

АГРОИНЖЕНЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДРЕНАЖНО-СБРОСНЫХ ВОД С РИСОВЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Кирейчева Л.В.^{1*}, Супрун В.А.²

¹ ORCID: 0000-0002-7114-2706, доктор технических наук

² ORCID: 0000-0002-1093-5163, аспирант

Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и
мелиорации имени А.Н. Костякова, Москва, Россия

Аннотация. В условиях нарастающего дефицита водных ресурсов дополнительным водным источником могут служить маломинерализованные дренажно-сбросные воды с рисовых оросительных систем. Разработана и прошла испытание агроинженерная технология очистки и водоподготовки дренажно-сбросных вод для повторного использования на орошение, включающая создание биосорбционного сооружения, обеспечивающего очистку от минеральных солей на специально подобранных природных минеральных сорбентах, поглощение биогенных веществ высшей водной растительностью и кондиционирование воды с применением разработанного комплексного сорбента. Результаты создания и испытания биосорбционного сооружения, проведенные на Сарпинской оросительно - обводнительной системе в республике Калмыкия, показали высокую эффективность. Наблюдалось устойчивое снижение минерализации с 4,3, до 0,66 г/л, при этом значительно уменьшилось содержание хлора с 78 до 28 мг/л, а содержание кальция увеличилось со 100 до 124 мг/л, что улучшило качество воды и обеспечило возможность ее использования на орошение без негативных последствий. Применение разработанной технологии позволит обеспечить экономический эффект за счет снижения затрат на подачу воды на рисовую оросительную систему.

Ключевые слова: дренажно-сбросные воды, минерализация, биогенные вещества, очистка, сорбенты, биосорбционное сооружение, орошение

Summary. Under condition of water shortage slow-mineralized drainage water coming from the rice irrigation systems can be used as an additional source of water. Agro-engineering technology on drainage flow treatment and its reusing for irrigation has been developed and tested by the authors. Agro-engineering technology includes: 1) biosorption facility to remove mineral salts with the help of specially selected natural mineral sorbents, 2) higher aquatic vegetation to absorb biogenic substances; 3) the developed new sorbent to provide water conditioning. The results of biosorption facility testing carried out at the Sarpin irrigation system in the Republic of Kalmykia showed its high efficiency. A decrease in drainage flow mineralization was observed

(from 4.3 to 0.66 g/l), while chlorine decreased from 78 to 28 mg/l, as well as calcium increased from 100 to 124 mg/l. So the efficiency of the suggested technique of drainage flow treatment is rather high which made it possible to use purified drainage flow for irrigation purposes without negative consequences. The application of the developed technology will get an economic effect by reducing the cost of water supply for the rice irrigation system.

Keywords: drainage flow, mineralization, biogenic substances, purification, sorbents, biosorption facility, irrigation

Введение

Орошаемое земледелие является одним из существенных потребителей пресной природной воды в сельскохозяйственном производстве, особенно это касается рисовых оросительных систем, на которых на возделывание риса затрачивается от 13 до 28 тыс. м³/га оросительной воды [1]. При этом значительная ее часть (более 20 %) в виде дренажно-сбросных вод поступает за пределы системы, оказывая существенное негативное влияние на компоненты природной среды. Для рационального использования водных ресурсов, повышения ценности экосистемных услуг, предотвращения процессов деградации земельных угодий и загрязнения водных объектов, а также поддержания экологической устойчивости мелиорируемых агроландшафтов, необходимо улучшение качества дренажно-сбросных вод и их преимущественное повторное использование на орошение. Особенно остро это проявляется в вододефицитных регионах, где практически все природные водные объекты в силу специфики климата имеют повышенную минерализацию. Недостаточность качественных водных ресурсов сдерживает развитие растениеводства, особенно рисосеяния, для которого благоприятны климатические условия. К таким регионам относится республика Калмыкия, которая испытывает недостаток водных ресурсов из-за чего в настоящее время орошаемые площади, особенно под посевы риса в Сарпинской низменности ежегодно сокращаются. Одним из возможных направлений повышения эффективности использования водных ресурсов является очистка и водоподготовка дренажно-сбросных вод с рисовых оросительных систем с последующим их использованием на орошение [2].

Цель исследования – разработка природоподобной агроинженерной технологии очистки и улучшения качества слабоминерализованных сбросных вод с рисовых оросительных систем.

Объект и методика исследований

Сарпинская низменность республики Калмыкия характеризуется низкой влагообеспеченностью (годовая сумма осадков 243...278 мм), высокой испаряемостью (1100...1180 мм/год) и суммой активных температур ($\Sigma t > 100\text{C} = 3300...3500\text{C}$). Площадь сельскохозяйственных угодий на 2019 год составляет 1,27 млн га, исторически сложившаяся специализация сельскохозяйственного производства – животноводство (овцеводство и мясное скотоводство) и земледелие (производство кормовых и зерновых: риса, озимой пшеницы и ярового ячменя). Пашня составляет в среднем по зоне 22% от площади сельхозугодий. Площадь пахотных орошаемых земель 17,6 тыс. га или 4,8 % от общей площади пашни и 1,1 % от площади сельхозугодий. В последние годы ввиду нехватки воды площади под посевы риса сокращаются: если в 2010 году по рис использовалось 5300 га, то в 2019 году 3300 га [3]. Основным источником орошения является река Волга, вода которой при низкой минерализации до 0,7 г/л может иметь разнообразный химический состав: от гидрокарбонатно-кальциевого до сульфатно-кальциево-натриевого типа. Дренажно-сбросной сток в период затопления риса имеет минерализацию 0,9-1,7 г/л, по химическому составу хлоридно-натриевый, а к концу вегетации и во вневегетационный период содержание солей возрастает до 6,0 -7,0 г/л при преобладании ионов хлора, сульфата и натрия. Оценка качества дренажно-сбросных вод показала, что они относятся к III-IV классам. Ирригационный коэффициент составляет 5,33, что характеризует воду как неудовлетворительного качества для орошения и ее использование может вызывать процессы засоления и осолонцевания почвы, а повышенные значения рН неблагоприятно сказываются на продуктивности с.-х. культур, особенно при их возделывании на тяжелых почвах. Поэтому применение ранее разработанных водооборотных технологий на рисовых оросительных системах,

включающих использование неподготовленных дренажно-сбросных вод (ДСВ) на орошение [4,5,6,7] может негативно повлиять на урожайность, качество риса и плодородие почвы.

Для предотвращения негативного воздействия вод требуется их очистка от биогенных загрязнителей, снижение общей минерализации до допустимых пределов и формирование благоприятного соотношения основных ионов.

Результаты и обсуждение

Во ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н.Костякова» разработана агроинженерная технология очистки и обессоливания ДСВ с рисовых систем, в основу которой положена предпосылка об использовании естественных процессов сорбции минеральными природными и искусственными сорбентами и поглощение загрязняющих веществ и отдельных солей высшей водной растительностью (ВВР). ВВР обладает способностью удалять из воды загрязняющие вещества: биогенные элементы (азот, фосфор, калий), тяжелые металлы (кадмий, медь, свинец, цинк), фенолы, сульфаты, что широко используется при очистке сточных вод. Принцип действия предлагаемой технологии заключается в мобилизации природных возможностей самоочищения экосистем водных объектов, что позволяет минимизировать применение материально-технических средств и энергетических ресурсов.

Прототипом являются габионные очистные фильтрующие сооружения [8]. Отличительная особенность при очистке ДСВ с рисовых оросительных систем состоит в том, что, помимо биогенных загрязнителей и тяжелых металлов, необходимо понизить минерализацию воды за счет снижения ионов хлора, натрия и магния, а также сбалансировать соотношение Ca/Na и разность $(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$. Для этого потребуется дополнительная обработка воды кальцийсодержащими веществами.

Для подбора сорбентов и изучения солепоглащающей способности растений, растущих в условиях резко континентального климата Сарпинской низменности, были проведены исследования в условиях максимально приближенных к естественным на специально разработанной установке. Для

исследования были выбраны природные и искусственные материалы, обладающие сорбционными свойствами: агроионит, диатомит, сапрпель, цеолит, перлит, вермикулит, а также местные солепоглощающие растения: рогоз широколистный (*Typha latifolia*), осока черная (*Carex nigra*) и осока обыкновенная (*Carex nigra*). Результаты исследований показали, что для эффективного обессоливания можно использовать сорбенты агроионит, состоящий из набора слоистых алюмосиликатов группы глауконитов и глинистых минералов группы монтмориллонитов, и диатомит. Для усиления сорбционных свойств был разработан комплексный сорбент, включающий сорбенты агроионит и перлит, которые обладают разными механизмами сорбции. Указанные сорбенты в сочетании с ВВР показали наилучший эффект по очистке и обессоливаю ДСВ на модельном опыте.

Для использования в натуральных условиях было разработано и запроектировано специальное биосорбционное сооружение (БСС) применительно к очистке дренажно-сбросных вод с рисовых оросительных систем. В состав БСС входят четыре ступени очистки: отстойник, фильтрующая камера с диатомитом и щебнем, комплексное биоплато, фильтрующая камера со специально разработанным комплексным сорбентом (рисунок 1).

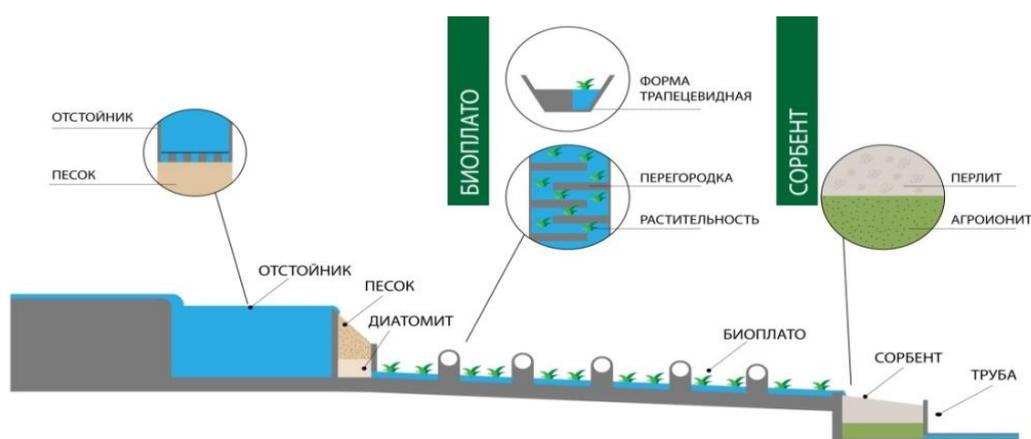


Рисунок 1 - Структурная схема биосорбционного сооружения (профиль)

Вода в биосорбционное сооружение закачивается из сбросного канала в отстойник с помощью насоса, где происходит осаждение взвешенных веществ.

Отстойник в составе БСС выполняет также функцию аккумулирующей ёмкости, обеспечивая приём поступающей воды. Расчет рабочего объема отстойника выполнялся по рекомендациям НИИ ВОДГЕО [9]. Скорость воды в аккумулирующей емкости-отстойнике определяется конструкцией фильтрующей камеры с зернистой загрузкой и должна обеспечивать необходимую эффективность очистки от взвешенных частиц. Следует заметить, что ДСВ, как правило, содержат незначительное количество взвешенных частиц, поэтому скорость течения определяется расходом фильтрации через фильтрующие элементы. Этот расход в зависимости от размеров сооружения может составлять от 1 л/с до 100 л/с и более. Из отстойника осветлённая вода фильтруется через камеру, заполненную щебнем средней фракции (20х40мм) и диатомитовым порошком NDP-600 с целью доочистки от взвешенных частиц и сорбции диатомитом тяжелых металлов и некоторых солей.

После фильтрующей камеры сток попадает на комплексное биоплато, на котором высажена высшая водная растительность, которая произрастает непосредственно в зоне сбросного канала. ВВР также служит субстратом для дальнейшего развития различных видов водорослей, грибов, бактерий. Благодаря совместному действию сообществ растений и микроорганизмов происходит наилучшее поглощение биогенных веществ, тяжелых металлов, насыщение воды кислородом. Для повышения эффективности очистки в биоплато установлены специальные сооружения (демпферы) для гашения скорости потока, что необходимо для увеличения времени контакта воды с растительным сообществом. Кроме того, исключается проблема вымывания почвы из камеры биоплато.

На заключительном этапе вода попадает в фильтрующую камеру со специально разработанным для данного типа воды комплексным сорбентом (агроионит + перлит агротехнический), где происходит окончательная доочистка стока, кондиционирование воды для ее последующего использования. После очистки вода перекачивается в оросительный канал для повторного использования на орошение риса или сбрасывается в водные объекты.

Проверка технологии выполнялась на Сарпинской ООС в Калмыкии. Площадь системы составляет 46,5 тыс. га. Под производство риса занято 24,2 тыс. га (это общая площадь затопления в системе). Сооружение рассчитано на подачу воды расходом 1 л/с, его параметры следующие: длина 55 м, ширина 3,2 м, объем отстойника 20 м³.

Строительство сооружения осуществлялось в мае 2021 года непосредственно возле сбросного канала с целью возможности забора воды помпой. Пуск сооружения произведен в июне 2021 г. Общий вид построенного опытного биосорбционного сооружения представлен на рисунке 2.

Вода из сбросного канала подавалась мотопомпой в начало БСС. Минерализация воды в сбросном канале составляла 4,3 г/л. С 1 по 11 июня регулярно два раза в сутки в 9-00 и 20-00 выполнялись замеры электропроводности воды на входе и выходе из биосорбционного сооружения, а также производился отбор проб воды на химический анализ. Результаты наблюдений представлены в таблице 1.



Рисунок 2 – Общий вид опытного биосорбционного сооружения на Сарпинской рисовой оросительной системе в Калмыкии

Таблица 1 – Результаты химических анализов проб воды в сбросном канале и на выходе из БСС

Дата и время отбора проб	Минерализация (г/л)	Ca ²⁺ (мг/л)	Cl ⁻ (мг/л)	SO ₄ ²⁻ (мг/л)	NH ₄ ⁺ (мг/л)	K ⁺ (мг/л)	HCO ₃ ⁻ (мг/л)
Сбросной канал	4,3	100,5	78,2	4,23	1,452	12,446	204
01.07.2021 (9:00)	0,82	88,92	69,34	4,2	1,234	8,235	186
2.07.2021 (9:00)	0,65	99,12	66,54	3,87	1,322	5,774	200
2.07.2021 (20:00)	0,65	99,65	65,2	3,9	1,248	4,961	178
3.07.2021 (9:00)	0,65	100,23	63,7	3,76	1,217	1,935	176
3.07.2021 (20:00)	0,57	100,15	52,80	3,55	1,208	1,483	165
4.07.2021 (9:00)	0,57	100,20	48,87	3,45	1,245	0,814	164
4.07.2021 (20:00)	0,57	101,33	46,95	3,5	1,256	0,776	159
5.07.2021 (9:00)	0,57	102,47	44,02	3,29	1,156	0,762	153
5.07.2021 (20:00)	0,49	103,60	41,75	3,23	1,146	0,567	148
6.07.2021 (9:00)	0,49	104,73	39,32	3,25	1,149	0,379	143
6.07.2021 (20:00)	0,57	106,17	36,90	3,16	1,145	0,316	142
7.07.2021 (9:00)	0,49	106,34	34,47	3,08	1,139	0,255	138
7.07.2021 (20:00)	0,57	108,72	32,04	3,02	1,203	0,243	134
8.07.2021 (9:00)	0,65	108,8	34,44	3,1	1,201	0,132	132
8.07.2021 (20:00)	0,49	110,6	33,51	2,99	1,093	0,135	129
9.07.2021 (9:00)	0,57	112,4	32,58	3	1,099	0,058	130
9.07.2021 (20:00)	0,65	114,2	31,66	2,83	1,054	0,055	126
10.07.2021 (9:00)	0,66	117,09	30,49	2,74	1,055	0,023	126
10.07.2021 (20:00)	0,65	116,3	30,45	2,7	1,053	0,025	124
11.07.2021 (9:00)	0,65	120,8	28,27	2,77	0,959	0,013	122
11.07.2021 (20:00)	0,66	124,6	28,12	2,56	0,954	0,016	120

Как видно из таблицы, в биосорбционном сооружении происходит очистка и деминерализация воды. Минерализация воды понижается с 4,3 г/л до 0,49...0,66 г/л, то есть почти в 10 раз, что связано с процессами сорбции, происходящими при контакте с диатомитом и комплексным сорбентом. Кроме того, вода обогащается ионом кальция, его содержание увеличилось за 10 дней с 100,5 мг/л до 124,6 мг/л, то есть на 20 %, а ион хлора уменьшается с 78,2 до 28,12 мг/л, в 2,6 раза. Таким образом, соотношение Ca/Na в воде улучшилось (рисунок 3).

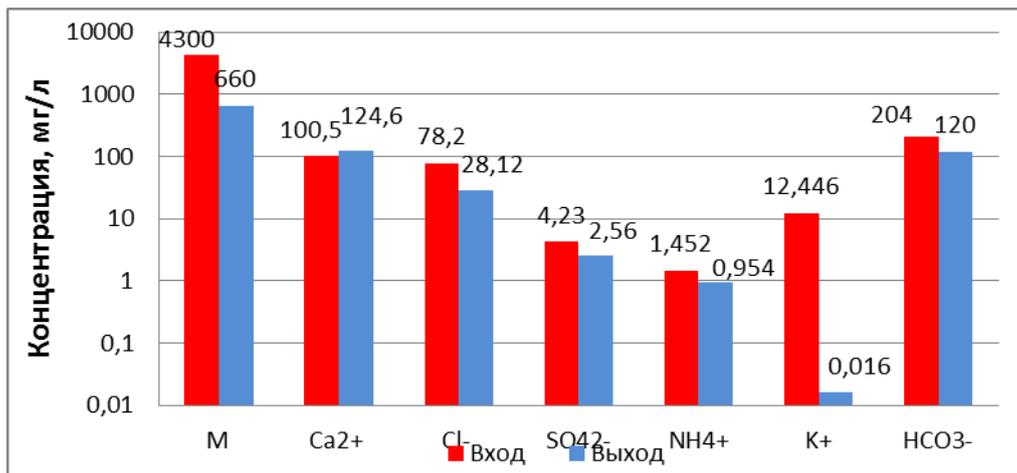


Рисунок 3 – Диаграмма изменения минерализации и химического состава воды на входе в БСС и выходе из него

Роль высаженных растений заключалась в поглощении биогенных элементов NH_4^+ и K^+ , произошло снижение NH_4^+ с 1,45 до 0,94 мг/л, а иона калия с 12,4 до 0,016. Вода, прошедшая через БСС, полностью соответствует качеству оросительной воды, которая подается на рисовую оросительную систему. Экономический эффект достигается за счет снижения затрат на подачу воды. Так, по данным ФГБУ "Управление "Калммелиоводхоз" в 2021 году плата за оказание услуг по подаче 1 куб.м.воды с учетом НДС составила 0,17 руб./куб.м в зоне безмашинного подъема и 0,5 руб./куб.м в зоне машинного подъема.

Заключение

В качестве одного из возможных мероприятий по экономии водных ресурсов на рисовых оросительных системах и охране окружающей среды может стать повторное использование дренажно-сбросных вод на орошение риса или сопутствующих культур. Для этих целей разработано и прошло производственную проверку в Калмыкии новое инженерное биосорбционное сооружение, обеспечивающее эффективное снижение минерализации воды и ее очистку от биогенных элементов. Снижение минерализации составило с 4,3 г/л до 0,49...0,66 г/л, а аммонийного азота с 1,45 до 0,94 мг/л, также наблюдалось уменьшение содержания хлора и увеличение содержания кальция, что благоприятно сказалось на качестве воды.

В зависимости от объема дренажно-сбросных вод и территориальных возможностей рисовых систем для строительства биосорбционных сооружений, экономия водных ресурсов может составить более 30%.

Список литературы

1. Амелин В.П., Владимиров С.А. Эколого-ландшафтные основы устойчивого рисоводства: монография / КубГАУ. – Краснодар, 2008. – 447 с.
2. Кирейчева Л.В. Дренажные воды как альтернативные водные ресурсы для орошения // Мелиорация и водное хозяйство. 2018 №4. С. 13-17
3. Suprun, V.A., Shiryayeva, M.A. Engineering biosorption construction for drainage water treatment// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 723(4), 042021
4. Н.В. Островский В.О. Шишкин Технология повторного использования дренажно-сбросного стока на внутрихозяйственном звене рисовых систем //Известия Нижневолжского Агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование № 3 (47), 2017 с. 1-9
5. Островский, Н.В. Технологическое обоснование автономных водоподъемников для повторного использования сбросных вод в низовом звене рисовых систем [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Н.В. Островский. – Краснодар, 2000. – 146 с.
6. Кизюн Ж.В. Технологические приемы использования дренажно-сбросных вод для орошения на внутрихозяйственном звене рисовых систем, автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Краснодар-2014.-170 с.
7. Водооборотная рисовая оросительная система / А.Н. Семененко, А.В. Сербинов, В.В. Лысенко. Труды Куб СХИ. Вып. 224(252). – Краснодар, 1983. - с. 127-132.
8. Чесалов С.М., Лион Ю.А., Птицын В.В., Малоземов А.В. 2014. Габионные очистные фильтрующие сооружения для очистки поверхностных сточных вод // ВСТ. Водоснабжение и санитарная техника. №9. С.69-76.
9. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. – М., ФГУП «НИИ ВОДГЕО» 2006. 56с.