

Научная статья

УДК 628.16.081

<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2025-1/121-129>

Очистка промывных сточных вод фильтров водоочистных станций с применением комбинированных коагулянтов

Евгений Леонидович Войтов¹, Татьяна Яковлевна Пазенко²,
Михаил Николаевич Шевцов³, Денис Владимирович Мишкин³

¹ Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин),

Новосибирск, Российская Федерация;

НИИСФ РААСН, Москва, Российская Федерация

² Сибирский федеральный университет, Красноярск, Российская Федерация

³ Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация

✉ voitovel@ya.ru

Аннотация. В статье рассматривается обработка сточных промывных вод сооружений подготовки питьевой воды из открытых источников водоснабжения на водоочистных станциях в городах Красноярске и Новосибирске. Приведены результаты экспериментальных исследований эффективности технологии очистки промывных вод отстаиванием и фильтрованием на реакторах-осветлителях с применением ряда известных современных реагентов, вариацией их исходных концентраций в различных пропорциях и поиск наиболее эффективных соотношений, для повышения эффективности очистки вод с использованием эффекта синергизма.

Ключевые слова: водоподготовка, фильтр, сточные воды, коагулянт, композиция коагулянтов, эксперимент, эффективность очистки

Для цитирования: Войтов Е.Л., Пазенко Т.А., Шевцов М.Н., Мишкин Д.В. Очистка промывных сточных вод фильтров водоочистных станций с применением комбинированных коагулянтов // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2025. № 1(62). С. 121–129.

Original article

Purification of backwash water from water treatment plant filters using combined coagulants

Evgeny L. Voitov¹, Tatyana Y. Pazenko², Mikhail N. Shevtsov³, Denis V. Mishkin⁴

¹ Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin),

Novosibirsk, Russian Federation;

NIISF RAASN, Moscow, Russian Federation

² Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

³ Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

✉ voitovel@ya.ru

Abstract. The article discusses the treatment of backwash water from drinking water treatment facilities from open water supply sources at water treatment plants in the cities of Krasnoyarsk and Novosibirsk. The article presents the results of experimental studies of the efficiency of the technology for cleaning wash water by settling and filtering in clarifier reactors using a number of well-known modern reagents, varying their initial concentrations in various proportions and searching for the most effective ratios to improve the efficiency of water purification using the synergism effect.

Keywords: water treatment, filter, wastewater, coagulant, coagulant composition, experiment, purification efficiency

For citation: Voitov E.L., Pazenko T.A., Shevtsov M.N., Mishkin D.V. Purification of backwash water from water treatment plant filters using combined coagulants. *FEFU: School of Engineering Bulletin*, 2025, no. 1(62), pp. 121–129. (In Russ.).

Введение

В НГАСУ (Сибстрин) предложена технологическая схема обработки и утилизации отработанных промывных вод фильтров станций очистки природных вод [1]. Согласно требованиям СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения», п. 6.117, вода, которая используется для промывки фильтрующих загрузок, должна иметь питьевое качество, поэтому подготовка использованных промывных фильтров с целью повторного использования является актуальной и своевременной [2–4].

Для очистки промывных вод фильтров применяется реагентная коагуляция.

Промывные воды фильтров содержат взвешенные вещества, среднedisперсную взвесь частиц фильтрующей загрузки и продукты гидролиза коагулянта в виде мелкодисперсной взвеси.

Установлено, определение оптимальных соотношений коагулянтов, последовательностей их ввода и смешения с очищаемой водой выявляет преимущества каждого реагента при сохранении эффективности осветления и снижения недостатков каждого коагулянта [5–7]. Каждый из электролитов-коагулянтов действует в коллоидной системе по-своему. При коагуляции дисперсионных сред электролитическими смесями они практически всегда действуют совместно, проявляя свойство аддитивности. Часто наблюдается их противодействие (антагонизм) друг другу или увеличение коагуляционного действия (синергизм) каждого из реагента в их смеси. Синергизм происходит в результате химической реакции двух или нескольких реагентов с образованием многозарядного иона, обеспечивающего более высокий коагулирующий эффект [8].

Цель работы

Цель работы – исследование эффективности технологии очистки промывных вод с применением ряда известных современных реагентов, вариацией их исходных концентраций в различных пропорциях и поиск наиболее эффективных соотношений, для повышения эффекта очистки вод с использованием эффекта синергизма.

Материалы и методы

Первоначальные экспериментальные исследования проведены на водоочистой станции г. Куйбышева Новосибирской области [9]. Оценка качества очищаемых промывных вод производилась с использованием современных ГОСТ²³. Технология очистки, утилизации промывной воды и осадка заключалась в следующем. Промывная сточная вода (СВ) от фильтровальных сооружений сбрасывалась в отстойник грязной промывной воды. В результате экспериментов была определена оптимальная доза реагентов для обеспечения минимальной мутности и окисляемости очищенной воды от обратной промывки при их отдельном или комбинированном применении.

После обработки промывочной воды смесью коагулянтов сульфата алюминия (СА) и полиоксихлорида алюминия (ПОХА) из-за синергетического эффекта при их совместном ис-

²³ ГОСТ 31868-2012. Методы определения цветности (ISO 7887:2011, NEQ) / Межгосударственный стандарт. М.: Стандартинформ, 2014. 8 с.; ГОСТ Р 57164-2016. Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности (ISO 8586:2012, NEQ), (ISO 3972:2011, NEQ), (ISO 7027:1999, NEQ). М.: Стандартинформ, 2016. 18 с.; ГОСТ 4011-72. Вода питьевая. Методы определения массовой концентрации общего железа. М.: Стандартинформ, 2016. 7 с.; ГОСТ 18165-2014. Вода питьевая. Методы определения содержания алюминия (ISO 10566:1994, NEQ), (ISO 12020:1997, NEQ), (ISO 11885:2007, NEQ). М.: Стандартинформ, 2019. 24 с.

пользовании и применении флокулянтов было получено лучшее качество осветлённой воды по мутности, цветности, содержанию железа и марганца.

При этом образовались плотные хлопья гидроксида алюминия, повысился эффект очистки и на 30 % сократился объём осадка по сравнению с его объёмом, получаемым при использовании в качестве коагулянта только ПОХА. После двухчасового осветления промывной воды в непроточном отстойнике промывная вода была доочищена фильтрованием на реакторе-осветлителе, что обеспечило её питьевое качество по мутности, цветности, содержанию железа, марганца и возможность использования для повторной промывки реактора-осветлителя и фильтра. По результатам лабораторных испытаний экспериментальной установки для очистки промывной воды был принят комплексный коагулянт СК-1, представляющий собой смесь сульфата алюминия (СА), полиоксихлорида алюминия (ПОХА) с соотношением доз 2:1 и флокулянта Праестол 650 ТР. Производитель коагулянтов сульфата алюминия и полиоксихлорида алюминия – г. Ачинск (Россия), флокулянта Праестол 650 ТР – г. Пермь (Россия). Осадок подвергался обезвоживанию и использовался в экспериментальном обезвоживании осадка канализационных очистных сооружений [9].

Исследования продолжены в лабораторных и полупроизводственных условиях станций водоподготовки «Гремячий лог» г. Красноярск и НФС-1 г. Новосибирск.

В работе были использованы следующие реагенты:

- сульфат алюминия (СА) с активной частью по Al_2O_3 18 %;
- полиалюминия хлорид железа (ПАХЖ) с активной частью по Al_2O_3 не менее 28 % и $Fe_2O_3 \geq 2,5$ %;
- полиоксихлорид алюминия Аква-Аураттм30 (ПОХА) с активной частью по Al_2O_3 30 %;
- Скиф-180 с активной частью по Al_2O_3 не менее 18 %.

Стоимость этих широко распространённых реагентов находится в приблизительно одинаковом ценовом диапазоне [8], поэтому задачей исследования являлся выбор их оптимальной комбинации и доз для получения максимального эффекта очистки стоков и минимального объёма образующегося осадка для снижения стоимости его обезвоживания с последующей утилизацией.

На водоочистой станции «Гремячий лог» пробы сбросной промывной воды объёмом 1000 мл обрабатывались коагулянтами в соотношениях 0,5:0,5; 0,75:0,25; 0,25:0,75 от дозы коагулянта 5 мг/дм³.

Смесь коагулянтов вводили в обрабатываемую сточную воду одновременно, затем после перемешивания на флокуляторе марки ПЭ-0244 (Россия) вводили флокулянт Праестол в дозе 1 мг/дм³ (рис. 1).



Рис. 1. Шестиместный флокулятор ПЭ-0244 для проведения пробного коагулирования при очистке природных и сточных вод

Fig. 1. Six-seat flocculator PE-0244 for conducting trial coagulation during purification of natural and waste water

Обработанную таким образом сточную воду отстаивали в течение 2 часов и фильтровали. Для обрабатываемых промывных вод фильтров определялись следующие показатели: мутность, цветность, величина pH и объём осадка.

Результаты (г. Красноярск)

Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1 / Table 1

Влияние соотношения доз коагулянтов на эффект очистки отработанной промывной воды

Effect of the ratio of coagulant doses on the effect of cleaning waste wash water

Соотношение исследуемых коагулянтов	Мутность, мг/дм ³	Эффект очистки %	Цветность, градус	pH	Объём осадка, %
Исходная концентрация загрязнений в сточной воде, $C_{исх.}$	64,36	-	10,98	7,1	—
СА и ПОХА 0,5:0,5	0,96	98,5	15,97	7,0	3,1
0,25:0,75	0,85	98,7	15,57	7,1	2,5
0,75:0,25	1,23	98,1	16,67	7,0	2,2
ПОХА и ПАХЖ 0,5:0,5	0,44	97,1	9,98	7,7	2,4
0,25:0,75	0,25	99,6	9,78	7,5	2,0
0,75:0,25	0,22	99,7	7,39	7,4	3,0
ПАХЖ и СА 0,5:0,5	0,50	99,2	8,98	7,0	3,0
0,25:0,75	0,36	99,5	8,48	7,1	2,2
0,75:0,25	0,44	99,3	10,78	7,3	2,0
ПОХА и Скиф-180 0,5:0,5	0,55	99,2	4,39	7,3	1,2
0,25:0,75	0,27	99,6	4,29	7,2	2,1
0,75:0,25	0,93	98,6	13,27	7,2	2,1
ПАХЖ и Скиф-180 0,5:0,5	0,11	99,8	4,19	7,4	3,0
0,25:0,75	1,23	98,1	16,87	7,4	1,8
0,75:0,25	2,46	96,2	32,04	7,4	2,0

Как видно из таблицы 1, величина pH сточной воды при смеси коагулянтов СА и ПОХА практически не меняется по сравнению с исходной. Мутность воды снижалась во всех пробах, но наилучший эффект очистки наблюдался при применении смеси коагулянтов в соотношении 0,25:0,75. Цветность воды увеличилась по отношению к исходной. Минимальный объём осадка – при соотношении коагулянтов 0,75:0,25.

При использовании смеси коагулянтов ПОХА и Скиф-180 максимальный эффект очистки по мутности и цветности получен при соотношении 0,25:0,75, pH меняется незначительно во всех пробах, наименьший объём осадка образуется при соотношении реагентов 0,5:0,5.

Из данных таблицы 1 получены зависимости эффекта очистки и объёма осадка при использовании смеси коагулянтов в различных соотношениях.

Как видно из рисунков 1 и 2, наибольший эффект очистки достигается при использовании смеси коагулянтов ПАХЖ и СКИФ-180 в соотношении 0,5:0,5.

Минимальный объём осадка образуется при применении коагулянтов ПОХА и Скиф-180 также в соотношении 0,5:0,5.

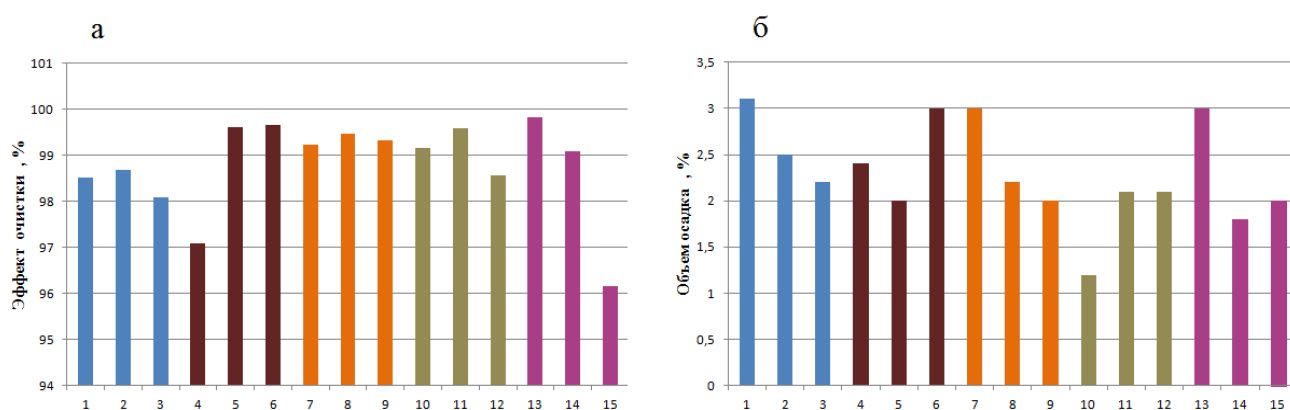


Рис. 2. Зависимости эффекта очистки (а) и объёма осадка (б) от применения различных коагулянтов в разных соотношениях (1,2,3 – СА и ПОХА в соотношении 0,5:0,5; 0,25:0,75; 0,75:0,25 соответственно; 4,5,6 – ПАХЖ и ПОХА; 7,8,9 – СА и ПАХЖ; 10,11,12 – ПОХА и СКИФ-180; 13,14,15 – ПАХЖ и СКИФ-180 в тех же соотношениях)

Fig. 2. Dependences of the cleaning effect (a) and the volume of sediment (б) on the use of various coagulants in different ratios (1,2,3 – SA and POH in the ratio of 0.5:0.5; 0.25:0.75; 0.75:0.25, respectively; 4,5,6 – PANZ and POH; 7,8,9 – SA and PANZ; 10,11,12 – POH and SKIF-180; 13,14,15 – PANZ and SKIF-180 in the same ratios)

Существует несколько направлений утилизации водопроводного осадка [10–14], кроме того, актуально повторное использование осадка [15].

Конкретные предложения по использованию осадков могут быть рекомендованы в результате дальнейших исследований их состава и технологических свойств.

Результаты (г. Новосибирск)

Исследования эффекта синергизма были продолжены в двухступенчатой очистке отработанных промывных вод на экспериментальной установке насосно-фильтровальной станции № 1 г. Новосибирска (рис. 3).



Рис. 3. Установка по исследованию очистки промывных вод фильтров на НФС-1, г. Новосибирск (слева – модель напорного реактора-осветлителя (Р/О), справа – отстойник отработанной промывной воды фильтров)

Fig. 3. Installation for studying the purification of filter wash water at NFS-I, Novosibirsk (on the left – a model of a pressure reactor-clarifier (P/O), on the right – a settling tank for spent filter wash water)

В отстойник сбрасывалась отработанная промывная вода с производственных фильтров и производилась её реагентная очистка. Температура воды составляла 4 °С; мутность – 65 мг/л; цветность – 23 град.; щёлочность – 5,8 ммоль/л; окисляемость – 11 мг О₂/л; концентрация железа – 1,76 мг/л.

После двухчасового отстаивания промывной воды измерялся объём выделившегося осадка, а осветлённая промывная вода доочищалась в реакторе-осветлителе.

На основании пробного коагулирования качества реагентов были выбраны коагулянты: сульфат алюминия и полиоксихлорид алюминия с соотношением 0,75:0,25 от дозы 12 мг/л, обеспечивающем высокое качество очистки при наименьшем объёме образующегося осадка. Кроме того, в каждый цилиндр обрабатываемой воды вводился флокулянт Праестол 650 ТР с дозой 0,1 мг/дм³ (рис. 1).

Результаты исследования коагулирования и осветления отработанной промывной воды фильтров приведены в таблице 2.

Таблица 2 / Table 2

Результаты экспериментальных исследований очистки промывной воды
Results of experimental studies of cleaning of wash water

Измеряемые параметры	Способ очистки промывной воды, реагенты, вводимые в испытываемую воду		
	Отстаивание, СА/ПОХА + Праестол	Отстаивание, (СА+ПОХА)+ Праестол	Отстаивание и осветление на РО, СА+ПОХА + Праестол
Качество исходной промывной воды:			
Мутность, мг/л	65	65	65
Цветность, град.	23	23	23
Перманганатная окисляемость, мг О ₂ /л	11	11	11
Общее содержание железа, мг/л	1,76	1,76	1,76
Дозы реагентов, мг/л	16/14 + 0,1	(9 + 3) + 0,1	(9 + 3) + 0,1
Качество очищенной промывной воды:			
Мутность, мг/л	7,1/5,2	4,3	1,4
Цветность, град.	24/19	17	8
Перманганатная окисляемость, мг О ₂ /л	2,3/1,8	1,2	0,6
Общее содержание железа, мг/л	1.09/0,42	0,33	0,16
Содержание алюминия, мг/л	0,09/0,05	0,04	0,03
Объём осадка в отстойнике, % от объёма промывной воды	8 /14	9	9

При отдельном использовании в качестве коагулянта только сульфата алюминия или полиоксихлорида алюминия (2-я колонка таблицы 2) ПОХА обеспечивал более высокий эффект очистки, но при большем объёме образующегося осадка. При совместном введении СА и ПОХА с применением флокулянта за счёт синергетического эффекта снижалась доза комбинированного коагулянта, а объём осадка снижался по сравнению с использованием только ПОХА.

При этом образовались плотные хлопья гидроксида алюминия и на 35 % сократился объём осадка по сравнению с его объёмом, получаемым при использовании только ПОХА (колонки 2 и 3).

Промывная вода была доочищена на реакторе-осветлителе, что обеспечило её питьевое качество по мутности, цветности, окисляемости, содержанию железа и возможность использования для повторной промывки реактора-осветлителя и фильтра (колонка 4).

Выводы

1. Реагентная двухступенчатая технология очистки промывных вод станций осветления природных вод из поверхностных источников отстаиванием и фильтрованием на реакторах-осветлителях обеспечивает их нормативное качество, позволяет повторно использовать воды для промывки фильтрующих установок, уменьшить объём осадка и, соответственно, затраты на его обезвоживание и утилизацию.

2. Полученные экспериментальные данные подтверждают наличие синергетического эффекта взаимодействующих реагентов, выражающегося в аддитивном повышении значений основных показателей при очистке промывных сточных вод. Это можно объяснить понижением порога коагуляции из-за химического взаимодействия за счёт реакции компонентов смеси между собой и образования более эффективного реагента.

3. Полученные результаты исследований в дальнейшем обеспечивают возможность рекомендовать разработку составов смеси коагулянтов в определённых составах и концентрациях для повышения эффективности очистки отработанных промывных вод с использованием эффекта синергизма.

ВКЛАД АВТОРОВ | CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Е.Л. Войтов, М.Н. Шевцов внесли существенный вклад в написание статьи. Собрали и проанализировали информацию, интерпретировали результаты эксперимента; Т.Я. Пазенко – написание текста статьи, составление графиков, таблиц, работа с фотоматериалами; Д.В. Мишкин – составление литературного обзора, окончательное утверждение версии для публикации.

E.L. Voitov, M.N. Shevtsov made a significant contribution to the writing of the article. We collected and analyzed the information, interpreted the results of the experiment; T.Ya. Pazenko – writing the text of the article, drawing up graphs, tables, working with photographic materials; D.V. Mishkin – compiling a literary review, final approval of the version for publication.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ | DISCLOSURE

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Патент № 2372297, Российская Федерация, МПК C02F 1/52, C02F 103/04. Способ осветления и утилизации промывных вод фильтровальных сооружений станций водоподготовки № 2008116901/15; заявл. 28.04.2008; опубл. 10.11.2009 / Ю.Л. Сколубович, Е.Л. Войтов, А.Ю. Сколубович. EDN: HXJTRE.
2. Кузин Е.Н. Титансодержащие коагулянты в процессах очистки хозяйственно-бытовых сточных вод // Вода и экология: проблемы и решения. 2020. № 4(84). С. 16–23.
3. Кузин Е.Н. и др. Комплексные коагулянты в процессах очистки сточных вод молочной промышленности // Химия в интересах устойчивого развития. 2020. Т. 28. № 4. С. 401–406.
4. Коновалова В.К. Коагуляционная очистка воды. Влияние температуры на очистку воды, на процесс коагуляции // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XXX Международной научно-практической конференции. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2023. С. 11–13.
5. Акимов А.М., Котельникова С.А., Слизченко Е.В. Исследование электрохимического метода коагуляции природной воды // Энергетические установки и технологии. 2021. Т. 7. № 2. С. 144–147.
6. Georgios M. Kontogeorgis, Soren Kiil. Introduction to applied colloid and surface chemistry. Chichester: “John Wiley & Sons”, 2016, 400 p.
7. Гришин Б.М., Бикунова М.В., Сафронов М.А., Титов Е.А. Реагентная обработка поверхностных природных вод алюмосодержащими коагулянтами: монография / Б.М. Гришин [и др.]. Пенза: ПГУАС, 2016. 140 с.
8. Терехов Л.Д., Воловник Г.И., Терехова Е.Л. Методы очистки воды. М.: Инфра-Инженерия, 2023. 321 с.
9. Войтов Е.Л., Сколубович Ю.Л. Пазенко Т.Я., Мартынюк Ю.А. Очистка и повторное использование промывных вод водоочистных станций // Труды НГАСУ. 2018. Т. 20, № 3. С. 84–91.

10. Патент № 2246452, Российская Федерация, МПК C 02F 11/12. Способ совместного обезвоживания осадков станций очистки природных и сточных вод № 2003124265; заявл. 01.08.2003; опубл. 20.02.2005 / Ю.Л. Сколубович, Е.Л., Войтов, Л.Н. Савельева. EDN: HXJTRE
11. Nayeri D., Mousavi S.A. A comprehensive review on the coagulant recovery and reuse from drinking water treatment sludge // *Journal of environmental management*. 2022. Vol. 319. P. 115649.
12. Wang Z. et al. Post-treatment options for anaerobically digested sludge: Current status and future prospect // *Water Research*. 2021. Vol. 205. P. 117665.
13. Chang H. et al. Climate change impacts of conventional sewage sludge treatment and disposal // *Water Research*. 2023. Vol. 240. P. 120109.
14. Медведева И.В. и др. Новые композитные материалы и процессы для химических, физико-химических и биохимических технологий водоочистки // *Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология*. 2023. Т. 66. № 1. С. 6–27.
15. Nguyen M.D. et al. Beneficial reuse of water treatment sludge in the context of circular economy // *Environmental Technology & Innovation*. 2022. Vol. 28. P. 102651.

REFERENCES

1. Patent No. 2372297, Russian Federation, IPC C02F 1/52, C02F 103/04. Method of clarification and disposal of flushing waters of filtration facilities of water treatment plants No. 2008116901/15; application No. 28.04.2008; published on 11/10/2009 / Yu.L. Skolubovich, E.L., Voitov, A.Yu. Skolubovich. (In Russ.).
2. Kuzin E.N. Titanium-containing coagulants in domestic wastewater treatment processes. *Water and Ecology: Problems and Solutions*, 2020, no. 4(84), pp. 16–23. (In Russ.).
3. Kuzin E.N. et al. Complex coagulants in the wastewater treatment processes of the dairy industry. *Chemistry in the Interests of Sustainable Development*, 2020, vol. 28, no. 4, pp. 401–406. (In Russ.).
4. Konovalova V.K. Coagulation water purification. The effect of temperature on water purification, on the coagulation process. *Modern Science: Current Issues, Achievements and Innovations*: collection of articles from the XXX International scientific and practical conference. Penza: MCNS “Science and Education”, 2023, pp. 11–13. (In Russ.).
5. Akimov A.M., Kotelnikova S.A., Slizchenko E.V. Investigation of the electrochemical method of coagulation of natural water. *Energy Installations and Technologies*, 2021, vol. 7, no. 2, pp. 144–147. (In Russ.).
6. Georgios M. Kontogeorgis, Soren Kiil. Introduction to applied colloid and surface chemistry. Chichester: “John Wiley & Sons”, 2016, 400 p.
7. Grishin B.M., Bikunova M.V., Safronov M.A., Titov E.A. Reagent treatment of surface natural waters with aluminum-containing coagulants. Penza: PGUAS, 2016. 140 p. (In Russ.).
8. Terekhov L.D., Volovnik G.I., Terekhova E.L. Methods of water purification. Moscow: Infra-Engineering, 2023. 321 p. (In Russ.).
9. Voytov E.L., Skolubovich Yu.L., Pazenko T.Ya., Martynyuk Yu.A. Purification and reuse of flushing waters of water treatment plants. *Proceedings of NGASU*, 2018, vol. 20, no. 3, pp. 84–91. (In Russ.).
10. Patent No. 2246452, Russian Federation, IPC C 02F 11/12. Method of joint dewatering of precipitation from natural and wastewater treatment plants No. 2003124265; application 08/01/2003; published 02/20/2005 / Yu.L. Skolubovich, E.L. Voitov, L.N. Savelyeva. (In Russ.).
11. Nayeri D., Mousavi S.A. A comprehensive review on the coagulant recovery and reuse from drinking water treatment sludge. *Journal of Environmental Management*, 2022, vol. 319, p. 115649.
12. Wang Z. et al. Post-treatment options for anaerobically digested sludge: Current status and future prospect. *Water Research*, 2021, vol. 205, p. 117665.
13. Chang H. et al. Climate change impacts of conventional drainage sludge treatment and disposal. *Water Research*, 2023, vol. 240, p. 120109.
14. Medvedeva I.V. and others. New composite materials and processes for chemical, physico-chemical and biochemical water treatment technologies. *News of Higher Educational Institutions. Chemistry and Chemical Technology*, 2023, vol. 66, no. 1, pp. 6–27. (In Russ.).
15. Nguyen M.D. et al. Beneficial reuse of water treatment sludge in the context of circular economy. *Environmental Technology & Innovation*. 2022, vol. 28, p. 102651.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Войтов Евгений Леонидович – доктор технических наук, доцент, профессор, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин) (Новосибирск, Российская Федерация).

✉ voitovel@ya.ru

Evgeny L. Voytov, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin) (Novosibirsk, Russian Federation).

Пазенко Татьяна Яковлевна – кандидат технических наук, доцент, доцент, Сибирский федеральный университет (Красноярск, Российская Федерация).

✉ pazenkotat@yandex.ru

Tatyana Y. Pazenko, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Siberian Federal University (Krasnoyarsk, Russian Federation).

Шевцов Михаил Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Тихоокеанский государственный университет (Хабаровск, Российская Федерация).

✉ 000458@togudv.ru

Mikhail N. Shevtsov, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Institute of Civil Engineering, Head of the Department, Pacific National University (Khabarovsk, Russian Federation).

Мишкин Денис Владимирович – преподаватель, Тихоокеанский государственный университет (Хабаровск, Российская Федерация).

✉ 012438@togudv.ru

Denis V. Mishkin, Lecturer, Pacific National University (Khabarovsk, Russian Federation).

Статья поступила в редакцию / Received: 14.02.2025.

Доработана после рецензирования / Revised: 17.03.2025.

Принята к публикации / Accepted: 18.03.2025.