 (на 300 мл) – 30 мл раствора, 270 мл воды; Аква-Аурат 190 (на 300 мл) – 31,25 мл раствора, 218,75 мл воды; оксихлорид алюминия Н. В. С. (на 500 мл) – 24,63 мл раствора, 475,97 мл воды. $M = VX/10C_1$, где $X=10 C_1(\%)$

Коагулянты в сухом состоянии:

Полиоксихлорид алюминия (порошкообразный) (на 100мл) – 3,3 г вещества, 97,7 мл воды; КМП-40 – 15 г вещества, 135 мл воды; КМП-30 – 20 г вещества, 280 мл воды; КМП-20 – 15 г вещества, 485 мл воды; КМП-10 – 12 г вещества, 488 мл воды; Фенофикс – 12,5 мл раствора, 487,5 мл воды; FL454ORWG – 12,5 мл раствора, 487,5 мл воды.

Определение мутности производили по шрифту Снеллена, весовой (фильтрации), калориметрически с помощью Фотоэлектроколориметра (ФЭК). Для построения калибровочного графика подготовили стандартные растворы с известным показателем S . Стандартный раствор по Формазину переводим в шкалу по Коалину. По оптической плотности строили калибровочную кривую, по которой определяли мутность воды. Для определения цветности строили аналогичную калибровочную кривую для определения цветности.

Второй этап – фильтрование с использованием ершей в лабораторных условиях. С учетом экологических требований использование коагулянтов является химическим загрязнением с выделением осадка, что не допускается в открытых водоемах. В связи с этим в работе впервые проведены исследования с использованием экологически безвредного фильтрующего материала «Ерша» (Пат. на полезную модель 121499 Российская Федерация: С 02 F3/02/; Пат. на полезную модель 120096 Российская Федерация: С 02 F3/02/). В проводимых экспериментах использовали мягкий ерш, на конце которого закреплена емкость для сбора осадка. В цилиндрах (5 шт.) вместимостью 1 л добавляли исследуемую пробу воды из р. Дон и коагулянты с различными дозами (20, 30, 40, 60, 80 мг/л). Затем в цилиндры опустили экспериментальные мягкие ерши. Отстаивали в течение 1 ч и фиксировали результаты. Измерения проводили на градуированных цилиндрах, по этой шкале определяли высоту слоя осадка. Измеряли качественные показатели воды (мутность, цветность, соленосодержание). Измерения проводили с помощью прибора ФЭК. Экспериментальные исследования проводили наиболее эффективными коагулянтами: КМП-10; КМП-20; КМП-40; оксихлорид алюминия (В). Опыт 1 с коагулянтом КМП-10 (рис. 3, 4). Дозы коагулянта 20,30,40,60,80 мг/л.



Рис. 3. Коагулянт КМП-10



Рис. 4. Ерш+КМП-10

По результатам проведенного опыта 1 установлено, что после использования мягкого ерша качественные показатели воды улучшились, и высота слоя осадка в среднем сократилась на 80 %.

Опыт 2 с коагулянтом КМП-20 (рис. 5, 6). Дата проведения 17.07.14. Дозы коагулянта 20,30,40,60,80 мг/л.



Рис. 5. Коагулянт КМП-20



Рис. 6. Ерш + КМП-20



По результатам проведенного опыта 2 установлено, что после использования мягкого ерша высота слоя осадка сократилась на 80 % при дозе коагулянта 80 мг/л.

Опыт 3 с коагулянтом КМП-40 (рис. 7, 8). Дата проведения 17.07.14. Дозы коагулянта 20, 30, 40, 60, 80 мг/л.



Рис. 7. Коагулянт КМП-40



Рис. 8. Ерш+КМП-40

По результатам проведенного опыта 3 установлено, что после использования мягкого ерша качественные показатели воды изменились в лучшую сторону, и высота слоя осадка сократилась на 80 % при дозе коагулянта 40 и 60 мг/л.

Опыт 4 с коагулянтом Оксихлорид Al (B) (рис. 9, 10). Дата проведения 24.07.14. Дозы коагулянта 20, 30, 40, 60, 80 мг/л.

По обобщенным результатам эксперимента, где указаны изменения различных показателей в зависимости от добавляемого коагулянта и его дозы построены зависимости, представленные на рис. 11.

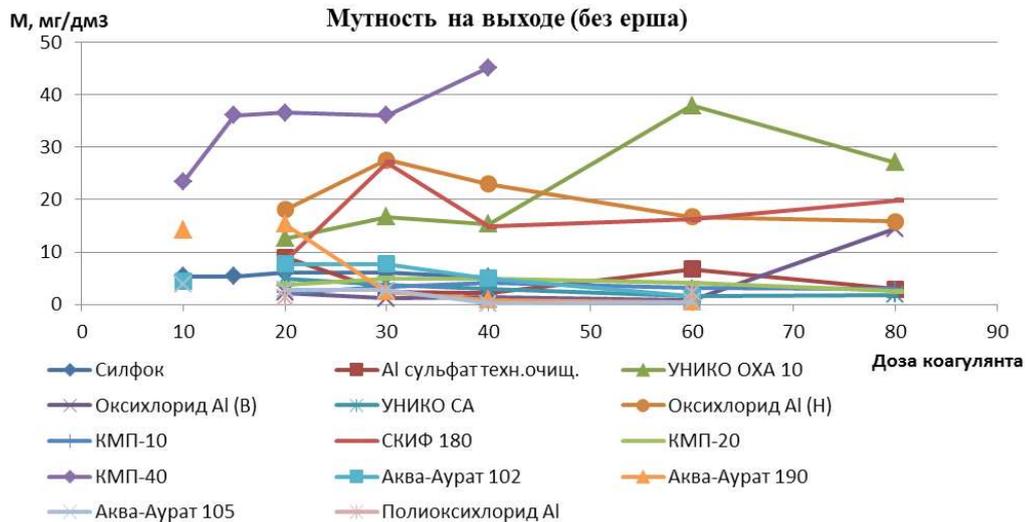


Рис. 11. Результаты изменения мутности с использованием разных коагулянтов

Третий этап – натурные исследования на пилотной установке. Для подтверждения лабораторных исследований на третьем этапе была изготовлена экспериментальная пилотная установка (рис. 12).

Для проведения исследований использовали воду из р. Дон, Волга и водопроводную воду из плавательного бассейна. Регенерацию фильтров проводили по мере достижения потерь напора 2,5–3,0 см (в зависимости от изменения уровня и расхода воды) и загрязнения фильтров с ершовой загрузкой. Воздух подавался компрессором снизу в ершовый фильтр.

Результаты проведенных исследований представлены на рис. 13–16.

Результаты исследований. По результатам проведенных исследований предложена новая конструктивно-технологическая разработка для защиты водоприемника от сине-зеленых водорослей, впервые с использованием конструкции «Ерша» для очистки оросительной воды. На основе полученных результатов важным фактором обеспечения эффективной защиты в кон-



Рис. 12. Экспериментальная установка и технологическая схема: 1 – бассейн с сине-зелеными водорослями; 2 – лавсановые ерши; 3 – место отбора проб профильтрованной воды; 4 – компрессор для регенерации фильтра; 5 – насос; 6 – подача исходной цветущей воды; 7 – отвод воды после промывки фильтра; 8 – насос-дозатор раствора коагулянта; 9 – задвижка





Рис. 13. Изменение мутности воды при ее фильтрации на пилотной установке с ершовой загрузкой без применения коагулянтов

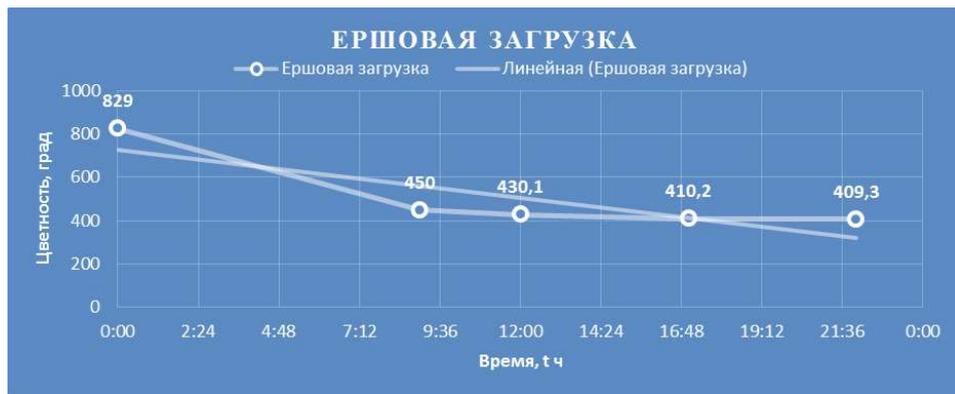


Рис. 14. Изменение цветности воды при ее фильтрации на пилотной установке с ершовой загрузкой без применения коагулянтов



Рис. 15. Изменение мутности и цветности воды при ее фильтрации на пилотной установке с ершовой загрузкой с добавлением коагулянтов



Рис. 16. Изменение мутности и цветности воды при ее фильтрации на пилотной установке с ершовой загрузкой с добавлением коагулянтов



структивно-технологической схеме является плановое размещение «Ершей» в акватории водозабортного технологического комплекса (рис. 17) или дополнительное устройство фильтрующих касет (рис. 18).

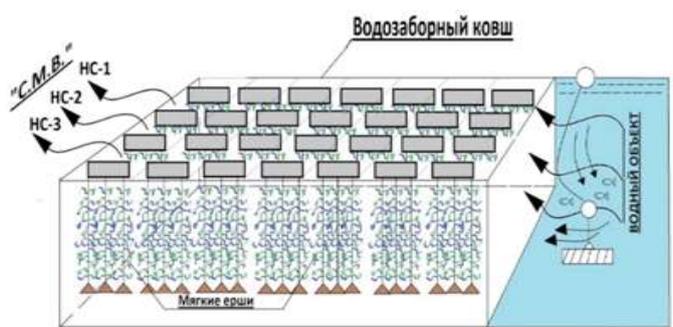


Рис. 17. Размещение ершей в акватории водоема или канала



Рис. 18. Фильтрующие ершовые кас-сети

Плановое размещение мягких «Ершей» в акватории водозабора и в открытых каналах мелиоративных систем рекомендуется устанавливать на водной поверхности, занимая 70–80 % ее поверхности. Использование мягких «Ершей» носит сезонный характер (весенне-летний период) при интенсивном развитии сине-зеленых водорослей. В завершении периода мягкие «Ерши» вытаскивают и регенерируют. Осадок можно использовать в виде удобрения в сельском хозяйстве.

Заключение. В ходе проведенных опытов установлено, что колонии «живых» цианобактерий имеют отрицательный знак заряда, а колонии «отмерших» водорослей показали отсутствие характерного движения к аноду или катоду, что свидетельствует об отсутствии заряда.

Исследования проводили в три этапа: пробное коагулирование в лабораторных условиях; фильтрование с использованием ершей в лабораторных условиях; натурные исследования на пилотной установке.

Эффект снижения мутности оросительной воды в процессе ее коагуляции с использованием коагулянта «КМП» составляет 85,3–91,5 % при дозе коагулянта 20–80 мг/л.

Эффект снижения цветности оросительной воды в процессе ее коагуляцией с использованием коагулянта «КМП» составляет 81,3–83,9 % при дозе коагулянта 20–80 мг/л.

Установлено, что при использовании только ершовой загрузки без коагулянтов удаляется до 70 % сине-зеленых водорослей, а вместе с коагулянтом – более 90 %.

Внедрение разработанного конструктивно-технологического устройства защиты водозаборов оросительных систем от сине-зеленых водорослей придаст режиму работы дождевальных машин стабильность, значительно сократит энергозатраты на перекачку оросительной воды во время цветения водоемов, повысит плодородие почвы, что в итоге увеличит урожайность сельскохозяйственных культур и в целом улучшит функциональность работы мелиоративной системы. Важным фактором является использование осадка в виде удобрения в сельском хозяйстве после регенераций ершового фильтра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко В.Л., Семенова Е.А., Алферов А.В., Клименко О.В.: Природно-технические системы в использовании водных ресурсов: территории бассейновых геосистем. Новочеркасск, 2016. 204 с.
2. Экологическая безопасность в строительстве. Инженерно-экологические изыскания в комплексе изысканий под строительство водозаборных объектов / В.Л. Бондаренко [и др.]. Новочеркасск, 2016. 309с.
3. Вдовин Ю.И., Лушкин И.А., Халиков Р.К., Хецуриани Е.Д. Водозаборы из поверхностных источников: состояние, проблемы, тенденции совершенствования // Вестник СГАСУ. Строительство и архитектура. 2011. Вып. 2. С. 55–61.
4. Румянцев И.С. Природообустройство: территории бассейновых геосистем. Ростов н/Д., 2010. 528 с.
5. Хецуриани Е.Д., Фесенко Л. Н., Богачев А. Н., Мордвинув М. М., Пурас Г. Н., Душенко А. Ю., Бечвая Р. С., Пельчер А. В. Анализ работы Александровского ковшевого водозабора с учетом руслового режима и рыбоводнобиологических показателей реки Дон // Инженерный вестник Дона. 2015.
6. Хецуриани Е.Д., Хецуриани Т.Е. С 2016 года будут приняты меры по борьбе с эвтрофикацией водоемов приоритетных задач и стратегий развития сельскохозяйственной науки // Науч.-практ. конф. 2016. С. 11–13.

REFERENCES

1. Bondarenko V.L., Semenova E.A., Alferov A.V., Klimenko O.V. Natural and technical systems in the use of water resources: territories of basin geosystems. Novochoerkassk, 2016. 204 p.
2. Environmental safety in construction. Engineering and environmental surveys in the complex of surveys for the construction of water facilities / V.L. Bondarenko et al. Novochoerkassk, 2016. 309 p.
3. Vdovin Yu.I., Lushkin I.A., Khalikov R.K., Khetsuriani E.D. Water intakes from surface sources: state, problems, improvement trends. *Vestnik SGASU. Construction and architecture*. 2011; 2:55–61.
4. Rumyantsev I.S. Nature management: territories of basin geosystems. Rostov on Don, 2010. 528 p.
5. Khetsuriani E. D., Fesenko L. N., Bogachev A. N., Mordvinuev M. M., Puras G. N., Dushenko A. Yu., Bechvaya R. S., Pelcher A. V. Analysis operation of the Alexandrovsky bucket water intake, taking into account the channel regime and fish and biological indicators of the Don River. *Engineering Bulletin of the Don*. 2015.
6. Khetsuriani E.D., Khetsuriani T.E. Since 2016, measures will be taken to combat eutrophication of water bodies of priority tasks and strategies for the development of agricultural science. *Scientific-practical. conf.* 2016: 11–13.

Статья поступила в редакцию 08.11.2021; одобрена после рецензирования 22.11.2021; принята к публикации 11.12.2021.
The article was submitted 08.11.2021; approved after reviewing 22.11.2021; accepted for publication 11.12.2021.

