

06.01.02 Мелиорация, рекультивация и охрана земель

Оригинальная статья

УДК 502/504: 631.6: 628.1

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-6-13

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ ОЧИСТКИ ДРЕНАЖНО-СБРОСНЫХ ВОД
С РИСОВЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

КИРЕЙЧЕВА ЛЮДМИЛА ВЛАДИМИРОВНА, д-р техн. наук, руководитель научного направления
kireychevalw@mail.ru

СУПРУН ВЕРОНИКА АЛЕКСАНДРОВНА ✉, аспирант, научный сотрудник
veronika.aleksandrovna.fadeeva@mail.ru

Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова; 127550, Москва,
Б. Академическая ул., 44, корп.2. Россия

Цель исследования – подбор сорбционных материалов для очистки дренажно-сбросной воды с Сарпинской оросительно-обводнительной системы. Республика Калмыкия является одним из самых засушливых регионов России. Дефицит водных ресурсов наблюдается практически на всей территории республики, поэтому существующие площади орошения используются частично. За последние десятилетия площади посевов, валовые сборы и урожайность риса в Калмыкии значительно снизились. Анализ современной экологической обстановки на рисовых оросительных системах степной части Сарпинской низменности показывает, что из общей площади орошаемых земель (8031 га) 43% (3459 га) находится в удовлетворительном мелиоративном состоянии, а 57% (4572 га) – в неудовлетворительном состоянии по причинам вторичного засоления и осолонцевания. Для улучшения эколого-мелиоративного состояния и дальнейшего успешного развития рисоводства в республике необходима разработка технических решений по очистке и обессоливанию дренажно-сбросных вод с целью последующего их использования в орошении. Для подбора природных минеральных сорбентов были проведены лабораторные исследования по изучению статической и динамической емкости сорбентов, разработан наиболее подходящий для сбросной воды комплекс материалов. Проведена апробация смесей сорбентов в натуральных условиях. Сорбционные материалы подбирались исходя из результатов химического анализа профильтрованной воды, учитывался также механизм сорбции. Очистка дренажно-сбросной воды позволит использовать эту воду повторно, благодаря чему экономятся водные ресурсы.

Ключевые слова: дренажные воды, сток, минеральные сорбенты, очистка, орошение, минерализация

Формат цитирования: Кирейчева Л.В., Супрун В.А. Исследование сорбционных материалов для очистки дренажно-сбросных вод с рисовых оросительных систем // Природообустройство. – 2021. – № 5. – С. 6-13. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-6-13.

© Кирейчева Л.В., Супрун В.А., 2021

Original article

**INVESTIGATION OF SORPTION MATERIALS
FOR THE PURIFICATION OF DRAINAGE AND WASTE WATER
FROM RICE IRRIGATION SYSTEMS**

KIREICHEVA LYUDMILA VLADIMIROVNA, doctor of technical sciences, head of the scientific direction
kireychevalw@mail.ru

SUPRUN VERONIKA ALEKSANDROVNA ✉, post graduate student, a researcher

veronika.aleksandrovna.fadeeva@mail.ru

All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov; 127550, Moscow, B. Academicheskaya, 44, cor. 2. Russia

The purpose of the study is the selection of sorption materials for the purification of drainage and waste water from the Sarpinsky irrigation and watering system. The Republic of Kalmykia is one of the driest regions of Russia. The shortage of water resources is observed almost throughout the whole territory of the republic, so the existing irrigation areas are partially used. Over the past decades, the area of crops, gross yields and rice yields in Kalmykia have significantly decreased. An analysis of the current ecological situation in the rice irrigation systems of the steppe part of the Sarpinsky lowland shows that 43% (3459 ha) of the total area of irrigated land (8031 ha) is in a satisfactory reclamation condition, and 57% (4572 ha) is in unsatisfactory for reasons of secondary salinization and alkalinization. To improve the ecological and reclamation state and further successful development of rice farming in the republic, it is necessary to develop technical solutions for the purification and desalination of drainage and waste water with the aim of their subsequent use for irrigation. For the selection of natural mineral sorbents, laboratory studies were conducted to study the static and dynamic capacity of sorbents, the most suitable complex of materials for waste water was developed. The approbation of sorbent mixtures under field conditions was carried out. Sorption materials were selected based on the results of the chemical analysis of filtered water, the sorption mechanism was also taken into account. Treatment of drainage and waste water will allow you to reuse this water, thereby saving water resources.

Keywords: drainage water, runoff, mineral sorbents, purification, irrigation, mineralization

Format of citation: Kireicheva L.V., Suprun V.A. Investigation of sorption materials for the purification of drainage and waste water from rice irrigation systems // Prirodobustrojstvo. – 2021. – № 5. – S. 6-13. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-6-13.

Введение. Рисовые оросительные системы являются достаточно водоемкими системами. Основную часть расхода воды при возделывании риса составляют испарение и транспирация (43-55% от суммы всех статей расхода), на создание проточности расходуется от 10 до 12 тыс. м³/га, или 42...53% воды [1]. Основной их объем составляют дренажно-сбросные воды (ДСВ), которые сбрасываются за пределы рисового поля. Поэтому остро стоит вопрос о необходимости и возможности их повторного использования на орошение риса и/или сопутствующих ему культур в пределах оросительной системы. Сдерживающим фактором являются повышенная минерализация ДСВ и несоответствующее качество.

Согласно источникам литературы установлено, что при минерализации воды в пределах 1,5-3,0 г/л до фазы кущения погибают до 40% растений риса, 80% растений гибнут при минерализации 4 г/л и более. Считается, что если минерализация не превышает 1,4 г/л и оценка пригодности дренажно-сбросных вод по всем показателям исключает негативное воздействие на почвы и растения риса, то эту воду без специальной подготовки можно повторно использовать на орошение риса, в противном случае требуются очистка и снижение минерализации [2].

В Республике Калмыкия на Сарпинской оросительно-обводнительной системе (СООС)

объем сброса ДСВ с рисовой оросительной системы достигает 25 млн м³ в год. При водозаборе пресной воды в 2021 г. в объеме 111,75 млн м³ сброс составил 17,088 млн м³, то есть 19%. Химический состав и минерализация ДСВ сильно меняются как по годам, так и в течение вегетации, достигая 7 г/л. В химическом составе в достаточном количестве обнаруживаются ионы Cl и Na⁺, что может привести к угнетению растений и засолению почвы, а высокое значение рН – к процессам осолонцевания (табл. 1).

Для снижения минерализации, коррекции ионного состава и очистки от поллютантов в ФГБНУ «ВНИИГиМ им А.Н. Костякова» разработано инженерное биосорбционное сооружение (БСС), основными составными элементами которого являются сорбционные камеры с природными сорбционными материалами [3]. При разработке конструкции БСС важная роль отводилась подбору сорбционных материалов, обеспечивающих необходимую степень очистки ДСВ. Загружаемые в камеры материалы должны обладать развитой пористой структурой, механической прочностью, химической стойкостью и соответствовать экономическим критериям, которыми являются дешевизна и доступность.

Целью работы явились исследования по обоснованию природных сорбентов для биосорбционного сооружения и определению их сорбционной емкости.

Химический анализ воды в сбросном канале после насосной станции (НС-9), 2019 г.

Table 1

Chemical analysis of water in the discharge channel after the pumping station (NS-9), 2019

Сезон Season	Концентрация ионов, г/л / Concentration of ions, g/l							Сумма солей, г/л Amount of salts, g/l	pH
	CO ₂ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺		
Весна / Spring	0,006	0,488	0,9	1,896	0,410	0,198	0,835	4,742	8,3
Лето / Summer	-	0,268	0,170	2,664	0,320	0,222	0,694	4,338	8,2
Осень / Autumn	-	0,189	0,802	2,464	0,360	0,320	1,132	5,1	8,3

Материалы и методы. При выборе природных сорбционных материалов учитывались механизм сорбции и поглощательная способность вещества, а также сохранение свойств при температурных колебаниях в интервале от 0 до +50°C, отсутствие отрицательного воздействия на окружающую среду, возможность утилизации без нарушения экологических требований. На основе анализа источников литературы были выбраны сорбционные материалы, которые в настоящее время используются в различных технологических процессах: цеолит, вермикулит, диатомит пищевой и промышленный, перлит, агроионит [4-8]. Основные характеристики сорбционных материалов приведены в таблице 2.

Сорбционные свойства вышеперечисленных материалов определяли по их статической и динамической сорбционной емкости в лабораторных и натуральных условиях на модельной установке.

Расчет статической обменной емкости сорбентов проводился по методике, разработанной НИИ минерального сырья [9]. Сорбция в статических условиях осуществлялась путем введения массы сорбента ($m_{\text{сорб}}$) в определенный объем раствора солей ($V_{\text{р-ра}}$) заданной концентрации ($C_{\text{исх}}$) и последующим перемешиванием до установления равновесной концентрации (C). Экспериментально величина адсорбции (A) вычислялась по формулам:

$$A = (C_{\text{исх}} - C) \times V_{\text{р-ра}} / m_{\text{сорб}}; \quad (1)$$

$$\alpha = (C_{\text{исх}} - C) \times 100 / C_{\text{исх}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{исх}}$ и C – исходная и равновесная концентрация солей в растворе, мг/л; $V_{\text{р-ра}}$ – объем раствора, л; $m_{\text{сорб}}$ – масса сорбента, г; α – степень извлечения загрязнителя из раствора, %.

Были приготовлены модельные растворы для трех уровней минерализации воды в соответствии с наблюдаемой минерализацией и химическим составом воды в сбросном канале: 3,1 г/л;

5 г/л; 7 г/л. Первый раствор (3,1 г/л) включал в себя NaCl и K₂SO₄ по 1,55 г/л каждой соли. При минерализации 5 г/л количество солей составило по 2,5 г/л NaCl и K₂SO₄; для минерализации 7 г/л – NaCl и K₂SO₄ по 3,5 г/л.

Сорбент массой 15 и 7,5 г помещали в колбу вместимостью 300 мл и заливали раствором, содержащим фиксированную концентрацию солей. Замеры проводились через 5, 10, 20, 30 мин, 1, 2, 24, 48 ч, и концентрация определялась с помощью кондуктометра HI 8733 производителя HANNA. Исследования проводили в 2-кратной повторности по каждому образцу сорбента. Опыты проводились при разных температурных условиях с целью определения влияния температуры на процессы сорбции.

В динамических условиях исследования проводились на фильтрационной колонке диаметром 4,5 см, в которую загружались сорбент или смеси сорбентов. Слой сорбента 10 см устанавливался на основании соотношения высоты слоя засыпки к диаметру колонки 1:2, чтобы предотвратить пристенный эффект. Снизу подавался модельный раствор до полного насыщения сорбента, затем осуществлялась фильтрация тем же раствором со скоростью 200 мл/ч, или 4,8 л/сут. Такая скорость обусловлена требованиями наилучшего контакта жидкости с сорбентом. Отбор проб проводился через каждые 30 мин.

С целью оценки эффективности выбранных в ходе лабораторного эксперимента сорбентов и их смесей были проведены натурные эксперименты в полевых условиях на модельной установке с использованием воды, отобранной непосредственно из сбросного канала рисовой оросительной системы. Для этого (совместно с сотрудниками Калмыцкого филиала ВНИИГиМ) была разработана специальная конструкция модельной установки, имитирующая работу БСС и смонтированная на территории ФГУП «Харада». Установка состоит из 10 напорных труб для водоснабжения длиной 3 м диаметром 110 мм с прорезью для засыпки сорбента.

Физико-химические свойства изучаемых сорбентов [4-8]

Table 2

Physical-chemical properties of the studied sorbents [4-8]

	Диатомит NDP-D-280 <i>Diatomite</i>	Диатомит NDP-600 <i>Diatomite</i>	Цеолит <i>Zeolite</i>	Перлит агро- технический <i>Perlit agrotechnical</i>	Вермикулит, вспученный <i>Vermiculite, expanded</i>	Агроионит <i>Agroionite</i>
Влажность, % <i>Moisture</i>	3,5	1-1,5	3-7	1-2	10	
Объемная масса, кг/м ³ <i>Volumeweight, kg/m³</i>	250-280	560-650	1100	400-1000	90-110	
Плотность, г/см ³ <i>Density, g/cm³</i>	0,38-1	2,15	2,18-2,5	0,15-0,20	2,40-2,75	1,10-1,38
Пористость, % <i>Porosity</i>	80-85	74,5	45-50	70...90% 55-60	92	85-90
Удельная поверхность см ² /г (ПСХ) <i>Specific surface area cm²/g (PSS)</i>	17 000-20 000	3000-5000	50-65		378	
Фракцион- ный состав <i>Fraction composition</i>			1...5 мм	0,16...1,25 мм	1...5 мм	
Средний размер частиц, <i>Average size of particles</i>	8 мкм	45-55 мкм	28 мкм	1-10 мкм	0,25-10 мкм	
рН (10%-я суспензия / <i>suspension</i>)	7-8	7-8	6,0	7,0	7,0	6-8
Преоблада- ющий химический состав, % <i>Prevailing chemical composition</i>	SiO ₂ – 84-87%, Al ₂ O ₃ – 5,5-6%	SiO ₂ – 84-87% Al ₂ O ₃ – 5,5-6% Fe ₂ O ₃ – 2,5-3% CaO – 0,8%	75% – кремний / <i>silicon</i> 11-15% – алюминий / <i>aluminium</i> 9-10% – вода / <i>water</i>	SiO ₂ (65-75%), Al ₂ O ₃ (10-16%), K ₂ O (до 5%), Na ₂ O (до 4%)	SiO ₂ – 49,0% MgO – 20,0% Al ₂ O ₃ – 12,0% Fe ₂ O ₃ – 5,4-9,3% FeO – 1,2% K ₂ O – 5,2% Na ₂ O – 0,8% CaO – 0,7%	Природный мине- ральный комплекс алюмосиликатов группы глауконит- тов и глинистых минералов группы монтморилло- нитов <i>Natural mineral complex of aluminosilicates of the glauconite group and clay minerals of the montmorillonite group</i>

Для обеспечения фильтрации внизу трубы отсыпали отмытый песок в объеме 1 кг и помещали почву для посадки растений. Затем засыпались смеси из сорбентов (рис. 1). Всего было исследовано 5 вариантов: контроль без использования сорбентов; перлит агротехнический (200 г), диатомит (300 г); перлит агротехнический (200 г), цеолит (300 г); перлит

агротехнический (200 г), агроионит (250 г); перлит агротехнический (200 г), вермикулит агротехнический (300 г). Объем сорбентов устанавливался на основе лабораторных исследований и рассчитывался с учетом минерализации и качества подаваемой воды. Подача воды осуществлялась в течение 5 дней три раза в сутки в объеме 40 л на каждый вариант.



Рис. 1. Конструкция модельной установки
Fig. 1. Design of the model installation

Результаты и обсуждение. Лабораторные испытания выбранных сорбентов в статистических условиях показали, что стабилизация минерализации наступала через 24-48 ч (табл. 3). Выполненные по формулам (1), (2) расчеты статистической обменной емкости и степени извлечения загрязняющих веществ представлены в таблице 3.

Анализ полученных результатов показал, что вермикулит и цеолит не оказывают сорбционного действия на модельный солевой раствор, состоящий из солей NaCl и K₂SO₄, поэтому из дальнейших исследований эти вещества исключались. Наилучшие результаты показали агроионит и перлит, у которых степень извлечения составила в среднем примерно 30% (у диатомитов – 18-11%). Учитывая, что агроионит, перлит технический и диатомит NDP-600 имеют немного разные механизмы сорбции, попытались разработать смеси из двух сорбентов для усиления процессов сорбции. Для этого были получены смеси с разными сорбентами, в разном их соотношении и проведены исследования по определению статической обменной сорбции (табл. 4).

Таблица 3

Показатели изменения минерализации в статических условиях, статическая обменная емкость и степень извлечения солей из раствора (средние значения по двум повторностям)

Table 3

Indicators of change in mineralization under static conditions, static exchange capacity and the degree of salt extraction from the solution (average values for 2 repetitions)

Сорбент <i>Sorbent</i>	Диатомит NDP-D-280 <i>Diatomite NDP-D-280</i>			Диатомит NDP-600 <i>Diatomite NDP-D-280</i>			Цеолит <i>Zeolite</i>			Перлит агро- технический <i>Perlit agrotechnical</i>			Вермикулит, вспученный <i>Vermiculite, expanded</i>			Агроионит <i>Agroionite</i>		
	3,1	5	7	3,1	5	7	3,1	5	7	3,1	5	7	3,1	5	7	3,1	5	7
Исходная минерализация раствора (г/л) <i>Initial mineralization of solution (g/l)</i>	3,1	5	7	3,1	5	7	3,1	5	7	3,1	5	7	3,1	5	7	3,1	5	7
Время (т) <i>Time (t)</i>	Показатели общей минерализации кондуктометра HI 8733 производителя HANNA (г/л) <i>Indicators of total mineralization of HI 8733 conductometer of the manufacturer HANNA (g/l)</i>																	
5 мин / 5 min	3,2	5	6,9	2,6	4,1	5,5	3	4,5	6,6	2,9	4,5	6,9	3,5	5	6,8	4	6	8,3
10 мин / 10 min	3,1	4,9	6,3	2,3	3,7	5,4	2,6	4,5	6,1	2,7	4,4	6,2	3,4	4,9	6,8	3,9	5,8	7,4
20 мин / 20 min	3,1	4,9	6,3	2,4	3,8	4,5	2,7	4,2	5,9	2,8	4,3	5,2	3,4	4,7	6,8	3,8	5,6	7,3
30 мин / 30 min	2,8	4,3	6,2	2,6	3,9	5,3	2,9	4,1	5,9	2,7	4,2	5,8	3,2	5	6,9	3,6	5,7	7,1
1 час / 1 hour	2,8	4,1	5,8	2,2	4,1	4,7	2,6	4,1	5,7	2,5	4,1	6,2	3,3	5,1	6,4	3,5	5,3	7,3
2 часа / 2 hours	2,6	4,9	5	2,4	4,1	4,6	2,9	4	5,6	3,1	4,5	6,3	2,8	4,8	6,9	3,2	5,4	6,9
24 часа / 24 hours	2,5	4	5,1	2,4	4,1	5	2,6	3,8	5,9	2,7	4,5	5,9	3,5	5,5	8	2,9	4,8	6,7
48 часа / 48 hours	2,4	3,8	5	2	3,8	4,8	2,6	3,9	5,7	2,7	4,5	6,2	3,3	5,1	7,3	3	5	6,8
C _{исх} C, г / л	0,7	1,2	2,0	1,1	1,2	2,2	0,5	1,1	1,3	0,4	0,5	0,8	0	0	0	0,1	0	0,2
A, мг/г	10,5	18	30	9	18	33	7,5	16,5	19,5	6	7,5	12	-	-	-	-	-	-
α	26	24	38	19	24	44	16	22	19	13	10	11	-	-	-	-	-	-

Показатели статической обменной емкости и степень извлечения солей из раствора смесями сорбентов (средние значения по двум повторностям)

Table 4

Indicators of static exchange capacity and the degree of extraction of salts from the solution by mixtures of sorbents (average values for 2 repetitions)

Сорбент <i>Sorbent</i>	Агроионит (15 г) + + диатомит NDP-600 (15 г) <i>Diatomite</i>			Перлит (7,5 г) + + Диатомит NDP-D-280 (15 г) <i>Diatomit</i>			Агроионит (15 г) + + перлит (7,5 г) <i>Zeolite</i>			Перлит (7,5 г) + + Диатомит NDP-600 (15 г) <i>Perlitagrotechnical</i>		
	3,1	5	7	3,1	5	7	3,1	5	7	3,1	5	7
Исходная минерализация раствора, г/л <i>Initial mineralization of solution (g/l)</i>	3,1	5	7	3,1	5	7	3,1	5	7	3,1	5	7
24 ч	2,7	4,5	6,3	2,5	4,3	5,9	2,3	4	5,1	2,3	3,8	5
48 ч	2,8	4,5	6,5	2,6	4,3	6,2	1,9	3,7	5	2,2	3,6	4,8
$C_{исх}$, г/л	0,3	0,5	0,5	0,5	0,7	0,8	1,2	1,3	2	0,9	1,4	2,2
A, мг/г	3	5	5	6,6	9,3	11	16	17	26	12	18	29
α %	9,6	10	7	16	14	11	38	26	29	29	28	31

Наилучшее действие на снижение минерализации выявлено у смесей агроионит + перлит и диатомит NDP-600 + перлит, показавшие наибольшую сорбционную емкость. Так, у смеси агроионит + перлит сорбционная емкость в среднем составила 31 мг/г. Это значительно выше, чем в отдельности у агроионита (20 мг/л) и перлита (20 мг/л), что указывает на возможность синергетического эффекта за счет разных механизмов сорбции.

Дальнейшие исследования были направлены на изучение сорбции в динамических условиях [10]. Опыты были проведены в 2-кратной повторности при трех минерализациях модельного раствора: 3, 5, 7 г/л.

Результаты исследований показали, что во всех вариантах испытываемые сорбенты и их смеси обеспечивают эффективное снижение минерализации воды и подтвердили результаты исследований в статистических условиях. Так, наилучшее действие оказали смеси перлит + диатомит NDP-D-280 и агроионит + перлит. В процессе сорбции наблюдалось снижение минерализации для указанных смесей в среднем по опытам на 68-70%, что свидетельствует о высокой эффективности сорбции [11].

На рисунке 2 представлены графики изменения минерализации модельных растворов при фильтрации через сорбенты и их смеси при исходной минерализации 5 и 7 г/л.

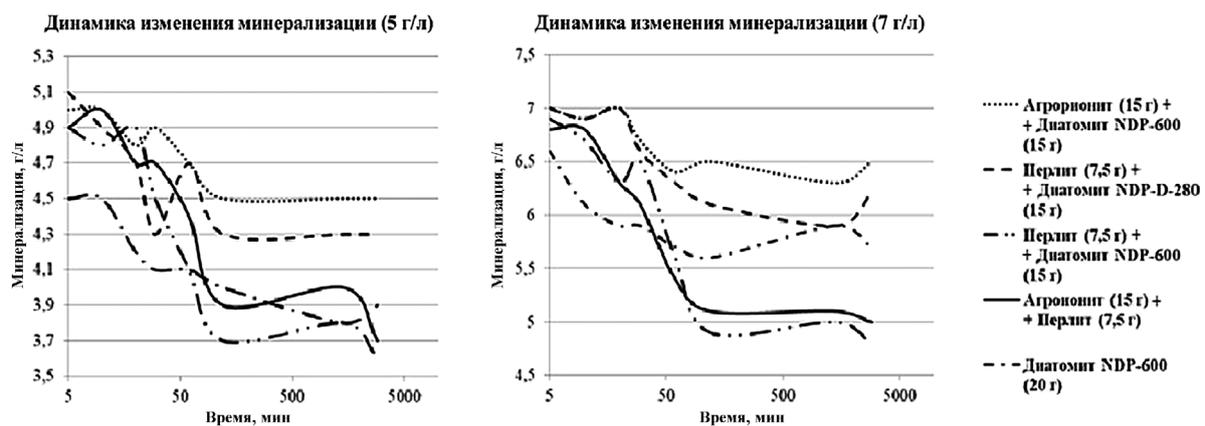


Рис. 2. Динамика изменения минерализации модельных растворов при фильтрации через сорбенты и их смеси при исходной минерализации 5 и 7 г/л

Fig. 2. Dynamics of changes in the mineralization of model solutions during filtration through sorbents and their mixtures with initial mineralization of 5 and 7 g/l

Заключительным этапом исследований по обоснованию сорбционных материалов явились опыты в натурном эксперименте

на модельной установке (табл. 5). Исходная вода, непосредственно отобранная из сбросного канала вблизи насосной станции НС-9, имела

минерализацию на момент опыта 6,95 г/л. После подачи воды в объеме 40 л минерализация во всех вариантах снизилась. Наибольшее

снижение наблюдалось у смеси агроионит + перлит (40%), что можно объяснить кратковременностью опыта.

Таблица 5

Результаты исследования химического состава и минерализации фильтрата на модельной установке (средние значения по двум повторностям)

Table 5

Results of the study of the chemical composition and mineralization of the filtrate at the model plant (average values for 2 repetitions)

Варианты опыта <i>Variants of the test</i>	HCO_3^-	Cl	SO_4^-	Сумма анионов	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Сумма катионов	Сумма солей	Плотный остаток	pH
	$\frac{\text{мг-экв}}{\text{г/л}}$	$\frac{\text{г/л}}{\text{г/л}}$									
Диатомит NDP-600 + Перлит <i>Diatomite NDP-600 + Perlit</i>	$\frac{2,90}{0,177}$	$\frac{37,20}{1,321}$	$\frac{22,50}{1,080}$	$\frac{62,60}{2,578}$	$\frac{8,00}{0,160}$	$\frac{4,50}{0,054}$	$\frac{50,10}{1,152}$	$\frac{62,60}{1,366}$	3,944	4,336	6,6
Цеолит + Перлит	$\frac{1,10}{0,067}$	$\frac{38,80}{1,377}$	$\frac{27,00}{1,296}$	$\frac{66,90}{2,740}$	$\frac{7,00}{0,140}$	$\frac{5,00}{0,060}$	$\frac{54,90}{1,263}$	$\frac{66,90}{1,463}$	4,203	4,622	6,8
Агроионит + Перлит <i>Agroionite + Perlit</i>	$\frac{5,40}{0,329}$	$\frac{28,00}{0,994}$	$\frac{11,00}{0,528}$	$\frac{44,40}{1,851}$	$\frac{6,00}{0,120}$	$\frac{6,00}{0,072}$	$\frac{32,40}{0,745}$	$\frac{44,40}{0,937}$	2,789	3,064	6,0
Перлит + Вермикулит <i>Perlit + Vermikulite</i>	$\frac{2,60}{0,159}$	$\frac{39,80}{1,413}$	$\frac{30,00}{1,440}$	$\frac{72,40}{3,012}$	$\frac{8,50}{0,170}$	$\frac{7,50}{0,090}$	$\frac{56,40}{1,297}$	$\frac{72,40}{1,557}$	4,569	5,024	6,6
Контроль / <i>Control</i>	$\frac{3,70}{0,226}$	$\frac{72,60}{2,577}$	$\frac{36,00}{1,728}$	$\frac{112,3}{4,531}$	$\frac{14,00}{0,280}$	$\frac{11,00}{0,132}$	$\frac{87,30}{2,008}$	$\frac{112,3}{2,420}$	6,951	7,642	6,6

Кроме того, наблюдается снижение в воде ионов хлора с 2,5 до до 1 г/л и натрия с 2,4 до 0,9 г/л, что также подтверждает результаты лабораторных опытов и способствует улучшению качества воды.

Выполненные исследования показали, что снижение минерализации ДСВ до требуемой величины (1,4 г/л) следует проводить по этапам: сначала использовать простые сорбенты, показавшие наилучший результат (агроионит, перлит или диатомит) в качестве основного сорбента, а для доочистки применять смесь сорбентов (агроионитасперлитом агротехническим), что позволит повысить эффективность сорбции.

Выводы

Для повторного использования на орошение маломинерализованных дренажно-сбросных вод с рисовых оросительных систем необходимо понизить их минерализацию и обеспечить соответствующее качество воды, предотвращающее такие негативные процессы, как

Авторы выражают признательность сотрудникам Калмыцкого филиала «ФГБНУ ВНИИГиМ» им. А.Н. Костякова и лично А.А. Дедову, Р.М. Шабанову, Т.Н. Манджиевой, а также Ф.Л. Сарпинский ФГБУ «Управление «Калм.мелиоводхоз»

засоление и осолонцевание почвы. Показано, что использование природных сорбционных веществ позволит обеспечить очистку и деминерализацию ДСВ, а также их кондиционирование путем применения кальцийсодержащих сорбционных материалов.

Анализ природных сорбционных веществ позволил выбрать для исследования применяемые для других технологических процессов сорбционные материалы: цеолит, вермикулит, диатомит пищевой и промышленный, перлит, агроионит. Выполненные исследования показали, что для характерного качества и минерализации ДСВ Сарпинской оросительно-обводнительной системы эффективно использовать агроионит, перлит технический, диатомит пищевой и их смеси. Указанные сорбционные материалы в сочетании с другими способами очистки (например, биологическими) могут обеспечить не только снижение минерализации на 68-70%, но и обогащение воды кальцием при уменьшении содержания ионов натрия и хлора.

The authors express their gratitude to the employees of the Kalmyk branch of the «FGBNU VNIIGiM» named after A.N. Kostyakov personally A.A. Dedov, R.M. Shabanov, T.N. Manjjeva, as well as F.L. Sarpinsky FGBU «Management «Kalmmeliovodkhoz» and the administration

и администрации Октябрьского РМО Республики Калмыкия за помощь при проведении данного исследования.

of the Oktyabrsky RMO of the Republic of Kalmykia for their assistance in conducting this study.

Библиографический список

1. Ясониди О.Е. Возделывание риса при периодических поливах: монография. – Новочеркасск: ФГБОУ ВО «ГУЗ» Лик, 2017. – 245 с.
2. Кизюн Ж.В. Технологические приемы использования дренажно-сбросных вод для орошения на внутрихозяйственном звене рисовых систем: Дис. ... канд. техн. наук. – Краснодар, 2014. – 170 с.
3. Suprun V.A., Shiryaeva M.A. Engineering biosorption construction for drainage water treatment // IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE Сер. "International Scientific and Practical Conference "Ensuring Sustainable Development in the Context of Agriculture, Green Energy, Ecology and Earth Science". – Ecology and Environment Protection" IOP Publishing Ltd, Smolensk. – 2021. 723(4), 042021.
4. Технические условия ТУ 2164-006-03029859-2009 «Агроионит – неорганический сорбент для рекультивации почв и поглотитель солей тяжелых металлов». – URL: <https://e-ecolog.ru/crc/16.11.11.216.%D0%A2.000278.08.09>.
5. «Кипящий» камень цеолит – природный и синтетический. Перлит для растений. Вспученный агроперлит. – URL: <http://ficusweb.ru/perlit.html>.
6. КВАНТ. Производственная компания. – URL: <https://kvant-nikolsk.ru/>.
7. Вермикулит. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Вермикулит>.
8. СТО РосГео 08-002-98. Технологические методы исследования минерального сырья. – М.: РосГео, 1998. – 41 с.
9. Романова О.А. Очищение природными средствами. Натуральные сорбенты. – М.: Вектор, 2009. – 493 с.
10. Кирейчева Л.В., Титов А.В. Исследование детоксикации грунта полигона твердых коммунальных отходов сорбентом «Агроионит» // Экология и промышленность России. – 2019. – № 23(3). – С. 26-30.

Критерии авторства

Кирейчева Л.В., Супрун В.А. выполнили теоретические и практические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию 23.09.2021 г.

Одобрена после рецензирования 18.10.2021 г.

Принята к публикации 01.11.2021 г.

References

1. Yasonidi O.E. Vozdelyvanie risa pri periodicheskikh polivah: monografiya. – Novocherkassk: FGBOU VO «GUZ» Lik, 2017. – 245 s.
2. Kizyun Zh.V. Technologicheskie priemy ispolzovaniya drenazhno-sbrosnyh vod dlya orosheniya na vnutrihozyajstvennom zvene risovyh system [Text]: dis. ... cand. tehn. nauk / Zh.V. Kizyun. – Krasnodar: 2014. – 170 s.
3. Suprun V.A., Shiryaeva M.A. Engineering biosorption construction for drainage water treatment // IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE Сер. "International Scientific and Practical Conference "Ensuring Sustainable Development in the Context of Agriculture, Green Energy, Ecology and Earth Science" – Ecology and Environment Protection" IOP Publishing Ltd, Smolensk, 2021. 723(4), 042021
4. Tehnologicheskie usloviya TU2164-006-03029859-2009 «Agroionit – neorganicheskij sorbent dlya recultivatsii pochv i poglotitel solej tyazhelyh metallov». <https://e-ecolog.ru/crc/16.11.11.216.%D0%A2.000278.08.09>
5. «Kipyashchij kamen tseolit – prirodny i sinteticheskij. Boiling” stone zeolite – natural and synthetic – URL: Perlit dlya rastenij. Vspuchennyj agroperlit. URL: <http://ficusweb.ru/perlit.html>
6. KVANT. Proizvodstvennaya kompaniya URL: <https://kvant-nikolsk.ru/>
7. Vermiculit. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Vermiculit>.
8. STO RosGeo 08-002-98. Tehnologicheskie metody issledovaniya mineralnogo syrja. – M.: RosGeo, 1998. – 41 s.
9. Romanova O.A. Ochishchenie prirodnyimi sredstvami. Naturalnye sorbenty. – M.: Vektor, 2009. – 493 s.
10. Kireicheva L.V., Titov A.V. Issledovanie detoksikatsii grunta poligona tverdyh kommunalnyh othodov sorbentom «Agroionit» // *Ecologiya i promyshlennost Rossii*. 2019. – 23(3). – S. 26-30.

Criteria of authorship

Kireicheva L.V., Suprun V.A. carried out theoretical and practical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 23.09.2021

Approved after reviewing 18.10.2021

Accepted for publication 01.11.2021