INTENSIFICATION OF BIOLOGICAL METHODS FOR CLEANING LIVESTOCK RUNOFF WHEN USED IN RECLAMATION AGRICULTURE

M.P. Meshcheryakov¹, D.A. Bolotin², V.A. Vedeneeva³

¹Volgograd State Agrarian University, Volgograd

²All-Russian Institute of Irrigated Agriculture, Volgograd

³Federal Scientific Center for Agroecology, Melioration and protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences, Volgograd

Received 08.06.2021

Submitted 11.11.2021

Summary

At livestock enterprises, a large amount of clean water is consumed for production purposes, which after use contains a significant amount of pollutants, which makes it dangerous for secondary use. Such effluents undergo multi-stage treatment, which is not always able to reduce the level of pollutants to the maximum permissible values. One of the most effective methods of wastewater treatment is sorption with natural sorbents, which are the flakes of deposits in the Volgograd region. The article presents the results of research after the use of OPCS for cleaning pig runoff from ammonium ions.

Abstract

Introduction. The problem of cleaning livestock runoff for further use in agriculture for irrigation and fertilization of cultivated crops is very acute both in the Volgograd region and in the Russian Federation as a whole. There is a need for additional wastewater treatment after biological treatment. Research is constantly being conducted to determine effective methods of detoxification. Of particular interest is the work on the removal of substances belonging to a high hazard class from wastewater, in particular heavy metal ions, including ammonium. It is advisable to use natural sorbents for such purposes, in particular local ones - flasks. **Object.** Livestock drains of Cossack Holding Company - Joint-Stock Company «Krasnodonskoe», located in the Volgograd region, in the urban-type settlement of Ilovlya. **Materials and methods.** In the process of writing a scientific article, the authors used materials from publications describing the results of research carried out with the aim of purifying wastewater by the sorption method from ammonium ions. The experimental part was based on modern research methods. To select the brand of zeolite, the main physical parameters of the filter material were determined. To study the adsorption of ammonium ions under static conditions, we used model solutions with different concentrations. **Results and conclusions.** As a result of the studies carried out, the optimal parameters for the used natural sorbent were established, at which the maximum level of sorption of ammonium ions from livestock effluents is achieved. Thus, wastewater treatment under static conditions with a predominance of ammonium ions in significant concentrations of $\text{CNH}_4 =$ up to 100 mg/l is effectively carried out on natural sorbents of the M-4 brand with a fractional composition of the load from 2.5 mm or more. In this case, more than 50% of pollution is absorbed. The filtration coefficient was also calculated, statistical processing of the data obtained during the experiments was carried out and three-dimensional graphic models were built. The efficiency of the use of natural sorbents from the Volgograd region for the purification of livestock wastewater from ammonium ions has been substantiated.

Key words: animal waste, flask, sorption, filtration, fractional composition, ammonium ion, reclamation.

Citation: Meshcheryakov M.P., Bolotin D.A., Vedeneeva V.A. Intensification of biological methods for cleaning livestock runoff when used in reclamation agriculture. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021. 4(64). 472-481 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-46.

Author's contribution. The authors of this study collected material, analyzed the received data and wrote the paper.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.6.02:636

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ
ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ СТОКОВ ПРИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
В МЕЛИОРАТИВНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ****М. П. Мещеряков**¹, кандидат технических наук, доцент**Д. А. Болотин**², научный сотрудник**В. А. Веденеева**³, кандидат сельскохозяйственных наук¹Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград²Всероссийский НИИ орошаемого земледелия, г. Волгоград³Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения РАН, г. Волгоград

Дата поступления в редакцию 08.06.2021

Дата принятия к печати 11.11.2021

Актуальность. Проблема очистки животноводческих стоков с целью дальнейшего использования в сельском хозяйстве для орошения и удобрения возделываемых культур стоит очень остро как в Волгоградской области, так и в Российской Федерации в целом. Возникает необходимость доочистки стоков после биологической очистки. Постоянно ведутся исследования с целью определения эффективных методов их детоксикации. Особый интерес представляют работы по удалению из сточных вод веществ, относящихся к высокому классу опасности, в частности ионов тяжелых металлов, в т.ч. аммония. Целесообразно для таких целей использовать природные сорбенты, в частности цеолит местного происхождения. **Объект.** Животноводческие стоки КХК АО Краснодарское, расположенного в Волгоградской области, в поселке городского типа Иловля. **Материалы и методы.** В процессе написания научной статьи авторами использовались материалы публикаций, описывающие результаты исследований, проводимых с целью очистки сточных вод сорбционным методом от ионов аммония. Опытнo-экспериментальная часть основывалась на современных методиках проведения исследований. Для выбора марки цеолита определяли основные физические параметры фильтрующего материала. Для исследования процесса адсорбции ионов аммония в статических условиях использовались модельные растворы с различными концентрациями. **Результаты и выводы.** В результате проведенных исследований были установлены оптимальные параметры для используемого природного сорбента, при которых достигается максимальный уровень сорбции ионов аммония из животноводческих стоков. Так, очистку сточных вод в статических условиях с преобладанием ионов аммония в значительных концентрациях $\text{CNH}_4 =$ до 100 мг/л эффективно проводить на природных сорбентах марки М-4 с фракционным составом загрузки от 2,5 мм и более. При этом поглощается свыше 50 % загрязнений. Также рассчитан коэффициент фильтрации, проведена статистическая обработка данных, полученных в ходе экспериментов, и построены трехмерные графические модели. Обоснована эффективность применения природных сорбентов месторождения Волгоградской области для очистки животноводческих стоков от ионов аммония.

Ключевые слова: животноводческие стоки, природные сорбенты, очистка животноводческих стоков, технологии очистки животноводческих стоков.

Цитирование: Мещеряков М. П., Болотин Д. А., Веденеева В. А. Интенсификация биологических методов очистки животноводческих стоков при их использовании в мелиоративном земледелии. *Известия НВ АУК*. 2021. 4(64). 472-481. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-46.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. При очистке сточных вод животноводческих (свиноводческих) предприятий рекомендована их биологическая доочистка в биопрудах или на полях орошения. Для выполнения требуемых мероприятий необходимо ввести в систему очистки

стоков от крупных животноводческих комплексов искусственные сооружения – био-фильтры (аэрируемые или без аэрации). При этом способ будет зависеть от фильтрационной загрузки в биофильтре [10].

К сожалению, чистых цеолитов в природе очень мало, а основная масса месторождений имеет смешанные составы, в которых незначительно изменяется механический и химический состав породы. В связи с этим введено понятие «цеолитсодержащие породы».

Широкое распространение месторождений природных сорбентов в нашей стране и за рубежом прежде всего характеризуется значительной мощностью пластов, стабильностью состава и высокой рентабельностью разработки. Незначительная стоимость материала способствует их использованию в различных сферах деятельности человека, от производства жидкого стекла до изготовления кормовых добавок (рисунок 1).

Рисунок 1 – Применение природных сорбентов в промышленности

Figure 1 – Application of natural sorbents in industry

В сельском хозяйстве природные сорбенты могут использоваться для мелиорации почв как источник минеральных веществ в качестве органического удобрения пролонгированного действия, в качестве кормовой добавки в рацион скота и птицы. При этом природные сорбенты способны поглощать как отдельные элементы, так и комплекс соединений [8, 16].

Идея применения природных сорбентов для очистки свиноводческих сточных вод не новая, но довольно перспективная. При промышленном производстве свинины применяется бесподстильное содержание свиней и гидросмыв отходов, что приводит к большим объемам стоков.

Проблема очистки сточных вод, особенно в сельском хозяйстве, на которое приходится существенная доля загрязнений, очень остро стоит как в Волгоградской области, так и в Российской Федерации. Актуальна проблема доочистки стоков после биологической очистки. И наиболее целесообразно для таких целей использовать сорбенты, в частности местные [12, 15].

В настоящее время в области очистки и утилизации сточных вод и их осадков с использованием природных сорбентов выполнен большой объем лабораторно-технологических и опытно-промышленных испытаний, которые позволяют не только судить о приоритетном направлении исследований, но и определять методику их проведения [1, 4].

После аэробной очистки в стоках содержатся компоненты с показателями, превышающими предельно допустимые концентрации (ПДК). Для доведения их до требуемых параметров необходимо устройство биопрудов, которые занимают большие площади сельскохозяйственных угодий, что влечет за собой дополнительные затраты по их содержанию, при этом рентабельность применения биопрудов низкая. Уменьшение производственных площадей и улучшение качества обработки таких стоков считается наиболее злободневным, при этом применение отработанных природных сорбентов в качестве органических удобрений, содержащих необходимые компоненты для растений, позволит повысить урожайность без дополнительного внесения каких-либо органоминеральных удобрений. Данные факторы открывают широкие перспективы для использования цеолитсодержащих пород в качестве биологических фильтров, при доочистке свиноводческих стоков [9, 11].

Цель наших исследований – изучение статических и динамических характеристик сорбционных процессов на цеолитах Волгоградской области при очистке свиноводческих сточных вод для их дальнейшего применения в системах полива технических культур.

Для достижения цели авторами проводились лабораторно-экспериментальные исследования по выбору марки ЦСП (минеральных адсорбентов) и были изучены их основные параметры. Была разработана методика лабораторных исследований и установлены основные параметры адсорбента (цеолита). Были определены следующие показатели: химические характеристики, статическая влагоемкость, объемная емкость, плотность, насыпная масса (насыпная плотность с уплотнением), виброизнос, истираемость, измельчаемость. Все вышеперечисленные показатели необходимы для оценки качества фильтрующего материала природного сорбента – цеолита – в процессе доочистки животноводческих стоков, разбавленных до установленной концентрации [5, 6, 7].

Материалы и методы. Эксперименты по выбору вида природных сорбентов были начаты с определения основных физических параметров фильтрующего материала. В первую очередь, необходимо было рассчитать коэффициент фильтрации K_f для местных месторождений. В процессе проведения опытов по определению

данного коэффициента (по ГОСТ 25584-90) было установлено, что наиболее приемлемы для дальнейших исследований цеолита марки М-4 (М-4, М-3 – маркировка цеолитов Волгоградской области, по данным А. И. Букова) [2].

После определения марки цеолита и их основных параметров были проведены статические опыты по сорбции [3]. Для исследования процесса адсорбции ионов аммония в статических условиях использовались модельные растворы с различными концентрациями. Опыты проводились при температурах от 10 до 20 °С [13]. В конические колбы на 500 мл помещали различные навески образца адсорбента и одинаковый объем исследуемого раствора, содержащего ионы аммония. После достижения адсорбционного равновесия из раствора, через определенное время, отбираются пробы для определения количества адсорбированных ионов, рН и температуру [14]. Начальную и равновесную концентрацию ионов определяли методом колориметрии на КФК-2. Количество адсорбированных ионов вычисляли по разности исходной и равновесной концентраций.

Результаты и обсуждение. Из данных опытов видно, что наилучшие параметры уменьшения содержания аммония (рисунок 2) показывают в статических условиях фракционный состав природного сорбента от 2,5 мм и выше.

При проведении экспериментов определялись показания рН среды в данных растворах, при этом были получены результаты, отраженные на рисунке 3, что также подтвердило предположение о применимости именно природного сорбента в качестве загрузки для биофильтров.

Рисунок 2 – Изменение содержания аммония в модельных растворах во время проведения опыта с разным фракционным составом природного сорбента:

1 – контроль, 2 – фракция 2,5 мм, 3 – фракция 1,25, 4 – фракция от 2,5 до 5 мм, 5 – фракция свыше 5 мм

Figure 2 – Changes in the ammonium content in model solutions during the experiment with different fractional composition of the natural sorbent:

1 – control, 2 – fraction 2,5 mm, 3 – fraction 1,25, 4 – fraction from 2,5 to 5 mm, 5 – fraction over 5 mm.

Основным требованием при очистке сточных вод на животноводческих комплексах является доведение стоков до требуемых значений. Нами проделаны экспериментальные исследования по очистке жидкой фракции после прохождения биологической очистки и отстаивания. Полученные данные очищенных животноводческих сточных вод приведены в таблице 1.

Рисунок 3 – Изменение pH раствора во время проведения опыта с разным фракционным составом природного сорбента М-4:

1 – контроль, 2 – фракция от 2,5 до 5 мм, 3 – фракция 1,25, 4 – фракция 2,5 мм, 5 – фракция свыше 5 мм

Figure 3 – Change in the pH of the solution during the experiment with different fractional composition of the natural sorbent M-4:

1 – control, 2 – fraction from 2,5 to 5 mm, 3 – fraction 1,25 mm, 4 – fraction 2,5 mm, 5 – fraction over 5 mm

Таблица 1 – Физико-химические показатели состава очищенных животноводческих сточных вод

Table 1 – Physico-chemical parameters of the composition of purified livestock wastewater

Показатель / Indicator	После биологической очистки, мг/дм ³ / After biological purification, mg/dm ³	Допустимые концентрации загрязняющих веществ, мг/дм ³ / Permissible concentrations of pollutants, mg/dm ³
Минерализация воды / Water mineralization	1717	440,02
Сульфаты / Sulfates	1113	100
Хлориды / Chlorides	308	300
Взвешенные вещества / Suspended substances	132	215
Соли аммония / Ammonium salts	24,3	19
Железо общее / Common iron	2	0,25
БПК-5 / BOC-5	68	236
Нитриты / Nitrites	34,5	1
Нитраты / Nitrates	47	9,1
Фосфаты / Phosphates	3,9	6,8
Марганец / Manganese	Менее 0,005 / less than 0,005	0,02

Для полной оценки и решения поставленных задач нами в лабораторных условиях проводились опыты по определению статической объемной емкости (СОЕ) природного цеолита при соотношении 1 : 50 и 1 : 100 твердой и жидкой фракции. На рисунке 4 приведены результаты, но основным условием являлось достижение ионообменного равновесия аммония между сорбентом и представленным раствором.

Рисунок 4 – Определение СОЕ природного цеолита и ионов аммония

Figure 4 – Determination of SVC of natural zeolite and ammonium ions

В результате проведения опытов не удалось добиться стабилизации необходимой концентрации. Поэтому для того чтобы в исследуемых растворах начались происходить аэробные процессы, при которых происходит доведение БПК и ХПК до требуемых показателей, требовалось осуществить подачу воздуха с постоянным, нагнетающим потоком 5-7 л/мин.

Выводы:

1. Получены значения коэффициентов фильтрации для разных природных сорбентов Волгоградской области, и они составляют для М-4 – 44,6 м/сут, а для М-3 – менее 0,001 м/сут. Рекомендуется для проведения лабораторных исследований применять природные сорбенты марки М-4.

2. Очистку сточных вод в статических условиях с преобладанием ионов аммония в значительных концентрациях C_{NH_4} = до 100 мг/л эффективно проводить на природных сорбентах марки М-4 с фракционным составом загрузки от 2,5 мм и более. При этом поглощается свыше 50 % загрязнений.

3. Сорбция загрязнений с применением природных сорбентов М-4 является эффективным методом очистки сточных вод от химических загрязнений и позволяет достичь наилучших результатов.

4. Для достижения наилучших результатов по стабилизации БПК и ХПК в животноводческих сточных водах требуется принудительная подача воздуха.

5. После проведения вышеперечисленных требований по очистке животноводческих сточных вод полученная вода может быть использована на полях орошения.

Библиографический список

1. Бабинцева Т. В., Максимова Е. В., Мосин Н. Ю. Способы обеззараживания навоза // Технологические тренды устойчивого функционирования и развития АПК: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной году науки и технологии в России. Ижевск, 2021. С. 84-86.
2. Бочарников В. С., Мещеряков М. П., Денисова М. А. Исследование сорбционных свойств сорбентов с использованием ферритовых реагентов при очистке сточных вод // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 1 (53). С. 242-249.
3. Глубоков Ю. М., Головачева В. А., Ефимова Ю. А. Аналитическая химия. 12-е изд. М., 2017. 464 с.
4. Заболотских В. В., Танких С. Н., Васильев А. В. Технологические подходы к детоксикации и биовосстановлению нефтезагрязнённых земель // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 5-3 (85). С. 341-351.
5. Москалев Е. В., Кудряшов А. Ф., Рабин А. В. Применение графенового сорбента в фильтрах для очистки поверхностных вод и горячей воды // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 12. С. 18-23.
6. Попов К. Л. Природный цеолит «Цеомикс» (Сокирнит) катионообменная загрузка для очистки от аммонийного азота // Научно-практический журнал «Экология производства». 2017. № 9. 92 с.
7. Родионова Л. И. Цеолиты и мезопористые материалы: достижения и перспективы: тезисы докладов VIII Всероссийской цеолитной конференции. М.: Некоммерческое партнерство «Национальное цеолитное объединение», 2018. 219 с.
8. Степанов С. В. Очистка вод от ионов меди сточными водами производства целлюлозы из отходов злаковых культур // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 19. С. 142-145.
9. Цомбуева Б. В., Горяшкиева З. В., Щербакова Л. Ф. Метод очистки почвы от нефтяного загрязнения с помощью природных сорбентов // Вестник ВолГУ. Сер. 9. Естественные науки. 2017. Т. 7. № 2. С. 19-25.
10. Чертков М. П. Применение биологических методов очистки воды при водоподготовке и очистке сточных вод // Российский инженер. 2017. № 1. С. 44-49.
11. Assessment of effectiveness of zeolite in acceleration of oil degradation in soil / T. P. Alekseeva [et al.] // Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Branch of the Siberian Federal Agri-Science Centre, Russian Academy of Sciences, 2017. V. 33. I. 4. P. 85-91.
12. Changes in the physical and chemical properties of soil under the influence of manure, green manure and the stover biodestructor / A. V. Safonov [et al.] // Volga Region Farmland. 2020. № 2 (6). P. 8-12.
13. Nitrogen removal from iron oxide red wastewater via partial nitrification-Anammox based on two-stage zeolite biological aerated filter / X. Feng [et al.] // Bioresource Technology, 2019. P. 17-24.
14. Research of the treatment of depleted nickel-plating electrolytes by the ferritization method / G. Kochetov [et al.] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. V. 3 (6-93). P. 52-60.
15. Szogi A. A., Vanotti M. B., Kyoung S. Ro. Methods for treatment of animal manures to reduce nutrient pollution prior to soil application // Springer International Publishing AG (outside the USA) 26 March 2015.
16. Vasilyev S., Domashenko Y. Agroecological substantiation for the use of treated wastewater for irrigation of agricultural land // Journal of Ecological Engineering. 2018. Vol. 19. I. 1. P. 48-54.

Conclusions. The results of the research confirm the effectiveness of using the Volgograd region flasks for cleaning the effluents of pig farms from ammonium ions, while the best indicators for filtration speed and the degree of contamination absorption were shown by

flasks of the M-4 brand with a fractional loading composition of 2.5 mm or more. Pollution sorption using a sorbent (flask M-4) is an effective method of wastewater treatment from chemical contamination and allows you to achieve the best results.

References

1. Babinceva T. V., Maksimova E. V., Mosin N. Y. Methods of manure disinfection // Technological trends of sustainable functioning and development of the agro-industrial complex: materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the Year of Science and Technology in Russia. Izhevsk, 2021. P. 84–86.
2. Bocharnikov V. S., Meshcheryakov M. P., Denisova M. A. Investigation of sorption properties of sorbents using ferrite reagents in wastewater treatment // Izvestiya nizhnevolzhsky agrouniversity complex: science and higher professional education. 2019. № 1 (53). Pp. 242-249.
3. Glubokov Y. M., Golovacheva V. A., Efimova Y. A. Analytical Chemistry. 12th ed. Moscow, 2017. 464 p.
4. Zabolotskikh V. V., Tankikh S. N., Vasiliev A. V. Technological approaches to detoxification and bioremediation of oil-contaminated soil // Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018. Vol. 20. No. 5-3 (85). P. 341-351.
5. Moskalev E. V., Kudryashov A. F., Rabin A. V. Application of graphene sorbent in filters for surface water and hot water purification // Ecology and industry of Russia. 2017. V. 21. № 12. P. 18-23.
6. Popov K. L. Natural zeolite "Zeomix" (Sokirnite) cation exchange loading for purification from ammonium nitrogen // Scientific and practical journal "Ecology of production". 2017. No. 9. 92 p.
7. Rodionova L. I. Zeolites and mesoporous materials: achievements and prospects: abstracts of the VIII all Russian zeolite conference. M.: non-profit partnership "National zeolite Association", 2018. 219 p.
8. Stepanov S. V. Purification of water from copper ions by waste water of cellulose production from waste of cereal crops // Bulletin of the Technological University. 2017. Vol. 20. No. 19. P. 142-145.
9. Tsombueva B. V., Goryashkieva Z. V., Shcherbakova L. F. Method of cleaning the soil from oil pollution using natural sorbents // Vestnik Volgu. Ser. 9. Natural Sciences. 2017. Vol. 7. No. 2. P. 19-25.
10. Chertkov M. P. Application of biological methods of water treatment in water treatment and wastewater treatment // Russian engineer. 2017. № 1. Pp. 44-49.
11. Assessment of effectiveness of zeolite in acceleration of oil degradation in soil / T. P. Alekseeva [et al.] // Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Branch of the Siberian Federal Agri-Science Centre, Russian Academy of Sciences, 2017. V. 33. I. 4. P. 85-91.
12. Changes in the physical and chemical properties of soil under the influence of manure, green manure and the stover biodestructor / A. V. Safonov [et al.] // Volga Region Farmland. 2020. № 2 (6). P. 8-12.
13. Nitrogen removal from iron oxide red wastewater via partial nitrification-Anammox based on two-stage zeolite biological aerated filter / X. Feng [et al.] // Bioresource Technology, 2019. P. 17-24.
14. Research of the treatment of depleted nickel-plating electrolytes by the ferritization method / G. Kochetov [et al.] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. V. 3 (6-93). P. 52-60.
15. Szogi A. A., Vanotti M. B., Kyoung S. Ro. Methods for treatment of animal manures to reduce nutrient pollution prior to soil application // Springer International Publishing AG (outside the USA) 26 March 2015.
16. Vasilyev S., Domashenko Y. Agroecological substantiation for the use of treated wastewater for irrigation of agricultural land // Journal of Ecological Engineering. 2018. Vol. 19. I. 1. P. 48-54.

Author's Information

Meshcheryakov Maxim Pavlovich, Associate Professor of the Department «Applied Geodesy, Nature Management and Water Use» of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Volgograd State Agrarian University» (Russia, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave, 26), Candidate of Technical Sciences, E-mail: maks-sln@yandex.ru.

Bolotin Dmitry Aleksandrovich, Research Assistant of the All-Russian Institute of Irrigated Agriculture (400002, Volgograd, Timiryazev St., 9), E-mail: da.bolotin@yandex.ru.

Vedeneeva Varvara Aleksandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Research Assistant of the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, (Russia, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6623-6062>, e-mail: vedeneeva-v@vfanc.ru.

Информация об авторах

Мещеряков Максим Павлович, кандидат технических наук, доцент кафедры "Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование" Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, Россия, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26.), E-mail: maks-sln@yandex.ru.

Болотин Дмитрий Александрович, научный сотрудник отдела оросительных мелиораций ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия (400002, Россия, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), E-mail: da.bolotin@yandex.ru.

Веденева Варвара Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории прогнозирования биопродуктивности агролесоландшафтов Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН (400062, Россия, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6623-6062>, E-mail: vedeneeva-v@vfanc.ru.