

Разработка технологии переработки водопроводного осадка методом сульфатизации

П.А. Ахмадов¹, Дж.Р. Рузиев¹, О.Х. Амирзода¹, Ш.К. Шарифзода²

¹Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ

²Таджикский технический университет имени академика М.С Осими

Аннотация: В статье приводится описание процесса отстаивания при водоподготовке, а также образования водопроводного осадка. Предлагается новый метод обработки водопроводного осадка с регенерацией коагулянта при высокой мутности исходной воды. На основе проведенных исследований выявлено, что, чем больше расход коагулянта полученным методом сульфатизации, тем лучше степень коагуляции. Разработана принципиальная технологическая схема переработки водопроводного осадка методом сульфатизации. Предложено, что полученный коагулянт из водопроводного осадка, возможно, использовать для повторного предварительного отстаивания.

Учитывая актуальность проблемы обеспечения населения чистой питьевой водой, рекомендуется, проводить опытно-промышленное испытание полученного коагулянта из водопроводного осадка методом сульфатизации.

Ключевые слова: Очистка воды, водопроводный осадок, бассейн суточного регулирования, отстаивание, мутность, метод сульфатизации.

Для большинства городского населения основным источником чистой питьевой воды являются поверхностные воды. Однако они подвержены различным загрязнениям как минерального, так и органического происхождения, а иногда даже содержат токсичные и радиоактивные вещества. В большинстве случаев такие воды характеризуются высокой мутностью, жесткостью и цветностью. В горных районах поверхностные водотоки также транспортируют значительное количество взвешенных и донных наносов [1].

В процессе подготовки и очистки поверхностных природных вод с применением различных реагентов, включая коагулянты, происходит осаждение значительного количества взвешенных частиц. Это приводит к образованию большого объема осадков на водопроводных очистных станциях. Высоковлажный осадок, имеющий различную дисперсность, состав и свойства, фактически является отходом таких станций [2, 3].

Объемы этих отходов весьма значительны, учитывая содержание наносов, высокую влажность до 99,9% и низкий уровень обезвоженности [4].

В городе Душанбе на самотечной станции водоподготовки (в бассейнах суточного регулирования) ежегодно образуется до 6 тысяч тонн осадка при суточной производительности станций 300 тысяч кубометров.

Важно отметить, что за последние 15 лет, начиная с 2008 года, после реконструкции бассейнов суточного регулирования самотечной станции водоподготовки, на дне второго и третьего открытых отстойников накопилось более 300 тысяч тонн осадка.

Водопроводный осадок по своему происхождению представляет меньшую опасность для здоровья человека и окружающей среды по сравнению со сточными водами. Кроме того, при отстаивании воды в бассейнах суточного регулирования города Душанбе, благодаря низкой цветности и мутности воды (в осенне-зимний период) и бетонному покрытию дна отстойников, показатель удельного сопротивления фильтрации остается низким, что способствует накоплению большого количества наносных отложений.

Водопроводный осадок удаляется с помощью гидравлической машины в виде шламовой пульпы и затем сбрасывается в канал, что приводит к последующему загрязнению другого водного объекта [5].

Следует отметить, что в действующих национальных нормативных документах водопроводный осадок не рассматриваются как опасные или токсичные отходы.

Важно подчеркнуть, что проблема образования и утилизации водопроводного осадка является особенно актуальной для города Душанбе, так как более 60% его населения обеспечивается питьевой водой из централизованных источников, в основном из реки Варзоб. В процессе водоподготовки эти осадки создают значительные сложности из-за своей гигроскопичности и высокой влажности, что приводит к увеличению объема

используемых коагулянтов. До сих пор на станциях водоподготовки города Душанбе водопроводные осадки не подвергаются обезвоживанию и утилизации.

В целом, проблема утилизации водопроводных осадков считается малоизученной и менее разработанной, так как она относится к наиболее технически сложным и дорогостоящим технологиям [6].

Для решения проблемы обработки и утилизации водопроводных осадков необходимо провести ряд мероприятий, направленных на сокращение объемов их образования (например, через частичную или полную замену гидролизующихся коагулянтов и флокулянтов), повторное использование необработанного осадка, а также разработку и внедрение более эффективных методов коагуляции, обезвоживания и утилизации осадков [7, 8].

В некоторых городах имеется небольшой практический опыт применения современных технологий обработки водопроводного осадка. Например, на очистных сооружениях городов России осадок после гравитационного уплотнения с медленным перемешиванием и добавлением флокулянта обезвоживается на ленточном фильтр-прессе зарубежного производства и направляется на утилизацию [9, 10].

Основной целью исследования заключается в разработке технологии получения коагулянтов методом сульфатизации водопроводного осадка на водоочистных станциях города Душанбе с целью их повторного использования, а также получение других полезных продуктов и материалов.

Описание процесса отстаивания и образования осадка. Источник сырой необработанной воды на самотечной станции водоподготовки в городе Душанбе — это река Варзоб. Фактический процесс очистки включает следующие этапы: предварительное отстаивание в отстойниках, коагуляция и флокуляция с применением сульфата алюминия, естественная седиментация и дезинфекция отстоявшейся воды с помощью гипохлорита натрия. После

этого очищенная вода направляется в скорые песчаные фильтры для снижения мутности до нормативного уровня.

Процесс очистки на водоочистной станции города Душанбе начинается с горизонтальных отстойников/бассейнов суточного регулирования (БСР), разделённых на три ступени. Производительность отстойников фактически составляет: $Q = 300\,000\text{ м}^3\text{ в день} = 12\,500\text{ м}^3\text{ в час} = 3,472\text{ м}^3\text{ в секунду}$. Предварительное отстаивание происходит в открытом бассейне, общий объем которого составляет $V = 133\,088\text{ м}^3$.

Соответствующее время предварительного отстаивания и процесса седиментации для различных действующих потоков представлено в табл.1.

Таблица №1

Время предварительного отстаивания и седиментации для различных
операционных потоков

Пункт	Величина расхода ($\text{м}^3/\text{день}$)	Время предварительного отстаивания (в час)	Время седиментации (в час)
1	$Q = 120,000\text{ м}^3/\text{день}$	26,6	45,6
2	$Q = 240,000\text{ м}^3/\text{день}$	13,3	22,8
3	$Q = 300,000\text{ м}^3/\text{день}$	10,7	18,25

Время, отведённое на предварительное отстаивание, соответствует стандартам для этой технологии. В качестве коагулянта для очистки неочищенной воды используется сульфат алюминия (Al_2SO_4), который доставляется в измельчённой твердой форме. Концентрированный раствор сульфата алюминия готовится путем добавления воды, а его концентрация устанавливается лабораторией станции.

Операционные параметры времени для седиментации считаются стандартными для данной технологии. Чистая вода транспортируется через 3 сифона в небольшой открытый резервуар и закрытие резервуары $2 \times 2000\text{ м}^3$, где она дезинфицируется и подается в скорые песчаные фильтры, а далее в распределительную сеть.

Следует отметить, что процесс отстаивания на бассейнах суточного регулирования считается важным этапом при водоподготовке.

Образующиеся водопроводный осадок удаляется из БСР с использованием гидравлической машины и обратным сбросом в реку в виде шламовой пульпы. Объем производительности гидравлической машины по пульпе составляет 600 м³/час, а по грунту 80 м³/час. Отбрасываемая шламовая пульпа через селевые сбросные каналы попадает в реку Душанбинка, тем самым загрязняет водный объект.

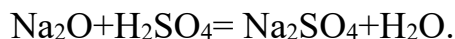
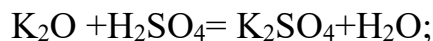
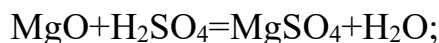
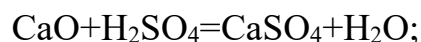
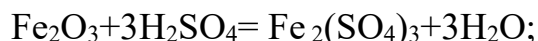
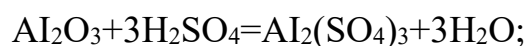
Методика проведения исследования. Испытания проводились в лаборатории Центра контроля производства питьевых вод при ГУП «Душанбеводоканал» по следующей методике: пробы были отобраны из водопроводного осадка БСР в разных точках в объёме 500 кг и высушены до постоянного веса. Химический состав водопроводного осадка БСР был определён на лабораторных установках Ташкентского химико-технологического института с помощью прибора высокопроизводительного энергодисперсионного рентгеновского флуоресцентного спектрометра (РФА). Результаты химического состава водопроводного осадка приводятся в табл.2.

Таблица №2

Химический состав водопроводного осадка БСР

Содержание компонентов % мас.	
Cl	0.0080
Br	0.0009
Na ₂ O	1.50
MgO	2.56
Al ₂ O ₃	19.9
SiO ₂	57.6
SO ₃	0.175
K ₂ O	3.33
CaO	5.81
TiO ₂	0.785
V ₂ O ₅	0.0288
Cr ₂ O ₃	0.0146
MnO	0.124
Fe ₂ O ₃	6.49
Co ₂ O ₃	0.0210
NiO	0.0080
CuO	0.0071
ZnO	0.0282
Ga ₂ O ₃	0.0032
As ₂ O ₃	0.0045
Rb ₂ O	0.0189
Y ₂ O ₃	0.0050
SrO	0.0180
ZrO ₂	0.179
Nb ₂ O ₅	0.0022
BaO	0.0315
HfO ₂	0.0024
Ta ₂ O ₅	0.0023
Ir ₂ O ₃	0.0009
Au ₂ O	0.0014
PbO	0.0074

При обработке водопроводного осадка с серной кислотой, протекает следующие реакции:



Расход кислоты для сернокислотного разложения определялся согласно стехиометрическим расчётам по протекаемым реакциям между кислотами и химическим составом водопроводного осадка. Процесс разложения проводился при комнатной температуре в течение 30 минут. Полученные пульпы отфильтровались с целью отделения растворимой части от твёрдого осадка. Растворимая часть, которая содержит сульфаты алюминия и железа, исследовалась на коагулирующие свойства. Результаты исследования приводятся в табл.3.

Таблица №3

Результаты испытания полученных коагулянтов сернокислотным разложением из водопроводного осадка БСР

Т=25-30 °С (при добавление кислоты нагревается до 50-60 °С); ρ=1,055 г/см ³		
Исходная мутность воды: - 330 мг/л		
Расход коагулянта мг/л	Остаточная мутность воды, (мг/л)	α- степень коагуляции, (%)
2	78,0	76,36
3	52,0	84,25
4	41,30	87,45
5	33	90,0

Как видно из таблицы 3 при добавлении коагулянта от 2 мг/л до 5мг/л степень коагуляции изменяется от 76,36 до 90,0 %. Проведённые исследования показывают, что полученный коагулянт из водопроводного осадка возможно использовать для повторного предварительного

отстаивания. На основе полученных данных описываем кривую роста эффективности степени коагуляции и снижения мутности воды (рис.1).

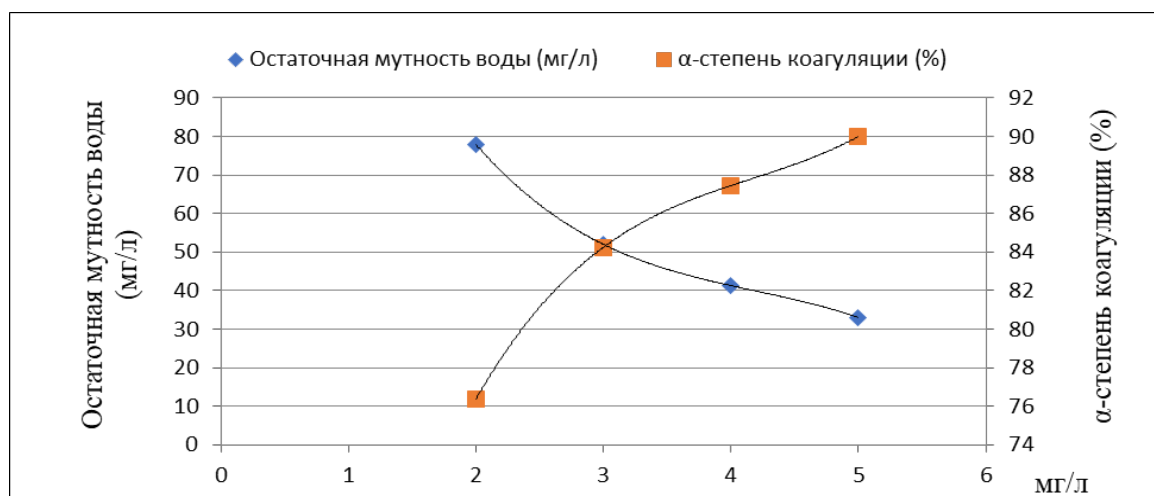


Рис. 1. – Кривая эффективности степени коагуляции и снижения мутности воды

Проведенные исследования показывают что, чем больше расход коагулянта полученным методом сульфатизации, тем лучше степень коагуляции. Также подобные исследования проводили при более высокой мутности. Результаты проведенных лабораторных испытаний доказывают, что при отстаивании воды с мутностью – 420 мг/л расход сульфатированного коагулянта составляет в объеме 10мг/л, и степень коагуляции достигает до 99,4% (табл. 4).

Таблица №4

Результаты испытания сульфатированного коагулянта, полученного из водопроводного осадка

Исходная мутность воды: - 420 мг/л (с использованием сульфатированного коагулянта, полученного из водопроводного осадка)		
Расход коагулянта, мг/л	Остаточная мутность воды, (мг/л)	α- степень коагуляции, (%)
8,0	9,8	97,66
9,0	8,3	98,02
10,0	2,3	99,4

На основе проведенных исследований разработана следующая принципиальная технологическая схема переработки водопроводного осадка методом сульфатизации (рис.2).

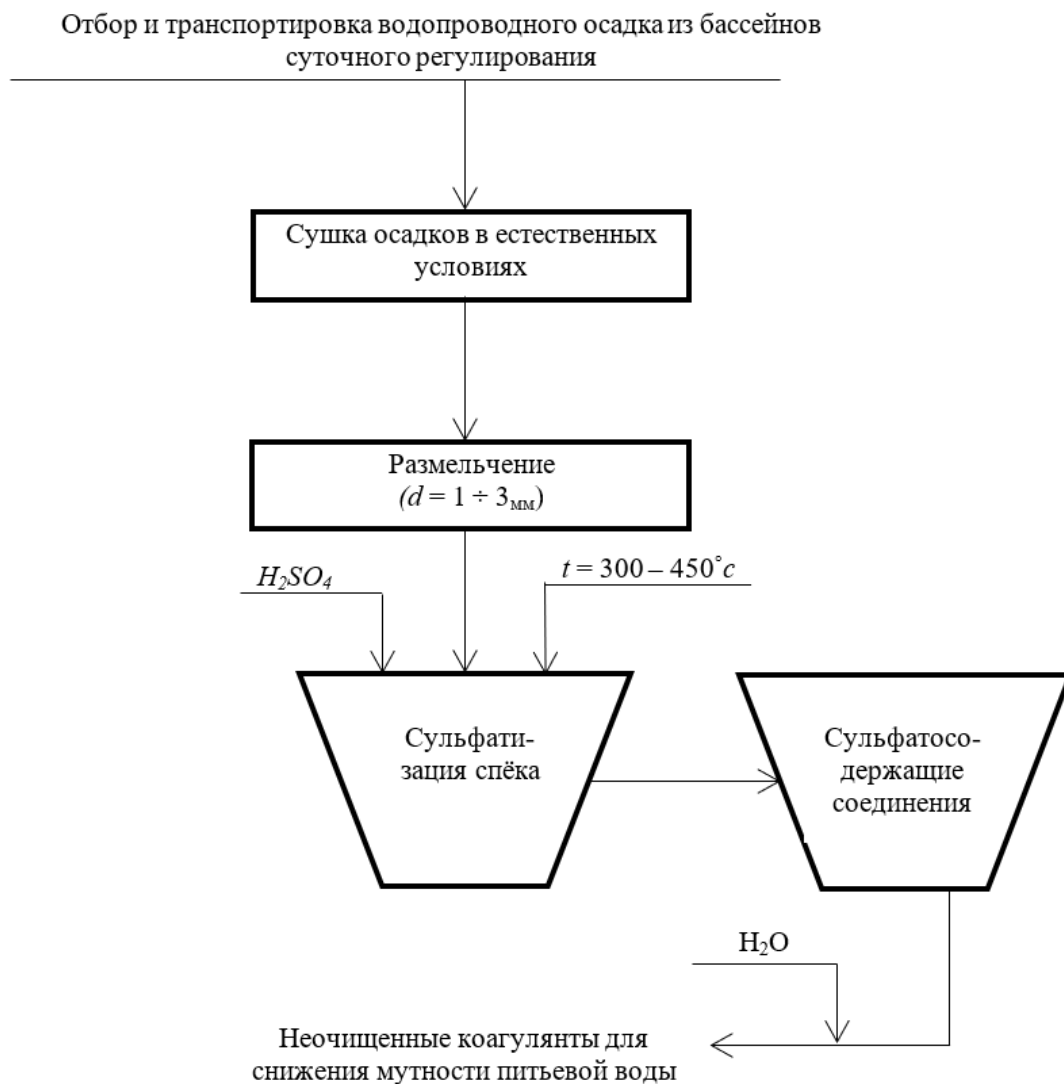


Рис. 2. – Принципиальная технологическая схема переработки водопроводного осадка

Основными недостатками данного способа являются: - высокая влажность осадка, и неудобства при их вывозе и транспортировке, использование большой площади земель для сушки осадка, влияние погодных условий для естественной сушки, негативное влияние на окружающую среду при сульфатизации.

Выводы

1. Результаты проведённых лабораторных исследований представляются положительными, и учитывая актуальность проблемы обеспечения населения чистой питьевой водой, рекомендуется для проведения опытно-промышленного испытания полученного коагулянта из водопроводного осадка.

2. Другим направлением утилизации водопроводного осадка является использование его в качестве добавок к сырью стройматериалов, особенно для получения керамического сырья, огнеупорные материалы, компонентов строительных материалов, в том числе цемента, бетонов и защитных покрытий.

3. Рекомендуется, что для проведения анализов полученного сульфатированного коагулянта по стандарту качества питьевой воды необходимо получить заключение следующих компетентных государственных органов: - Государственная санитарно-эпидемиологическая служба; - Агентства по стандартизации, метрологии, сертификации и контроля торговли при Правительстве Республики Таджикистан; - Научная медицинская экспертиза (с использованием мышей).

4. Кроме того, для определения радиоизотопов в составе сульфатированного коагулянта необходимо получить заключение в лаборатории Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной академии наук Таджикистана.

Литература

1. Голосов В.Н., Цыпленков А.С. Сток наносов в горах Кавказа и его тренды как отражение климатических изменений и антропогенного воздействия // Известия РАН. Серия географическая, 2023, Т. 87, № 7, стр. 1050-1064

2. Любарский В.М. Осадки природных вод и методы их обработки. М., Стройиздат, 1980. 218 с.
3. Шевченко Е.Г. Обработка промывных вод и осадков водопроводных сооружений. Новочеркасск: НГТУ, 1993. 44 с.
4. Шевченко Л. Предотвращение загрязнений поверхностных водоисточников отходами водопроводных станций // Environmental engineering and landscape management, 2005, XIII, № 2, с. 97a-102a // URL: vtu.lt/english/editions.
5. Бадавлатова Б.Х., Амирзода О.Х., Кобули З.В. Интенсификация процесса очистки природных вод с применением флокулянта // Инженерный вестник Дона – 2021. – №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2021/6857.
6. Шевченко Л.Я., Дрозд Г.Я., Зотов Н.И., Маслак В.Н. Осадки водопроводных станций: извлечение и утилизация. СПб., 2004. 195 с.
7. M.D. Nguyen, M. Thomas, A. Surapaneni, E.M. Moon, J. of Env. Techn. Inn. 28, 10265 (2022).
8. B. Zaman, T. Haryanvi, M.A. Budiharjo, et al., IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 852, 012014 (2020)
9. Янин Е.П. Осадок водопроводных станций (состав, обработка, утилизация) // Экологическая экспертиза, 2010, № 5, с. 3–45.
10. Лисутина Л.А., Ганичева Л.З. Оценка состояния природных ресурсов Восточного Донбасса // Инженерный вестник Дона, 2012, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/N3y2012/997.

References

1. Golosov V.N., Cyplenkov A.S. Izvestija RAN. Serija geograficheskaja, 2023, T. 87, № 7, p. 1050-1064
 2. Ljubarskij V.M. Osadki prirodnyh vod i metody ih obrabotki [Natural water sediments and methods of their treatment]. M., Strojizdat, 1980. 218 p.
-

3. Shevchenko E.G. Obrabotka promyvnyh vod i osadkov vodoprovodnyh sooruzhenij [Treatment of wash water and sludge from water supply facilities]. Novocherkassk: NGTU, 1993. 44 p.
4. Shevchenko L. Environmental engineering and landscape management, 2005, XIII, № 2, r. 97a-102a. URL: vtu.lt/english/editions.
5. Badavlatova B.H., Amirzoda O.H, Kobuli Z.V. Inzhenernyj vestnik Dona 2021. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2021/6857.
6. Shevchenko L.Ja., Drozd G.Ja., Zotov N.I., Maslak V.N. Osadki vodoprovodnyh stancij: izvlechenie i utilizacija [Waterworks sludge: extraction and utilisation]. SPb., 2004. 195 p.
7. M.D. Nguyen, M. Thomas, A. Surapaneni, E.M. Moon, J. of Env. Techn. Inn. 28, 10265 (2022).
8. B. Zaman, T. Haryanvi, M.A. Budiharjo, et al., IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 852, 012014 (2020).
9. Janin E.P. Jekologicheskaja jekspertiza, 2010, № 5, pp. 3–45.
10. Lisutina L.A., Ganicheva L.Z. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/997.

Дата поступления: 14.04.25

Дата публикации: 25.05.2025