

АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ МЕЛИОРАЦИИ И ГИДРОТЕХНИКИ

Научная статья

УДК 628.3

Результаты испытаний физико-химической и сорбционной очистки дренажно-сбросных вод рисовой оросительной системы

Дарья Вячеславовна Мильченкова¹, Татьяна Ильинична Дрововозова²,
Елена Владимировна Пятницына³

^{1, 2, 3}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹milchenkova.darya@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-7665-1366>

²tid70.drovovozova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8724-7799>

³apyatnicina@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3130-2380>

Аннотация. Цель: провести испытания физико-химической и сорбционной очистки дренажно-сбросных вод рисовой оросительной системы. **Материалы и методы.** Проводилось физическое моделирование процесса, представляющего собой последовательную обработку воды коагулянтном оксихлоридом алюминия, ее аэрирование и однократное фильтрование через клиноптилолит. Для установления влияния продолжительности аэрации на количество выпавшего осадка проводили два опыта: после добавления коагулянта осуществляли принудительную аэрацию в течение 5 и 30 мин, в обоих случаях расход воздуха составлял 10 % от расхода воды. **Результаты и обсуждение.** Экспериментально установлено: масса осадка после пятиминутной аэрации воды и отстаивания 1,5 ч равна 0,365 г в пересчете на 1 л обрабатываемой воды, после тридцатиминутной аэрации и последующем отстаивании – 0,36 г. После пятиминутной аэрации и отстаивания содержание железа в очищенной воде снизилось на 81 %, марганца на 97 %, никеля на 20 %. При однократном фильтровании через клиноптилолит концентрация железа снизилась на 41 % по сравнению с предыдущей стадией очистки, марганца – на 50, меди – на 33, свинца – на 72, цинка – на 33, никеля – на 41,5 и кадмия – на 31,25 %. После тридцатиминутной аэрации и отстаивания концентрации выше указанных металлов снизились на 88, 97 и 20 % соответственно, а также кадмия на 19 %, что требует повторного фильтрования на цеолите. **Выводы.** Доказана эффективность физико-химической и сорбционной очистки дренажно-сбросных вод рисовой оросительной системы по предложенной технологии. В целях интенсификации процесса очистки от тяжелых металлов при уменьшении продолжительности аэрирования воды после ввода коагулянта осветленную воду рекомендуется многократно отфильтровывать через цеолитовую загрузку.

Ключевые слова: дренажно-сбросные воды, рисовая оросительная система, технология очистки, коагуляция, аэрация, тяжелые металлы

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Актуальные научные исследования в области мелиорации и гидротехники» (г. Новочеркасск, 28 мая 2026 г.).

Для цитирования: Мильченкова Д. В., Дрововозова Т. И., Пятницына Е. В. Результаты испытаний физико-химической и сорбционной очистки дренажно-сбросных вод рисовой оросительной системы // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2026. Т. 99, № 2. С. 96–110.

CURRENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF LAND RECLAMATION AND HYDRAULIC ENGINEERING

Original article

Test results of physical-chemical and sorption purification of drainage and wastewater of a rice irrigation system

Darya V. Milchenkova¹, Tatyana I. Drovovozova², Elena V. Pyatnitsyna³

^{1, 2, 3}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹milchenkova.darya@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-7665-1366>

²tid70.drovovozova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8724-7799>

³apyatnitsyna@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3130-2380>

Abstract. Purpose: to test the physicochemical and sorption treatment of drainage and wastewater from a rice irrigation system. **Materials and methods.** The process simulation which involved sequential treatment of water with aluminum oxychloride coagulant, aeration, and a single filtration through clinoptilolite was performed. To determine the effect of aeration duration on the amount of sediment formed, two experiments were conducted: after adding the coagulant, the forced aeration was performed for 5 and 30 minutes, with the air flow rate in both cases being 10 % of the water flow rate. **Results and discussion.** The experiments proved that the sediment weight after five minutes of water aeration and settling for 1.5 hours is 0.365 g per 1 liter of treated water, and it is 0.36 g after thirty minutes of aeration and subsequent settling. After five minutes of aeration and settling, the iron content in treated water decreased by 81 %, manganese by 97 %, and nickel by 20 %. With single filtration through clinoptilolite, the iron concentration decreased by 41 % compared to the previous stage of purification, manganese by 50 %, copper by 33 %, lead by 72 %, zinc by 33 %, nickel by 41.5 %, and cadmium by 31.25 %. After 30 minutes of aeration and settling, the concentrations of the above-mentioned metals decreased by 88, 97, and 20 %, respectively, as well as cadmium by 19 %, requiring repeated zeolite filtration. **Conclusions.** The effectiveness of physicochemical and sorption purification of drainage and wastewater from a rice irrigation system using the proposed technology has been proven. To intensify the heavy metal removal process while reducing the aeration time after coagulant injection, it is recommended to filter repeatedly the clarified water through a zeolite bed.

Keywords: drainage and wastewater, rice irrigation system, treatment technology, coagulation, aeration, heavy metals

Evaluation of the research results: the fundamental principles of the article were reported at the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists “Current Scientific Research in the Field of Land Reclamation and Hydraulic Engineering” (Novocherkassk, May 28, 2026).

For citation: Milchenkova D. V., Drovovozova T. I., Pyatnitsyna E. V. Test results of physical-chemical and sorption purification of drainage and wastewater of a rice irrigation system. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2026;99(2):96–110. (In Russ.).

Введение. При эксплуатации рисовых оросительных систем возникают многочисленные экологические проблемы, среди которых наиболее значимой является образование больших объемов сбросной воды, содержащей остаточные количества пестицидов (гербициды, инсектоакарициды и т. п.),

минеральных удобрений и их технических примесей [1–4]. Результатами исследований химического состава дренажно-сбросных вод рисовой оросительной системы Ростовской области установлено, что концентрации железа, марганца, сульфатов и магния не соответствуют нормативам ПДК_{рх} [5].

За последнюю четверть века ученые разработали различные технологии очистки дренажно-сбросных вод с рисовой оросительной системы (РОС), однако в основе большинства из них лежит процесс поглощения и накопления загрязняющих веществ из воды в тканях отдельных видов растений (фитоэкстракция)^{1, 2} [6–8]. Учитывая сложный химический состав сбросных вод с рисовых оросительных систем, можно утверждать, что не всегда растения-очистители способны справиться с данной задачей в достаточной степени. Кроме того, для протекания такового процесса требуется длительное время, сооружение отдельных каналов или площадок (биоплато) с размещением в них водной растительности, способной поглощать специфические загрязняющие вещества. Для повышения эффективности фитоэкстракции в сочетании с ней применяются физико-химические процессы фильтрации с применением различных фильтрующих загрузок [8–9]. Важным фактором при разработке локальных очистных сооружений на РОС является возможность обеспечения оборотного водопользования, что зачастую достигается сооружением нескольких узлов очистки на оросительной системе¹ [7]. В таком случае очистка сводится только к фитоэкстракционному процессу.

В практике водоочистки широко используются такие методы, как коагулирование, аэрация, отстаивание, которые пока не нашли своего широкого применения на оросительных системах. Учитывая сложность химиче-

¹А. с. 1771602 СССР, МПК А 01 G 25/00. Рисовая оросительная система Маковского В. И. / В. И. Маковский. № 4769405; заявл. 19.12.89; опубл. 30.10.92, Бюл. № 40. 4 с.

²Способ очистки дренажного стока рисовой оросительной системы: пат. 2759966 Рос. Федерация: МПК С 02 F 1/28, С 02 F 3/32, Е 02 В 13/00, А 01 G 25/00 / Приходько И. А.; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина. № 2020135351; заявл. 26.10.20; опубл. 19.11.21, Бюл. 32. 11 с.

ского состава дренажно-сбросных вод с РОС, характеризующихся высоким содержанием железа, марганца, сульфатов, фосфатов, использование процессов коагулирования и аэрации с последующим отстаиванием агрегированных частиц является эффективным и актуальным направлением исследований.

Эффективность перечисленных методов доказана многочисленными исследованиями. Изучением процессов коагуляции в практике водоподготовки занимались М. Г. Журба³, В. И. Драгинский, С. В. Гетманцев, С. Н. Линевич, Л. Н. Фесенко и др. [10–11]. В работах перечисленных авторов получены теоретические и прикладные результаты, оптимизирующие процесс коагулирования с применением различных современных коагулянтов [12–14]. Исследованиям процессов отстаивания взвешенных частиц в отстойниках посвящены работы С. Н. Линевича, Л. Н. Фесенко, А. В. Бальчугова, А. В. Баденикова, А. Е. Новикова, Е. А. Дугина и др. [15–16].

В работе Бальчугова А. В. и др. была экспериментально определена скорость осаждения твердых частиц песка в отстойнике [17]. Однако агрегированные частицы гидроксидов железа, марганца и органических веществ, которые образуются в процессе коагулирования и аэрации коллекторно-дренажных вод РОС, имеют меньшую плотность, чем частицы песка, соответственно будут оседать медленнее. Для научного обоснования такого важного параметра, как длина отстойника, необходимо изучить продолжительность процесса агрегирования и оседания частиц, образующихся после введения коагулянта с последующей аэрацией в дренажно-сбросные воды с рисовой оросительной системы. В связи с вышеизложенным, цель настоящих исследований – провести испытания физико-химической и сорбционной очистки дренажно-сбросных вод рисовой оросительной системы.

³Журба М. Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. В 3 т. Т. 2. Очистка и кондиционирование природных вод. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2010. 552 с.

Материалы и методы. Для оценки эффективности выбранного способа очистки в лабораторных условиях проводили физическое моделирование процесса на модельной установке с использованием воды из сбросного канала рисовой оросительной системы. Коллекторно-дренажные воды отбирались из исследуемого коллектора в соответствии с ГОСТ Р 59024-2020 «Вода. Общие требования к отбору проб»⁴. Химический анализ проб воды проводили в аккредитованной эколого-аналитической лаборатории (ЭАЛ) ФГБНУ «РосНИИПМ» с использованием аттестованных методик (таблица 1).

Таблица 1 – Определяемые химические показатели в дренажно-сбросных водах

Table 1 – Chemical parameters determined in drainage and wastewaters

Проба воды после коагулирования и аэрации	Проба воды после фильтрования через цеолит	Нормативный документ на метод исследования
Массовая концентрация ионов кальция	Массовая концентрация ионов кальция	РД 52.24.403-2018
Массовая концентрация ионов магния	Массовая концентрация ионов магния	РД 52.24.395-2017
Массовая концентрация ионов алюминия	Массовая концентрация ионов алюминия	ПНД Ф 14.1:2:4.166-2000, ПНД Ф 14.1:2:4.161-2000
Массовая концентрация общего железа	Массовая концентрация общего железа	ПНД Ф 14.1:2:3:4.50-2023
Массовая концентрация меди	Массовая концентрация меди	ПНД Ф 14.1:2:4.139-98
Массовая концентрация марганца	Массовая концентрация марганца	ГОСТ 4974, п. 6.3
Массовая концентрация свинца	Массовая концентрация свинца	ПНД Ф 14.1:2:4.139-98
Массовая концентрация никеля	Массовая концентрация никеля	ПНД Ф 14.1:2:4.139-98
Массовая концентрация цинка	Массовая концентрация цинка	ПНД Ф 14.1:2:4.139-98
Массовая концентрация кадмия	Массовая концентрация кадмия	ПНД Ф 14.1:2:4.139-98

Модельный процесс физико-химической и сорбционной очистки воды представлял собой последовательную обработку воды коагулянтом оксихлоридом алюминия, ее аэрирование и фильтрование через клиноптилолит.

⁴ГОСТ Р 59024-2020 «Вода. Общие требования к отбору проб». Введ. 2022-06-01. М.: Изд-во стандартов, 2010. 39 с.

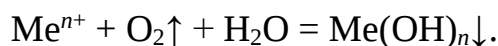
Коагулянт оксихлорид алюминия существует обычно в форме $[\text{Al}_2(\text{OH})_5]\text{Cl}$, который при растворении в воде гидролизуетсся с образованием аморфного гидроксида алюминия по реакции:



с последующим образованием коллоидной мицеллы золя гидроксида алюминия $[(\text{Al}(\text{OH})_3)_m \cdot \text{AlO}_n^+ \cdot x\text{Cl}^-] \cdot (n - x)\text{Cl}^-$.

Ионы тяжелых металлов адсорбируются на поверхности коллоидных частиц гидроксида алюминия, образующихся при гидролизе коагулянта, формируя соосажденный комплекс, представляющий собой физическую смесь $\text{Me}^{n+} - \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$.

Химизм процесса окисления ТМ до гидроксидов в процессе аэрации протекает согласно схеме:



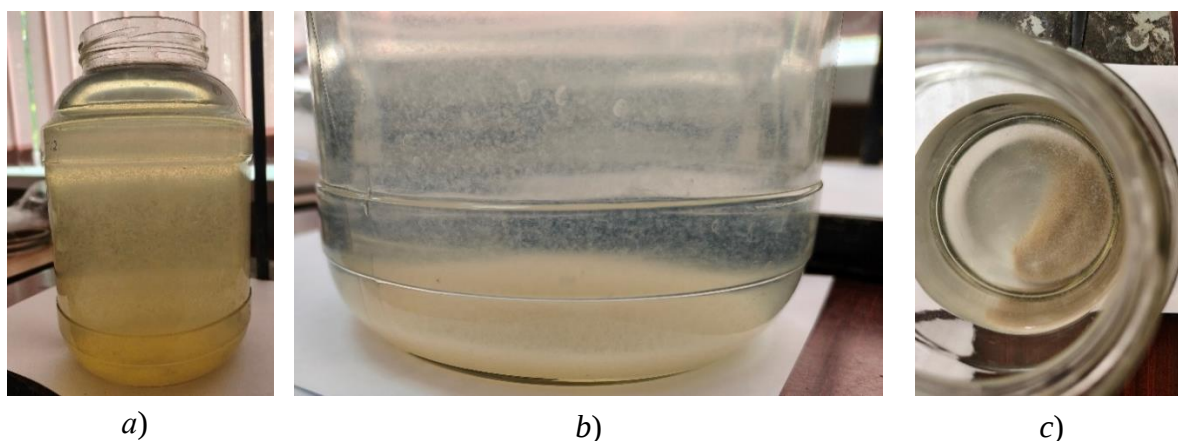
Методика модельного лабораторного эксперимента обработки воды коагулянтом с применением аэрирования и последующего фильтрования через сорбционную загрузку – клиноптилолит – заключалась в следующем. В начале опыта фиксировалась температура воды в момент проведения лабораторных исследований с помощью ртутного термометра и была равна 21 °С. Глубина погружения аэратора под поверхность воды в опытах была постоянной и равной 20 см. В 2 л исходной воды с помощью бюретки добавляли раствор коагулянта. Доза безводного коагулянта для обработки природных вод с мутностью до 100 мг/л, согласно пособию⁵ по проектированию сооружений для очистки и подготовки воды равна 16,8–25,2 мг/л. Приготовили раствор коагулянта с массовой долей растворенного вещества, равной 24,0 мг/л (2,4 %). Аликвотную порцию 20 мл добавили в 2 л обрабатываемой воды. Для установления влияния продолжительности аэрации на количество выпавшего осадка проводили два опыта: после до-

⁵Пособие по проектированию сооружений для очистки и подготовки воды (к СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения») / НИИ КВОВ АКХ им. К. Д. Памфилова. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. 128 с.

бавления коагулянта через 8–10 с осуществляли принудительную аэрацию в течение 5 и 30 мин, расход воздуха составлял 10 % от расхода воды. После отключения аэратора воде дали отстояться 1,5 ч, в течение которых вели визуальное наблюдение за эффектом хлопьеобразования, агломерации и осаждения хлопьев.

Далее пробы воды пропустили через адсорбционную колонку диаметром 7 см, загруженную клиноптилолитом. Высота загрузки 17,5 см. Продолжительность отстаивания воды и объем загрузки определили с учетом масштабирования реальных расчетных параметров сооружения. Клиноптилолит предварительно однократно промыли 4%-ным раствором хлорида натрия и дважды – дистиллированной водой. С помощью затворного крана, расположенного в нижней части адсорбционной колонки, установили постоянную скорость фильтрования, равную 0,6 мм/с. Далее провели химический анализ проб воды после моделирования процесса очистки.

Результаты и обсуждение. Проведено визуальное наблюдение процессов хлопьеобразования при введении коагулянта при аэрировании в течение 5 и 30 мин (рисунок 1).



a) хлопьеобразование; b) агломерация; c) осаждение частиц
a) flocculation; b) agglomeration; c) particle sedimentation

**Рисунок 1 – Процесс осаждения взвешенных частиц
(автор фото Д. В. Мильченкова)**

**Figure 1 – The sedimentation process of suspended particles
(photo by D. V. Milchenkova)**

Аэрирование способствует лучшему гидравлическому перемешиванию воды с коагулянтom. В результате образуются хлопья более прочной и плотной структуры, быстрее осаждающиеся в отстойных сооружениях⁶. Время аэрирования рассматривали как параметр скорости движения воды в зоне аэрации в реальном сооружении. Полученный осадок отфильтровали и взвесили. Экспериментально установили: масса осадка после пятиминутной аэрации воды и отстаивании 1,5 ч равна 0,365 г в пересчете на 1 л обрабатываемой воды, после тридцатиминутной аэрации и последующем отстаивании – 0,36 г соответственно. Следовательно, продолжительность аэрации не влияет на количество выпавшего осадка, и соответственно от скорости движения воды по реальному сооружению скорость процесса агрегирования осадка зависеть не будет.

В результате химического анализа проб воды после различной продолжительности аэрирования были получены результаты, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Концентрация ионов металлов в исходной и обработанной воде

Table 2 – Metal ions concentration in the original and treated water

Определяемый показатель	Значение показателя, мг/дм ³		
	В исходной воде	После введения коагулянта и пятиминутной аэрации	После введения коагулянта и тридцатиминутной аэрации
Магний	156,000	151,000	150,000
Кальций	235,000	254,000	244,000
Железо	0,090	0,017	0,011
Марганец	0,070	0,002	0,002
Медь	0,003	0,003	0,002
Свинец	0,010	0,011	0,011
Цинк	0,003	0,003	0,003
Никель	0,015	0,012	0,012
Кадмий	0,016	0,016	0,013
Алюминий	0,021	0,200	0,240

⁶Николадзе Г. И., Сомов М. А. Водоснабжение: учеб. для вузов. М.: Стройиздат, 1995. 688 с.

Из данных химического анализа видно, что введение коагулянта в расчетной дозе привело к увеличению содержания алюминия в воде на порядок, но не выходит за пределы ПДК⁷ (0,2 мг/дм³). После пятиминутной аэрации и отстаивания содержание железа в очищенной воде снизилось на 81 %, марганца – на 97 %, никеля – на 20 %. После тридцатиминутной аэрации и отстаивания концентрации выше указанных металлов снизились на 88, 97 и 20 % соответственно, а также кадмия – на 19 %. Концентрация ионов меди, свинца, цинка в процессе коагуляции и аэрации не изменилась. Концентрация щелочноземельных металлов либо практически не изменилась (для магния снизилась на 3 %), либо установлено ее увеличение (для кальция).

Далее воду после пятиминутной аэрации и отстаивания однократно профильтровали через клиноптилолитовую загрузку, обеспечивая запорным краном скорость фильтрования 0,6 мм/с, провели ее химический анализ, результаты которого представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Концентрация ионов металлов после полного цикла очистки

Table 3 – Metal ions concentration after a complete treatment cycle

Определяемый показатель	Значение показателя, мг/дм ³			
	В исходной воде	После введения коагулянта и пятиминутной аэрации	Полный цикл очистки	ПДК ₇
Магний	156,000	151,000	113,000	50,000
Кальций	235,000	254,000	262,000	–
Железо	0,090	0,017	0,010	0,300
Марганец	0,070	0,002	0,001	0,100
Медь	0,003	0,003	0,002	1,000
Свинец	0,010	0,011	0,003	0,010
Цинк	0,003	0,003	0,002	5,000
Никель	0,015	0,012	0,007	0,020
Кадмий	0,016	0,016	0,011	0,001
Алюминий	0,021	0,200	0,110	0,200

⁷Санитарные правила и нормы. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: СанПиН 1.2.3685-21: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 28.01.2021: введ. в действие с 01.03.2021. М. 998 с.

При однократном фильтровании через клиноптилолит концентрация железа снизилась на 41 % по сравнению с предыдущей стадией очистки, марганца – на 50, меди – на 33, свинца – на 72, цинка – на 33, никеля – на 41,5 и кадмия – на 31,25 % соответственно. Остаточные концентрации всех перечисленных металлов в очищенной воде лежали в пределах нормативов их предельно допустимых концентраций. Концентрация ионов магния после однократного фильтрования через клиноптилолит снизилась на 25 %, ионов кальция увеличилась на 3 %, что объясняется их поступлением из клиноптилолита за счет процессов ионного обмена при извлечении из воды ионов тяжелых металлов, железа, марганца, поскольку клиноптилолит функционирует преимущественно по Na, Ca-катионному механизму.

Однако концентрация кадмия в воде после введения коагулянта и пятиминутной аэрации превышает ПДК₇ в 16 раз, а в прошедшей полный цикл очистки превышает ПДК₇ в 11 раз, что свидетельствует о необходимости повторного фильтрования на сорбционной загрузке клиноптилолита (рисунок 2).

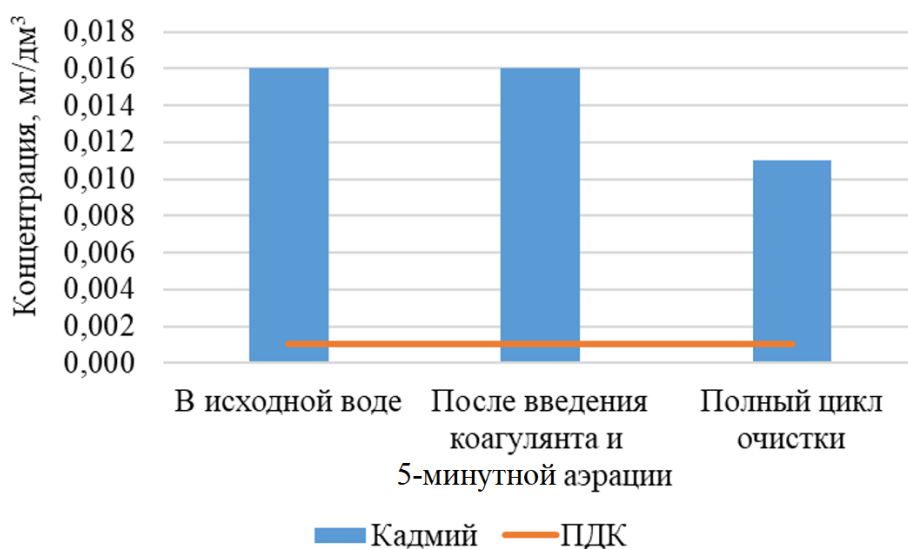


Рисунок 2 – Концентрация кадмия в дренажно-сбросных водах и на различных этапах очистки

Figure 2 – Cadmium concentration in drainage and wastewater and at various stages of treatment

Предложенный способ и технологические параметры – продолжительность аэрации, скорость фильтрования через сорбционную загрузку, ее объем – показали достаточно высокий эффект очистки от ионов тяжелых металлов, железа, марганца коллекторно-дренажных вод рисовой оросительной системы.

Выводы. Способ очистки с применением коагулянта оксихлорида алюминия и последующего пятиминутного аэрирования может быть рекомендован при обработке коллекторно-дренажной воды с повышенным содержанием железа, марганца. Содержание железа в очищенной воде снизилось на 81 %, марганца – на 97 %. В целях интенсификации процесса очистки от тяжелых металлов при уменьшении продолжительности аэрирования воды после ввода коагулянта осветленную воду рекомендуется отфильтровывать через цеолитовую загрузку. Концентрация исследуемых металлов на второй стадии очистки снизилась для железа на 41 % по сравнению с предыдущей стадией очистки, марганца – на 50, меди – на 33, свинца – на 72, цинка – на 33, никеля – на 41,5 и кадмия – на 31,25 %.

Установлено увеличение содержания кальция после полного цикла очистки, что обусловлено Na, Ca-катионным механизмом функционирования клиноптилолита.

Список источников

1. Владимиров С. А., Непра А. С., Александров Д. А. Проблемы и перспективы развития экологически безопасного рисоводства на Кубани // Тенденции развития науки и образования. 2020. № 64–2. С. 108–111. DOI: 10.18411/lj-08-2020-61. EDN: USEPNG.
2. Владимиров С. А., Болотов Д. В., Бульковский А. Э. Оптимизация ресурсопотребления как фактор экологизации с.-х. производства, на примере рисоводства Кубани // Тенденции развития науки и образования. 2020. № 58–1. С. 81–84. DOI: 10.18411/lj-02-2020-15. EDN: YMQQBJ.
3. Приходько И. А., Степанов В. И. Вопросы повышения экологической безопасности функционирования рисовой оросительной системы // International agricultural journal. 2022. № 1. С. 57–65. DOI: 10.24412/2588-0209-2022-10454. EDN: HJRESJ.
4. Сухарев Д. В., Твердунов А. В. Проблемы эксплуатации рисовых оросительных систем в Краснодарском крае // Современные исследования: созидательное развитие: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф., г. Петрозаводск, 28 авг. 2023 г. Петрозаводск: Новая наука (ИП Ивановская И. И.), 2023. С. 8–12. EDN: AFODZS.
5. Дрововозова Т. И., Мильченкова Д. В. Статистический анализ гидрохимиче-

ских показателей дренажно-сбросных вод с рисовой оросительной системы // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 2. С. 94–112. DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-2-94-112. EDN: RUCCYC.

6. Конторович И. И. Утилизация дренажного стока с орошаемых земель. Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2018. 213 с. ISBN: 978-613-8-38824-1. EDN: YUNVKF.

7. Основы использования коллекторно-дренажных вод для орошения / А. Е. Дуанбекова П. С. Султанбекова, Е. Саркынов, О. П. Мешик // Управление водными ресурсами в условиях глобализации: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 105-летию со дня рождения профессора Л. Я. Тажибаева, г. Алматы, 11–12 марта 2021 г. Алматы: КазНАРУ, 2021. С. 28–32.

8. Suprun V. A., Shiryayeva M. A. Engineering biosorptional construction for drainage water treatment // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 723, no. 4. Article number: 042021. DOI: 10.1088/1755-1315/723/4/042021. EDN: JQJQYT.

9. Кирейчева Л. В., Супрун В. А., Агроинженерная технология улучшения качества дренажно-сбросных вод с рисовых оросительных систем // Мелиорация и водное хозяйство. 2022. № 6. С. 4–8. DOI: 10.32962/0235-2524-2021-6-4-8. EDN: YJHURW.

10. Линевич С. Н., Бреус С. А. Оптимизация коагуляционной обработки воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 8. С. 10–13. EDN: OAKSNJ.

11. Исследование очистки воды электрохимическим способом в нестационарном электрическом поле с последующей коагуляцией / И. Я. Шестаков, О. В. Раева, Э. М. Никифорова, Р. Г. Еромасов // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1. Article number: 118. EDN: ZQBYXR.

12. Minimizing residual aluminum concentration in treated water by tailoring properties of polyaluminum coagulants / M. Kimura, Y. Matsui, K. Kondo, T. Ishikawa // Water Research. 2013. Vol. 47, no. 6. P. 2075–2084. DOI: 10.1016/j.watres.2013.01.037.

13. Пирожков Н. С., Поваренкина М. С., Шукин И. С. Применение полиоксихлорида алюминия для очистки природных вод // Инженерные системы. Водоснабжение и водоотведение. 2012. № 12.

14. Frederick W. Pontius. Chitosan as a Drinking Water Treatment Coagulant. American Journal of Civil Engineering. 2016. Vol. 4, no. 5. Article number: 205215.

15. Бальчугов А. В., Бадеников А. В., Баранова А. А. Экспериментальное исследование процесса седиментации частиц песка в турбулентном режиме // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2024. № 11. С. 3–4. EDN: GENIDV.

16. Разработка и моделирование работы двухъярусного отстойника для очистки городских сточных вод / А. Е. Новиков, Е. А. Дугин, М. И. Филимонов [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1. С. 337–347. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-32. EDN: ZRSPNZ.

17. Бальчугов А. В., Бадеников А. В., Баранова А. А. Критериальное уравнение процесса седиментации в переходном режиме // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2023. № 17. С. 53–56. EDN: LLJJCP.

References

1. Vladimirov S.A., Nepra A.S., Aleksandrov D.A., 2020. *Problemy i perspektivy razvitiya ekologicheskii bezopasnogo risovodstva na Kubani* [Problems and prospects for the development of environmentally friendly rice growing in the Kuban]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* [Trends in the Development of Science and Education], no. 64-2, pp. 108-111, DOI: 10.18411/lj-08-2020-61, EDN: USEPNG. (In Russian).

2. Vladimirov S.A., Bolotov D.V., Bulkovsky A.E., 2020. *Optimizatsiya resursopotrebleniya kak faktor ekologizatsii s.-kh. proizvodstva, na primere risovodstva Kubani* [Opti-

mization of resource consumption as a factor in the greening of agricultural production, using the example of rice growing in Kuban]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* [Trends in the Development of Science and Education], no. 58-1, pp. 81-84, DOI: 10.18411/lj-02-2020-15, EDN: YMQQBJ. (In Russian).

3. Prikhodko I.A., Stepanov V.I., 2022. *Voprosy povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti funktsionirovaniya risovoy orositel'noy sistemy* [Issues of increasing the environmental safety of the rice irrigation system]. *International agricultural journal* [International Agricultural Journal], no. 1, pp. 57-65, DOI: 10.24412/2588-0209-2022-10454, EDN: HJRESJ. (In Russian).

4. Sukharev D.V., Tverdunov A.V., 2023. *Problemy ekspluatatsii risovykh orositel'nykh sistem v Krasnodarskom krae* [Problems of operation of rice irrigation systems in the Krasnodar Territory]. [Sovremennye issledovaniya: sozidatel'noe razvitiye: sb. st. mezhdunar. nauch.-prakt. Konferentsii] [Modern Research: Creative Development: collection of Articles of the International Scientific-Practical Conference]. Petrozavodsk, Novaya Nauka (IP Ivanovskaya I. I.), pp. 8-12, EDN: AFODZS. (In Russian).

5. Drovovozova T.I., Milchenkova D.V., 2025. *Statisticheskiy analiz gidrokhimicheskikh pokazateley drenazhno-sbrosnykh vod s risovoy orositel'noy sistemy* [Statistical analysis of hydrochemical indicators of drainage and wastewater from a rice irrigation system]. *Melioratsiya i gidrotehnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 15, no. 2, pp. 94-112, DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-2-94-112, EDN: RUCCYC. (In Russian).

6. Kontorovich I.I., 2018. *Utilizatsiya drenazhnogo stoka s oroshaemykh zemel'* [Drainage Runoff Disposal from Irrigated Lands]. Saarbrücken, LAP LAMBERT, 213 p., ISBN: 978-613-8-38824-1, EDN: YUNVKF. (In Russian).

7. Duanbekova A.E., Sultanbekova P.S., Sarkynov E., Meshik O.P., 2021. *Osnovy ispol'zovaniya kollektorno-drenazhnykh vod dlya orosheniya* [Basics of using collector-drainage water for irrigation]. *Upravlenie vodnymi resursami v usloviyakh globalizatsii: sb. materialov Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 105-letiyu so dnya rozhdeniya professora L. YA. Tazhibaeva* [Water Resources Management in the Context of Globalization: Proceed. of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 105th Anniversary of the birth of Professor L. Ya. Tazhibaev]. Almaty, KazNARU, pp. 28-32 (In Russian).

8. Suprun V.A., Shiryayeva M.A., 2021. Engineering biosorptional construction for drainage water treatment. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 723, no. 4, article number: 042021, DOI: 10.1088/1755-1315/723/4/042021, EDN: JQJQYT.

9. Kireycheva L.V., Suprun V.A., 2022. *Agroinzhenernaya tekhnologiya uluchsheniya kachestva drenazhno-sbrosnykh vod s risovoykh orositel'nykh sistem* [Agroengineering technology for the rice irrigation systems to manage drainage flow quality]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 6, pp. 4-8, DOI: 10.32962/0235-2524-2021-6-4-8, EDN: YJHURW. (In Russian).

10. Linevich S.N., Breus S.A., 2011. *Optimizatsiya koagulyatsionnoy obrabotki vody* [Optimization of coagulation water treatment]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water Supply and Sanitary Technique], no. 8, pp. 10-13, EDN: OAKSNJ. (In Russian).

11. Shestakov I.Ya., Raeva O.V., Nikiforova E.M., Eromasov R.G., 2013. *Issledovanie ochistki vody elektrokhimicheskim sposobom v nestatsionarnom elektricheskom pole s posleduyushchey koagulyatsiey* [Study of water treatment by electrochemical method in a non-stationary electric field with subsequent coagulation]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], no. 1, article number: 118, EDN: ZQBYXR. (In Russian).

12. Kimura M., Matsui Y., Kondo K., Ishikawa T., 2013. Minimizing residual aluminum concentration in treated water by tailoring properties of polyaluminum coagulants. *Water Research*, vol. 47, no. 6, pp. 2075-2084, DOI: 10.1016/j.watres.2013.01.037.

13. Pirozhkov N. S., Povarenkina M.S., Shchukin I.S., 2012. *Primenenie polioksikhlorida alyuminiya dlya ochistki prirodnikh vod* [Aluminum polyoxychloride application for natural water purification]. *Inzhenernye sistemy. Vodosnabzhenie i vodootvedenie* [Engineering Systems. Water Supply and Sanitation], no. 12. (In Russian).

14. Frederick W., 2016. Pontius. Chitosan as a Drinking Water Treatment Coagulant. *American Journal of Civil Engineering*, vol. 4, no. 5, article number: 205215.

15. Balchugov A.V., Badenikov A.V., Baranova A.A., 2024. *Eksperimental'noe issledovanie protsessy sedimentatsii chastits peska v turbulentnom rezhime* [Experimental study of the sedimentation process of sand particles in turbulent regime]. *Sovremennye tekhnologii i nauchno-tekhnicheskii progress* [Modern Technologies and Scientific and Technical Progress], no. 11, pp. 3-4. EDN: GENIDV. (In Russian).

16. Novikov A.E., Dugin E.A., Filimonov M.I., [et al.], 2021. *Razrabotka i modelirovanie raboty dvukh"yarusnogo otstoynika dlya ochistki gorodskikh stochnykh vod* [Development and simulation of the operation of a two-tier sedimentation tank for urban wastewater treatment]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceed. of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 1, pp. 337-347, DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-32, EDN: ZRSPNZ. (In Russian).

17. Balchugov A.V., Badenikov A.V., Baranova A.A., 2023. *Kriterial'noe uravnenie protsessy sedimentatsii v perekhodnom rezhime* [Criterion equation for the sedimentation process in the transition regime]. *Vestnik Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bullet. of Angarsk State Technical University], no. 17, pp. 53-56, EDN: LLJJCP. (In Russian).

Информация об авторах

Д. В. Мильченкова – научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, milchenkova.darya@mail.ru, ORCID: 0009-0001-7665-1366;

Т. И. Дрововозова – ведущий научный сотрудник, доктор технических наук, доцент, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, tid70.drovovozova@yandex.ru, WoS Research ID ABH-4873-2020, ORCID: 0000-0002-8724-7799;

Е. В. Пятницына – заведующий эколого-аналитической лабораторией, кандидат химических наук, доцент, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, apyatnicina@mail.ru, ORCID: 0009-0005-3130-2380.

Information about the authors

D. V. Milchenkova – Scientific Associate, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, milchenkova.darya@mail.ru, ORCID: 0009-0001-7665-1366;

T. I. Drovovozova – Leading Researcher, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, tid70.drovovozova@yandex.ru, WoS Research ID ABH-4873-2020, ORCID: 0000-0002-8724-7799;

E. V. Pyatnitsyna – Head of the Ecological and Analytical Laboratory, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, apyatnicina@mail.ru, ORCID: 0009-0005-3130-2380.

Вклад авторов: Д. В. Мильченкова – патентный поиск и анализ существующих технических решений, проведение лабораторных исследований, математическая обработка полученных результатов, формулирование выводов, написание статьи. Т. И. Дрововозова –

зова – формирование основной концепции, целей и задач исследований, формулирование выводов, написание статьи. Е. В. Пятницына – участие в проведении лабораторных исследований.

Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

Author contributions: D. V. Milchenkova – searched for a patent and analyzed the existing technical solutions, made laboratory research, processed the obtained results mathematically, formulated conclusions and wrote the article. T. I. Drovozova – developed the main concept, purposes and objectives of the research, formulated the conclusions and wrote the article. E. V. Pyatnitsyna – participated in conducting laboratory research.

All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 18.05.2026; одобрена после рецензирования 26.06.2026; принята к публикации 18.08.2026.

The article was submitted 18.05.2026; approved after reviewing 26.06.2026; accepted for publication 18.08.2026.