

Гидрология и водное хозяйство Гидрология және су шаруашылығы Hydrology and water management

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-2-3-12.15>

МРНТИ 87.19.35

УДК 628.1:628.3

Т. В. Драбкова^{*1}, Н. М. Абдутаалипова², Ф. Н. Рахматуллаев³, У. Н. Рахматов⁴

^{1*} Ассистент кафедры «экология и ООС» (Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан; tatyana111183@mail.ru)

² Д. т. н., доцент кафедры «экология и ООС» (Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан; nelly_dolls@mail.ru)

³ К. т. н., доцент, заведующий кафедрой «экология и ООС» (Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан; f.rakhmatullaev7@mail.ru)

⁴ К. г.-м. н., доцент кафедры «экология и ООС» (Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан; rakhmatov_1007@mail.ru)

МОНИТОРИНГ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ УЗБЕКИСТАНА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИОНООБМЕННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Аннотация. Проведен мониторинг водных ресурсов Узбекистана, рассматриваемых как источники сбросов сточных вод промышленных предприятий. Результаты показывают, что концентрации ряда вредных веществ – азот аммонийный (NH_4^+), азот нитритный (NO_2^-), фосфаты (PO_4^{3-}), железо (Fe) и жесткость воды в реках и каналах превышают допустимые нормы, что указывает на значимые экологические проблемы. Для их решения авторы предлагают внедрение на промышленных предприятиях систем ионной очистки как эффективного метода для снижения загрязнения сточных вод, поступающих в водоемы. Рассмотрена работа экспериментальной установки, предназначенной для обработки сточных вод с различным составом. Полученные результаты подтверждают целесообразность и эффективность этой технологии для очистки сточных вод и подчеркивают важность внедрения современных решений для смягчения экологических последствий и защиты здоровья населения.

Ключевые слова: мониторинг, загрязняющие вещества, сточные воды, ионообменная установка, сорбция.

Введение. Вода является жизненно важным ресурсом для любого региона, и Республика Узбекистан придает большое значение охране своих водных ресурсов [1]. В стране активно развиваются различные отрасли промышленности, которые требуют значительных объемов воды, однако с ростом промышленной деятельности возникает и проблема очистки сточных вод [2]. Увеличение промышленной нагрузки на водные экосистемы значительно ухудшает качество водных ресурсов, что подчеркивает необходимость проведения детального анализа состояния водоемов и разработки эффективных мер по их защите. В связи с этим важно проводить сезонные мониторинги состояния водных ресурсов и разработать эффективные меры по их защите [3, 4]. По мнению авторов, одним из таких шагов может стать внедрение системы очистки сточных вод ионообменным методом [4-9], что позволит не только сократить загрязнение, но и обеспечить повторное использование воды в производственных процессах.

В этом исследовании был проведен мониторинг загрязнения поверхностных вод рек и каналов, водоемов Бостанлыкского района, города Чирчика, Кибрайского района, а также Зангиотинского и Янгиюльского районов. Особое внимание уделялось концентрации таких загрязняющих веществ, как азот аммонийный (NH_4^+), азот нитритный (NO_2^-), фосфаты (PO_4^{3-}), железо (Fe) и жесткость воды. Эти показатели являются важными индикаторами экологического состояния водных ресурсов и могут указывать на наличие различных источников загрязнения. Анализ собранных данных позволяет не только выявить источники загрязнения, но и разработать рекомендации по улучшению состояния водных ресурсов.

Одним из перспективных решений проблемы очистки сточных вод является использование ионообменного оборудования. Оно позволяет эффективно удалять из воды ионы загрязняющих веществ, что способствует улучшению качества воды и снижению негативного воздействия на экосистемы. Ионообменные технологии могут быть интегрированы в существующие системы оборотного водоснабжения, что позволит не только очистить сточные воды, но и повторно использовать их в промышленных процессах или для орошения сельскохозяйственных угодий. Это не только поможет снизить нагрузку на природные водоемы, но и обеспечит более рациональное использование водных ресурсов.

Таким образом, комплексный подход к анализу состояния рек и каналов Бостандыкского района, городов Чирчика и Янгиюля, а также внедрение современных технологий очистки сточных вод может стать основой для разработки эффективной стратегии управления водными ресурсами в Республике Узбекистан.

Одним из ярких примеров успешного внедрения предложенных технологий очистки сточных вод является предприятие «Махам Чирчик» [10], которое активно использует импортное ионообменное оборудование. Это предприятие достигло хороших результатов в области очистки производственных вод, что позволяет значительно уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Однако многие малые и средние предприятия в Узбекистане все еще не имеют собственных очистных сооружений, что создает серьезные экологические проблемы. В связи с этим становится актуальной задача внедрения ионообменного оборудования на таких предприятиях. Цель создания отечественных установок для очистки сточных вод заключается в том, чтобы обеспечить доступ к эффективным технологиям для малых и средних предприятий, которые сталкиваются с проблемами загрязнения, но не располагают ресурсами для строительства крупных очистных сооружений или закупки дорогостоящего импортного оборудования. Внедрение таких установок позволит значительно улучшить качество сточных вод, а также снизить нагрузку на природные водоемы. Это не только будет способствовать охране окружающей среды, но и поможет малым и средним предприятиям соответствовать современным экологическим требованиям и стандартам. Таким образом, развитие очистных технологий в малом и среднем бизнесе станет важным шагом к устойчивому управлению водными ресурсами в Узбекистане и сохранению экологического баланса в регионе.



Рисунок 1 – Река Чирчик (город Чирчик)
Figure 1 – Chirchik River (Chirchik city)



Рисунок 2 – Канал Бозсу (город Чирчик)
Figure 2 – Bozsuz Channel (Chirchik city)

Материалы и методы исследования. В ходе эксперимента для оценки качества были взяты пробы поверхностных вод рек и каналов Бостанлыкского района, города Чирчика, Кибрайского района, а также Зангиотинского и Янгиюльского районов. Пробы воды были взяты в соответствии с ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб».

Измерены концентрации NH_4^+ , NO_2^- , PO_4^{3-} , железа и жесткости воды. Результаты анализа проб воды, собранных в 23 точках водных объектов, включающие входные и выходные участки рек и каналов, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Мониторинг химического состава рек и каналов в весенний период

Table 1 – In spring period monitoring of chemical composition of rivers and channels

№ пробы	Объект	Концентрация, мг /дм ³						
		t, °C	pH	NH_4^+	NO_2^-	PO_4^{3-}	Fe _{общ}	Жест-кость
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Чарвакское водохранилище (вход), Бостанлыкский р-н	11,3	8,5	–	–	–	0,06	2,4
	Превышение ПДК						1,2	
2	Чарвакское водохранилище (выход), Бостанлыкский р-н	11,3	8,4	–	–	–	0,066	2,4
	Превышение ПДК						1,3	
3	Река Бельдерсай (вход), Бостанлыкский р-н	11,6	8,3	–	0,007	0,012	0,124	2,5
	Превышение ПДК						2,5	
4	Река Бельдерсай соедин. с рекой Аксакатасай (выход), Бостанлыкский р-н	11,6	8,2	–	0,012	0,021	0,137	2,9
	Превышение ПДК						2,7	
5	Река Угам (вход), Бостанлыкский р-н	11,6	8,3	–	–	–	–	2,2
	Превышение ПДК			–				
6	Река Угам соедин. с рекой Чирчик (выход), Бостанлыкский р-н	11,3	8,1	–	–	–	0,079	2,5
	Превышение ПДК						1,6	
7	Река Чирчик (вход) Чарвак плотина, Бостанлыкский р-н	11,6	8,3	–	–	–	0,081	2,5
	Превышение ПДК						1,6	
8	Юмалакская протока, г. Чирчик	14,3	7,6	1,3	0,068	0,02	0,503	2,5
	Превышение ПДК			2,6	3,4		10,06	
9	Река Чирчик, плотина после сбросных вод протоки Юмалак 500 м (выход), г. Чирчик	12,6	7,7	0,31	0,031	0,01	0,615	2,9
	Превышение ПДК				1,5		12,3	
10	Река Чирчик (вход), Янгиюльский р-н	11,6	7,8	0,59	0,187	0,143	0,207	6,7
	Превышение ПДК			1,2	9,3		4,1	
11	Река Чирчик граница с Чиназ (выход), Янгиюльский р-н	11,3	7,7	0,34	0,02	0,15	0,154	6,7
	Превышение ПДК						3,1	
12	Канал Бозсу Газалкент гидроузел (вход), Бостанлыкский р-н	11,6	8,3	–	0,007	–	0,162	2,6
	Превышение ПДК						3,2	
13	ЗАХ канал ГЭС №10 (вход), г. Чирчик	12,0	8,4	–	–	–	0,039	2,4
	Превышение ПДК							
14	Зах канал (выход), г. Чирчик	11,6	8,2	–	0,015	–	0,224	2,6
	Превышение ПДК						4,5	
15	Канал Кара-су, начало плотины на реке Чирчик, левобережная сторона	12,0	7,7	0,03	0,014	0,009	0,598	3,0
	Превышение ПДК						12,0	

Окончание таблицы 1								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
16	Канал Кара-су (выход)	11,6	7,6	0,35	0,027	0,026	0,306	3,1
	Превышение ПДК				1,35		6,1	
17	Канал Бозсу (выход), Кибрайский р-н	11,6	8,3	–	0,007	–	0,167	2,6
	Превышение ПДК						3,3	
18	Канал Бозсу (вход), Зангиотинский р-н	11,6	7,3	1,8	0,143	0,66	0,247	4,3
	Превышение ПДК			3,6	7,1	2,2	4,9	
19	Канал Бозсу (выход), Чиназский р-н	11,6	7,5	0,38	0,035	0,25	0,253	5,4
	Превышение ПДК				1,7		5,1	
20	Канал Салар (вход), Янгиюльский р-н	11,3	7,7	8,5	0,109	0,357	0,148	6,8
	Превышение ПДК			17	5,45	1,2	3	
21	Канал Салар, очистные сооружения ниже 500 м на мосту (выход), Янгиюльский р-н	11,3	7,7	4,9	0,092	0,454	0,211	7,4
	Превышение ПДК			9,8	4,6	1,5	4,2	1,06
22	Канал Каракульдук (вход), Янгиюльский р-н	11,3	7,6	7,5	0,112	0,48	0,147	7,0
	Превышение ПДК			15	5,6	1,6	2,9	
23	Каракульдук (выход), Янгиюльский р-н, канал	11,6	7,6	2,7	0,068	0,34	0,132	6,4
	Превышение ПДК			5,4	3,4	1,1	2,6	
	ПДК нормы мг/дм ³	–	6,5-8,5	0,5	0,02	0,3	0,05	7,0

Проводился анализ содержания различных веществ в воде с использованием стандартизованных методов, описанных в соответствующих ГОСТах. Концентрация ионов аммония (NH_4^+) определялась фотометрическим методом от 0,20 до 2,0 мг/дм³. Методика основана на образовании окрашенного соединения с реактивом Несслера, придающим раствору желто-коричневый цвет. Предельно допустимая концентрация (ПДК) для NH_4^+ в водоемах составляет 0,5 мг/дм³. Анализ проводился в соответствии с ГОСТ 33045–2014.

Содержание нитрит-ионов (NO_2^-) измерялось фотометрическим методом от 0,02 до 0,60 мг/дм³. Метод основан на измерении оптической плотности при длине волны 540 нм, где нитриты образуют окрашенное в розовый цвет соединение с реактивом Грисса. ПДК для NO_2^- в воде составляет 0,02 мг/дм³ согласно ГОСТ 33045–2014.

Фосфат-ионы (PO_4^{3-}) определялись фотоколориметрическим методом от 0,01 до 0,80 мг/дм³. Методика основана на образовании фосфорно-молибденовой гетерополиокислоты ($\text{H}_2\text{P}(\text{MoO}_7)_6$) при взаимодействии фосфатов с молибдатом аммония в кислой среде, которая под действием восстановителя хлорида олова ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) образует окрашенное в синий цвет комплексное соединение, известное как молибденовая синь. ПДК для PO_4^{3-} составляет 0,3 мг/дм³ согласно ГОСТ 18309–2014.

Концентрация ионов железа (Fe) в воде измерялась фотометрическим методом от 0,005 до 2,0 мг/дм³. Метод основан на образовании красного комплексного соединения при взаимодействии трехвалентного железа с роданидом в сильноокислой среде. ПДК для Fe составляет 0,05 мг/дм³ согласно ГОСТ 10555-2016.

Все фотометрические и фотоколориметрические измерения выполнялись на фотометре фотоэлектрическом КФК-3-01-“ЗОМЗ”.

Общая жесткость воды определялась комплексонометрическим методом от 5,0 до 20,0 ммоль/дм³. Методика основана на образовании стабильного окрашенного комплексного соединения с этилендиаминтетраацетатом натрия (трилоном Б) в присутствии индикатора хромогена черного в щелочной среде. ПДК для общей жесткости воды составляет 7,0 ммоль/дм³.

Результаты анализов отбора проб были сопоставлены с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) в природных и сточных водах для каждого из исследуемых загрязняющих веществ.

Исследования позволили получить комплексные данные о качестве воды в водоемах, что является важным шагом для дальнейшего анализа и оценки состояния водных экосистем. В ходе экспериментов проанализированы 23 пробы сточных вод из рек и каналов республики, в разных точках объектов температура воды колебалась от 11,3 до 14,3 °C, а pH среды – от 7,6 до 8,5.

Описание экспериментальной ионообменной установки для очистки сточных вод. Новая ионообменная установка “ИОУ-4Ф” (ионообменная установка – 4 фильтра, неофициальное название), предназначена для эффективной очистки сточных вод. Состоит из четырех ионообменных фильтров, каждый из которых имеет объем 1,5 л и высоту 160 мм псевдоожиженного слоя ионитов в каждом фильтре. Дренажная система фильтра работает в противоточном режиме, то есть раствор в фильтр подается сверху вниз и, проходя снизу вверх через слой ионитов, выводится через верхний патрубок. Такая технология препятствует загипсовыванию ионитов, способствуя их взрыхлению. Также технология включает возможность использования катионитов КУ-2-8 и анионитов АВ-17-8 одновременно, при этом для каждого вида сорбентов предусмотрена отдельная система регенерации. Исходный раствор подается с помощью насоса. Мощность оборудования составляет 90 дм³/ч (2160 дм³/сут). Установка оборудована коллекторами для ввода исходного раствора, вывода очищенной воды и отбора проб, а также запорной арматурой для перекрытия потока при необходимости. Кроме того, установка включает резервуары для регенерации и промывки ионитов, а также запорные арматуры, которые регулируют подачу регенерирующих и промывных растворов. Процесс очистки включает этапы фильтрации, взрыхления, регенерации и промывки ионообменных смол.

Конструкция оборудования изготовлена преимущественно из пластика, что обеспечивает высокую коррозионную стойкость. Это особенно важно при работе с агрессивными химическими веществами, так как пластиковые материалы не разрушаются под воздействием кислот и щелочей. Установка также может функционировать от 0 до 60 °C, что делает её универсальной для различных условий эксплуатации. Кроме того, она эффективно работает при pH от 2 до 12, что позволяет использовать её для очистки растворов с различными химическими свойствами.

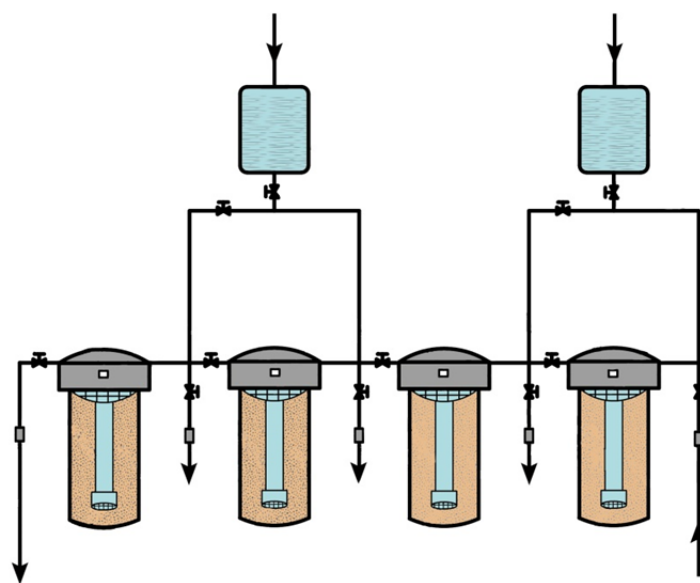


Рисунок 3 – Схема ионообменной установки для очистки сточных вод

Figure 3 – Scheme of ion exchange system for wastewater treatment

Представленное оборудование отличается простой конструкцией и механическим управлением, что является преимуществом, поскольку не требует дополнительной подготовки операторов. Технология очистки создана для работы в различных эксплуатационных условиях, что делает её универсальным решением для удаления загрязняющих веществ, таких, как ионы железа и различных солей. В процессе водоподготовки, особенно при умягчении воды катионитом КУ-2-8, оборудование позволяет эффективно повторно использовать ресурсы в рамках оборотного водо-

снабжения, что способствует экономии природных водных ресурсов. Также предусмотрен индивидуальный выбор катионитов, анионитов и амфолитов (различных марок) в зависимости от состава очищаемых сточных вод, это расширяет возможности применения системы и позволяет адаптировать её под конкретные условия эксплуатации.

Для эксперимента по очистке сточной воды на ионообменной установке взята проба воды в Юмалакской протоке (см. таблицу 1, проба 8) г. Чирчика в количестве 30 л. Для эксперимента задействованы все четыре фильтра: из них два были заполнены катионитом КУ-2-8, а два других – анионитом АВ-17-8. Сточная вода очищалась в динамических условиях, при подключении установки через трубопровод к баку с исходной водой, далее через коллектор вода попадала поочередно в каждый фильтр и выводилась по коллектору в ёмкость. Скорость подачи исходного раствора 1,5 л/мин. Время прохождения раствора через установку ≈ 20 мин с учетом незначительной потери давления. Температура исследуемой сточной воды 14 °С, а pH среды 7,6. Сорбенты готовили в соответствии с ГОСТ 10896-78. Загрязняющие вещества после очистки определяли аналогичными методами, как и при установлении в поверхностных водах рек и каналах.

Эффективность очистки рассчитывали по соответствующей формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{оч}} = \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}} \cdot 100.$$

Результаты очистки исследуемой воды на экспериментальной установке представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты очистки сточных вод на экспериментальной ионообменной установке с использованием катионита КУ-2-8 и анионита АВ-17-8

Table 2 – Results of wastewater treatment at the experimental ion-exchange system, using cationite KU-2-8 and anionite AB-17-8

Загрязняющие вещества	До очистки, мг/дм ³	После очистки, мг/дм ³	Эффективность, %
NH ₄ ⁺	1,3	0,05	96,2
NO ₂ ⁻	0,068	0,002	97,1
PO ₄ ³⁻	0,02	0,005	75
Fe _{общ}	0,503	0,01	98
Жесткость	2,5	0,5	80

Результаты и их обсуждение. Представлены данные мониторинга химического состава рек и каналов в весенний период (2024 г.), которые отражают текущее состояние водных ресурсов в Узбекистане. Таблица 1 содержит информацию о концентрациях различных химических веществ, таких, как азот аммонийный (NH₄⁺), азот нитритный (NO₂⁻), фосфаты (PO₄³⁻), общее железо (Fe_{общ}) и жесткость воды в разных точках мониторинга. Из таблицы 1, видно, что на большинстве объектов наблюдается превышение ПДК по анализируемым показателям. Например, река Чирчик и каналы в районе Чирчика демонстрируют высокие уровни загрязнения, что требует особого внимания экологических служб и органов управления водными ресурсами.

Загрязнение водных ресурсов Узбекистана (см. таблицу 1), показывает, что в большинстве объектов наблюдается превышение концентраций загрязняющих веществ. Состояние реки Чирчик и канала Бозсу также вызывает серьезные опасения, так как в них фиксируются высокие уровни загрязняющих веществ, включая железо и жесткость воды. Например, в выходных точках рек концентрация железа превышает 0,6 мг/дм³, что значительно выше установленной нормы. Также концентрации аммония (NH₄⁺), нитритов (NO₂⁻), фосфатов (PO₄³⁻), железа (Fe_{общ}) и жесткости воды превышают допустимые нормы. Наибольшее превышение наблюдается в канале Салар, где концентрация аммония достигает 8,5 мг/дм³, что в 17 раз выше ПДК.

Таким образом, результаты мониторинга не только подтверждают наличие серьезных экологических проблем, но и служат основой для разработки рекомендаций по улучшению состояния водных ресурсов в регионе.

В таблице 2 показана эффективность очистки сточных вод с использованием ионообменной технологии.

Очистка сточных вод на установке с использованием катионита КУ-2-8 и анионита АВ-17-8 свидетельствует о высокой эффективности этой технологии. Уровень аммония (NH_4^+) снизился с 1,3 до 0,05 мг/дм³, что соответствует эффективности очистки 96,2%. Аналогичным образом концентрация нитритов (NO_2^-) уменьшилась с 0,068 до 0,002 мг/дм³, демонстрируя эффективность на уровне 97,1%. Удаление общего железа ($\text{Fe}_{\text{общ}}$) также оказалось весьма успешным: его содержание снизилось с 0,503 до 0,01 мг/дм³, что соответствует 98% эффективности. Хотя эффективность удаления фосфатов (PO_4^{3-}) составила 75%, с начального уровня 0,02 до 0,005 мг/дм³, она все равно достаточно высока для защиты экосистем с учетом того, что по этому веществу не было обнаружено превышения.

Кроме того, жесткость воды была уменьшена с 2,5 до 0,5 мг/дм³, что соответствует эффективности 80%. Полученные данные подтверждают целесообразность применения ионообменной технологии для очистки сточных вод.

Ионообменная технология очистки сточных вод, использующая катиониты КУ-2-8 и аниониты АВ-17-8, представляет собой один из наиболее эффективных методов удаления загрязняющих веществ. В сравнении с другими методами очистки, такими, как биологическая очистка, коагуляция и флотация и др., ионообменная технология обладает рядом значительных преимуществ [11, 12].

Во-первых, система очистки на новой ионообменной установке обеспечивает высокую степень удаления специфических загрязняющих веществ. Как показали наши результаты, эффективность удаления аммония составила 96,2%, а нитритов – 97,1%. Эти показатели значительно превышают эффективность традиционных биологических методов, которые больше направлены на удаление органических загрязнителей, часто требуют длительных сроков обработки и могут быть менее эффективными при изменении условий окружающей среды, таких, как температура и pH. Однако биореакторы могут быть более выгодными при обработке больших объемов сточных вод с низким содержанием загрязняющих веществ.

Во-вторых, ионообменные системы позволяют достигать низких концентраций загрязняющих веществ в воде. Например, уровень общего железа был снижен до 0,01 мг/л, что является критически важным для соблюдения экологических норм и стандартов качества воды. В отличие от коагуляции, которая может привести к образованию осадков и требует дополнительной обработки для удаления остатков коагулянтов, ионообмен не создает дополнительных отходов и позволяет получать чистую воду непосредственно из установки.

Кроме того, ионообменные технологии могут быть адаптированы для работы в различных условиях и с различными типами сточных вод. Это делает их универсальными и подходящими для широкого спектра применений – от очистки промышленных сточных вод до обработки сточных вод в населенных пунктах. В отличие от методов флотации, которые требуют наличия определенных химических реагентов и могут быть чувствительны к составу сточных вод, ионообменные системы могут быть настроены на конкретные загрязняющие вещества.

Использование ионообменного метода при очистке питьевой воды может быть эффективно дополнено УФ-обеззараживанием, поскольку УФ-излучение эффективно уничтожает патогены, но не удаляет химические загрязнители, такие, как аммоний, нитриты и фосфаты. Ионообменная технология, в свою очередь, способна удалять как химические, так и некоторые биологические загрязнители, что позволяет достичь более комплексной очистки воды.

Предприятия пищевой, химической, текстильной и горнодобывающей промышленности в Узбекистане могут значительно выиграть от внедрения ионообменных систем. Эти отрасли характеризуются высоким уровнем загрязнения сточных вод, и использование ионообменной технологии позволит им не только соответствовать экологическим стандартам, но и снизить затраты на водопользование. Кроме того, коммунальные предприятия и системы водоснабжения могут использовать эту технологию для улучшения качества питьевой воды и снижения нагрузки на водные ресурсы. Конечно, ионообменные установки могут требовать значительных начальных инвестиций, особенно при установке крупномасштабных систем. Однако с учетом высокой эффективности и долговечности оборудования эти затраты могут окупиться в течение нескольких лет. Основные эксплуатационные расходы связаны с регенерацией ионитов, что требует регулярного обслуживания и может привести к дополнительным затратам. Тем не менее для малых и средних предприятий внедрение такой технологии не потребует чрезмерно высоких затрат, поскольку система

очистки не является слишком сложной или дорогостоящей. Конструкция установки, выполненная преимущественно из пластика, обеспечивает высокую коррозионную стойкость. Это является важным преимуществом при работе с агрессивными средами. Она также снижает затраты на обслуживание и увеличивает срок службы оборудования. Благодаря механизированной системе управления для её обслуживания не требуется наличие специально обученного оператора, что снижает затраты на персонал. Один специалист может эффективно следить за работой системы, проверяя заполнение сорбентов и обеспечивая своевременную их регенерацию, что делает технологию экономически выгодной и простой в эксплуатации для предприятий с ограниченными ресурсами.

Планируется кооперировать данное оборудование с альтернативными источниками энергии, такими, как солнечные панели, что позволит значительно сократить эксплуатационные затраты и повысить энергоэффективность системы. Кроме того, разрабатываются дополнительные меры по оптимизации и усовершенствованию системы, чтобы сделать её более адаптируемой к различным предприятиям. Одним из таких подходов является внедрение механической предварительной очистки, которая позволит снизить нагрузку на ионообменные фильтры и продлить срок их службы. Также планируется снабжение оборудования дополнительными счетчиками, приборами и датчиками, которые обеспечат более точное управление процессом очистки и позволят оперативно реагировать на изменения в составе сточных вод. Это даст возможность адаптировать систему к специфическим требованиям различных предприятий, повышая её эффективность и надежность.

Использование отечественного оборудования для ионообменных установок может значительно снизить затраты на их внедрение и эксплуатацию. Оборудование, произведённое в Узбекистане, экономически более выгодно по нескольким причинам. Во-первых, снижаются транспортные расходы и таможенные пошлины, что делает его более доступным. Во-вторых, отечественные производители могут предложить более гибкие условия обслуживания и поддержки, что упрощает процесс эксплуатации и снижает риски простоя оборудования.

Однако производство такого оборудования требует наличия специализированных цехов и инвестиций в их создание. Это может стать определённым барьером для быстрого внедрения технологии, но в долгосрочной перспективе такие инвестиции могут окупиться за счёт экономии на эксплуатационных расходах и повышения эффективности очистки.

Заключение. Ионообменная технология продемонстрировала высокие результаты, особенно в удалении аммония, нитритов и общего железа. Она превосходит традиционные методы по скорости очистки. Несмотря на необходимость регенерации ионообменных смол, экономические и экологические преимущества метода делают его целесообразным выбором. Анализ данных о состоянии водных ресурсов позволил выявить источники загрязнения и разработать оборудование для их устранения. В настоящее время проводятся дополнительные исследования для оптимизации процессов регенерации и снижения эксплуатационных затрат, что позволит сделать технологию более доступной и эффективной. Для успешного внедрения рекомендуется инвестировать в создание специализированных производственных мощностей, что обеспечит широкое применение ионообменных технологий и улучшит качество очистки сточных вод.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Закон Республики Узбекистан «О воде и водопользовании» от 06.05.1993 г. № 837-XII. <https://www.lex.uz/ru/docs/93202>
- [2] Драбова Т. В., Абдугалипова Н. М., Шохакимова А. А., Рахматуллаева Н. Т., Мухамедова Н. К. Анализ эффективности очистки сточных вод в текстильной промышленности // В мире науки и образования: Экология. – 2024. – С. 13-16. <https://doi.org/10.24412/3007-8946-2024-20-13-16>
- [3] Драбова Т. В., Абдугалипова Н. М., Турабджанов С. М., Рахимова Л. С. Аналитический контроль состава ионов железа в водах рек и каналов как источников сбросов сточных вод предприятий // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решению экологических проблем. Техносферная безопасность – 2023: Материалы XX Международной научно-практической конференции. – Уфа, 2023. – С. 234-238.
- [4] Турабджанов С. М., Понамарёва Т. В., Каюмова И. К., Рахимова Л. С. Исследование химического состава поверхностных вод // Проблемы экологии и экологической безопасности. Создание новых полимерных материалов: Материалы VII Международной заочной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню охраны окружающей среды. – Минск, 2020. – С. 68-69.
- [5] Турабджанов С. М., Кедельбаев Б. Ш., Кушназаров П. И., Бадритдинова Ф. М., Понамарева Т. В., Рахимова Л. С. Новый подход к синтезу поликонденсационных ионообменных полимеров для очистки сточных вод // Известия Нацио-

нальной академии наук Республики Казахстан. Серия геология и технические науки. – 2019. – Т. 2, № 434. – С. 206-216. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.56>

[6] Турабджанов С. М., Понамарёва Т. В., Юсупова Д. А., Назиров З. Ш., Рахимова Л. С. Исследование сорбции ионов меди из сточных вод фосфорнокислым катионитом // Химическая безопасность. – 2018. – Т. 2, № 2. – С. 173-182. <https://doi.org/10.25514/CHS.2018.2.14115>

[7] Турабджанов С. М., Понамарёва Т. В., Назиров З. Ш., Тураева Д. Ш., Рахимова Л. С. Изучение сорбции ионов тяжелых металлов полученным катионитом // Инновационные материалы и технологии – 2020: Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых. – Минск, 2020. – С. 536-538.

[8] Назиров З. Ш., Понамарёва Т. В., Аметова Д. Р., Рахимова Л. С. Перспективное использование сульфокатионита (СКДФ) в процессе водоподготовки // Проблемы экологии и экологической безопасности. Создание новых полимерных материалов: Материалы VII Международной заочной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню охраны окружающей среды. – Минск, 2020. – С.123-124.

[9] Рахимова Л. С., Турабджанов С. М., Понамарёва Т. В. Обессоливание артезианских вод сульфокатионитом на основе дифенилоксида и фурфурола // Актуальные научные и научно-технические проблемы обеспечения химической безопасности ASTICS-2018: Материалы IV Международной конференции. – Москва, 2018. – С. 103.

[10] Предприятие химической промышленности Республики Узбекистан АО «Максам-Чирчиқ» [Электрон. ресурс]. – URL: <https://maxam-chirchiq.uz/>

[11] Василенко Л. В., Никифоров А. Ф., Лобухина Т. В. Методы очистки промышленных сточных вод: Учебное пособие. – 2009. – С. 174.

[12] Драбкова Т. В., Абдудалипова Н. М., Рахматуллаев Ф. Н., Абдуллаева Д. К., Сайдикрамова У. Х. Оценка эффективности работы очистных сооружений водоснабжения и перспективы улучшения качества воды // Наука и инновации. – 2024. – Т. 3. – С. 31–35. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13926371>

REFERENCES

[1] Law of the Republic of Uzbekistan «On Water and Water Use» dated 06.05.1993 No. 837-XII. <https://www.lex.uz/ru/docs/93202> (in Russ.).

[2] Drabkova T. V., Abdutalipova N. M., Shokhakimova A. A., Rakhmatullaeva N. T., Mukhamedova N. K. Analysis of the efficiency of wastewater treatment in the textile industry // In the World of Science and Education: Ecology. 2024. P.13-16. <https://doi.org/10.24412/3007-8946-2024-20-13-16> (in Russ.).

[3] Drabkova T. V., Abdutalipova N. M., Turabjanov S. M., Rakhimova L. S. Analytical control of the composition of iron ions in the waters of rivers and canals as sources of wastewater discharges from enterprises // Science, education, production to counteract man-made threats and solve environmental problems. Technosphere safety - 2023: Proceedings of the XX International scientific and practical conference. Ufa, 2023. P. 234-238 (in Russ.).

[4] Turabdzhanov S. M., Ponomareva T. V., Kayumova I. K., Rakhimova L. S. Study of the chemical composition of surface waters // Problems of ecology and environmental safety. Creation of new polymeric materials: Proceedings of the VII International correspondence scientific and practical conference dedicated to the World Environment Day. Minsk, 2020. P. 68-69 (in Russ.).

[5] Turabdzhanov S. M., Kedelbaev B. Sh., Kushnazarov P. I., Badritdinova F. M., Ponomareva T. V., Rakhimova L. S. New approach to the synthesis of polycondensation ion-exchange polymers for wastewater treatment // Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series: Geology and Technical Sciences. 2019. Vol. 2, No. 434. P. 206-216. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.56> (in Russ.).

[6] Turabdzhanov S. M., Ponomareva T. V., Yusupova D. A., Nazirov Z. Sh., Rakhimova L. S. // Study of copper ion sorption from wastewater by phosphate cation exchanger // Chemical safety. 2018. Vol. 2, No. 2. P. 173-182. <https://doi.org/10.25514/CHS.2018.2.14115> (in Russ.).

[7] Turabdzhanov S. M., Ponomareva T. V., Nazirov Z. Sh., Turaeva D. Sh., Rakhimova L. S. Study of sorption of heavy metal ions by the obtained cation exchanger // Innovative materials and technologies - 2020: Proceedings of the international scientific and technical conference of young scientists. Minsk, 2020. P. 536-538 (in Russ.).

[8] Nazirov Z. Sh., Ponomareva T. V., Ametova D. R., Rakhimova L. S. Promising use of sulfocation exchanger (SCEF) in the process of water treatment // Problems of ecology and environmental safety. Creation of new polymeric materials: Proceedings of the VII International correspondence scientific and practical conference dedicated to the World Environment Day. Minsk, 2020. P.123-124 (in Russ.).

[9] Rakhimova L. S., Turabdzhanov S. M., Ponomareva T. V. Desalination of artesian waters with sulfocationite based on diphenyl oxide and furfural // Actual scientific and scientific-technical problems of ensuring chemical safety ASTICS-2018: Proceedings of the IV International Conference. Moscow, 2018. P. 103 (in Russ.).

[10] Chemical industry enterprise of the Republic of Uzbekistan JSC "Maxam-Chirchiq" [Electronic resource]. – URL: <https://maxam-chirchiq.uz/> (in Russ.).

[11] Vasilenko L.V., Nikiforov A.F., Lobukhina T.V. Methods of industrial wastewater treatment. Tutorial. 2009. P. 174 (in Russ.).

[12] Drabkova T. V., Abdutalipova N. M., Rakhmatullaev F. N., Abdullaeva D. K., Saidikramova U. Kh. Evaluation of the efficiency of water supply treatment facilities and prospects for improving water quality // Science and Innovation. 2024. Vol. 3. P. 31-35. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13926371> (in Russ.).

Т. В. Драбкова^{*1}, Н. М. Абдуталипова², Ф. Н. Рахматуллаев³, У. Н. Рахматов⁴

^{1*} Экология және қоршаған ортаны қорғау кафедрасының ассистенті

(Ташкент мемлекеттік техникалық университеті, Ташкент, Өзбекстан; tatyana111183@mail.ru)

² Техника ғылымдарының докторы, экология және қоршаған ортаны қорғау кафедрасының доценті
(Ташкент мемлекеттік техникалық университеті, Ташкент, Өзбекстан; nelly_dolls@mail.ru)

³ Техника ғылымдарының кандидаты, доцент, экология және қоршаған ортаны қорғау кафедрасының меңгерушісі (Ташкент мемлекеттік техникалық университеті, Ташкент, Өзбекстан; f.rakhmatullaev7@mail.ru)

⁴ Геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, экология және қоршаған ортаны қорғау кафедрасының доценті (Ташкент мемлекеттік техникалық университеті, Ташкент, Өзбекстан; rakhmatov_1007@mail.ru)

ЎЗБЕКСТАННИҢ СУ РЕСУРСТАРЫНЫҢ МОНИТОРИНГІ ЖӘНЕ АҒЫНДЫ СУЛАРДЫ ТАЗАЛАУ ҮШІН ИОН АЛМАСТЫРҒЫШ ҚОНДЫРҒЫЛАРДЫ ПАЙДАЛАНУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

Аннотация. Бұл зерттеуде өнеркәсіптік ағынды суларды төгу көздері ретінде қарастырылған Өзбекстан су ресурстарына мониторинг жүргізілді. Нәтижелер бірқатар зиянды заттардың концентрациясы – аммоний азоты (NH_4^+), нитрит азоты (NO_2^-), фосфаттар (PO_4^{3-}), темір (Fe) және судың кермектігі өзендер мен арналардағы рұқсат етілген нормалардан асып түсетінін көрсетті, бұл айтарлықтай экологиялық проблемаларды көрсетеді. Оларды шешу үшін авторлар су объектілеріне түсетін ағынды сулардың ластануын азайтудың тиімді әдісі ретінде өнеркәсіптік кәсіпорындарда иондық тазарту жүйесін енгізуді ұсынады. Құрамы әртүрлі ағынды суларды тазартуға арналған тәжірибелік қондырғының жұмысы қарастырылады. Алынған нәтижелер ағынды суларды тазарту үшін осы технологияның орындылығы мен тиімділігін растайды және қоршаған ортаға әсерді азайту және халықтың денсаулығын қорғау үшін заманауи шешімдерді енгізудің маңыздылығын атап көрсетеді.

Түйінді сөздер: мониторинг, ластаушы заттар, ағынды сулар, ион алмасу қондырғысы, сорбция.

T. V. Drabkova^{*1}, N. M. Abdutalipova², F. N. Rakhmatullaev³, U. N. Rakhmatov⁴

^{1*} Assistant of the Department of Ecology and Environmental Protection

(Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan; tatyana111183@mail.ru)

² Doctor of technical sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Protection
(Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan; nelly_dolls@mail.ru)

³ Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Ecology and Environmental Protection (Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan; f.rakhmatullaev7@mail.ru)

⁴ Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Protection (Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan; rakhmatov_1007@mail.ru)

MONITORING OF WATER RESOURCES IN UZBEKISTAN AND PROSPECTS FOR THE USE OF ION-EXCHANGE PLANTS FOR WASTEWATER TREATMENT

Abstract. This study focuses on monitoring water resources in Uzbekistan, particularly those affected by industrial wastewater discharges. The results show that the concentrations of several harmful substances (ammonium nitrogen (NH_4^+), nitrite nitrogen (NO_2^-), phosphates (PO_4^{3-}), iron (Fe), and water hardness) in rivers and canals exceed permissible standards, indicating serious environmental concerns. To address these issues, the authors propose the use of ion-exchange treatment systems at industrial facilities as an effective method for reducing the pollution of wastewater discharged into natural water bodies. The performance of an experimental unit designed for the treatment of wastewater with varying compositions is examined. The results confirm the feasibility and efficiency of this technology, highlighting the importance of implementing modern treatment solutions to mitigate environmental impacts and protect public health.

Keywords: monitoring, pollutants, wastewater, ion exchange system, sorption.