

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
Высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
Институт «Архитектурно-строительный»  
Кафедра «Градостроительство, инженерные сети и системы»

ВКР МАГИСТРА

ПРОВЕРЕНА

Рецензент

\_\_\_\_\_ (И.О.Ф.)

\_\_\_\_\_ 2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

Д.В.Ульрих

\_\_\_\_\_ 2018 г.

Исследование направлений утилизации осадка очистных сооружений  
водопровода в условиях городской среды

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ  
РАБОТЕ МАГИСТРА

ЮУрГУ–08.04.01.2018.305-04.248 ПЗ ВКР

Руководитель ВКР

магистра

М.Ю.Белканова

\_\_\_\_\_ 2018 г.

Автор ВКР

магистр группы АС-227

И.С.Сидоров

\_\_\_\_\_ 2018 г.

Нормоконтролер

Е.В.Николаенко

\_\_\_\_\_ 2018 г.

Челябинск  
2018

## РЕФЕРАТ

Сидоров И.С. Исследование направлений утилизации осадка очистных сооружений водопровода в условиях городской среды. Челябинск: ЮУрГУ, АС-227, 2018. – 60 с., 21 ил., 16 табл., библиогр. список – 30 наим.

Ключевые слова: осадки очистных сооружений водопровода, почвогрунт, зеленое строительство утилизация, обезвоживание, флокулянт.

Объектом исследования являются осадки очистных сооружений водопровода г. Челябинска.

Цель работы – исследовать направления утилизации осадка очистных сооружений водопровода в условиях городской среды.

В первом разделе приведена характеристика осадка очистных сооружений города Челябинска. Рассмотрено формирование осадка ОСВ, его состав и свойства, а также выявлены недостатки существующей системы сброса осадков сооружений водопровода в систему канализации и поставлены задачи исследования.

Второй раздел посвящен изучению направлений использования водопроводных осадков.

В третьем разделе представлены исследования направлений утилизации осадков ОСВ в условиях городской среды, приведены результаты исследований и их обсуждение.

Четвертый раздел содержит в себе информацию об перспективах увеличения продуктивности почвогрунтов, содержащих в себе осадки ОСВ.

В пятом разделе даны рекомендации по направлению утилизации осадка очистных сооружений водопровода г. Челябинска.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
<b>1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОСАДКА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОРОДА ЧЕЛЯБИНСКА</b>	
1.1 Формирование осадка на ОСВ г. Челябинска.....	9
1.2 Состав и свойства осадка.....	11
1.3 Перекачивание осадков ОСВ на ОСК г. Челябинска.....	16
1.4 Выводы.....	21
<b>2 НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСАДКОВ ОСВ</b>	
2.1 Регенерация коагулянтов из водопроводного осадка.....	22
2.2 Использование осадка ОСВ в производстве строительных материалов и строительстве дорог .....	24
2.3 Применение водопроводного осадка в сельском хозяйстве и для рекультивации земель .....	25
2.4 Осадки в зеленом строительстве.....	29
2.5 Перспективы использования водопроводного осадка на полигонах ТБО.....	32
<b>3 ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ ОСВ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ.....</b>	<b>36</b>
3.1 Исследование применения водопроводного осадка в составе почвогрунта.....	36
3.2 Изучение влияния фильтрата осадков ОСВ на прорастание семян пшеницы.....	42
3.3 Исследование водной вытяжки осадка.....	46
3.4 Результаты и их обсуждение.....	49
<b>4 ПЕРСПЕКТИВЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ПОЧВОГРУНТОВ, СОДЕРЖАЩИХ ОСАДКИ ОСВ.....</b>	<b>50</b>
<b>5 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НАПРАВЛЕНИЮ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОПРОВОДА Г. ЧЕЛЯБИНСКА.....</b>	<b>55</b>
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	56
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	58

## ВВЕДЕНИЕ

Подготовка воды для хозяйственно-питьевых целей приводит к образованию значительных объемов осадков. Очистные сооружения водопровода г. Челябинска ежегодно производят около 2 млн. м<sup>3</sup> осадков, которые в настоящее время перекачиваются на городские очистные сооружения канализации и обрабатываются совместно со сточными водами. Осадки водопроводных станций обладают значительным потенциалом как продукт, пригодный для повторного использования в производстве огнеупорной керамики, строительных материалов, в сельском хозяйстве и т.д.

В настоящее время отсутствует единство методов обработки осадков очистных сооружений водопровода, поскольку свойства осадков определяются качеством воды в водоисточнике и технологией водоподготовки.

Актуальность работы заключается в предоставлении альтернативы в использовании водопроводного осадка – его утилизация в зеленом строительстве.

Целью работы является исследование направлений утилизации осадка очистных сооружений водопровода г. Челябинска в условиях городской среды, что позволит избавиться от скопления больших объемов осадков на очистных сооружениях и решит проблему деградации почв.

Задачи исследования:

- изучить различные направления использования осадка ОСВ
- исследовать использование водопроводного осадка как примеси к почвогрунтам
- дать указания по направлению утилизации осадка ОСВ г. Челябинска

# 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОСАДКА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОРОДА ЧЕЛЯБИНСКА

## 1.1 Формирование осадка на ОСВ г. Челябинска

Очистные сооружения водопровода (ОСВ) г. Челябинска обеспечивают жителей Челябинска, Копейска, Коркино и Еманжелинска водой питьевого качества, отвечающей требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».

Проектная производительность очистных сооружений водопровода составляет 975 000 м<sup>3</sup>/сут.

Забор воды производится из Шершневого водохранилища, расположенного в бассейне реки Миасс, при помощи двух водозаборов берегового типа, совмещенными с насосными станциями первого подъема № 12, 13. Затем вода поступает в камеру переключений №1 (КП-1). На водоводах, ведущих в КП-1, установлены коммерческие приборы учета подаваемой воды. От сборного напорного трубопровода насосных станций первого подъема, расположенного в здании КП-1, вода подается на все блоки водоподготовки.

На очистных сооружениях блоки № 1, 2, 3 работают по двухступенчатой схеме очистки воды, а блоки № 4, 5 – по одноступенчатой схеме.

На ОСВ г. Челябинска для водоподготовки используют следующие реагенты:

- коагулянты, в роли которых выступают сернокислый алюминий и оксихлорид алюминия «Бопак-Е»;
- известковое молоко (с целью снижения коррозионной активности воды и создания ее щелочного резерва для протекания процесса коагуляции);
- флокулянты AN 905, FL-4540;
- перманганат калия для удаления из воды привкусов и запахов.

Все вещества, используемые для реагентной обработки очищаемой воды, депонируются в осадке.

На блоки № 1, 2 и 3 исходная вода подается через блок микрофильтров, где в быстрodeйствующий трубчатый смеситель плоскопараллельного типа

подается коагулянт. В этом же здании находится точка ввода первичного хлора. Далее вода подается в камеры хлопьеобразования. Перед камерами хлопьеобразования вводится флокулянт.

При одноступенчатой схеме очистки исходная вода поступает из КП-1 на микрофильтры, расположенные в зданиях блоков № 4 и 5. После микрофильтров вода направляется в контактную камеру, куда вводится хлор.

Коагулянт подается в трубопровод при помощи быстродействующего смесителя. Во входной коллектор перед контактными осветлителями вводится флокулянт.

Промывка фильтров всех блоков осуществляется промывными насосами, установленными на насосных станциях №22, 23, 93 с забором воды на промывку из резервуаров чистой воды.

На очистных сооружениях для обеззараживания воды используют первичное и вторичное хлорирование.

Из резервуаров чистой воды вода подается в сеть города тремя насосными станциями второго подъема. От очистных сооружений водопровода вода подается в город по семи главным водоводам.

Для приема промывных вод и осадков существуют две насосные станции. Промывные воды образуются от промывки фильтров, микрофильтров, контактных осветлителей и баков реагентного хозяйства.

На очистных сооружениях водопровода г. Челябинска осадки (шламовые воды) образуются на блоках № 1, 2 и 3 при реализации двухступенчатой схемы очистки воды отстойники – скорые фильтры.

Блок №1 имеет девять двухъярусных отстойников горизонтального типа. Отстойник представляет собой железобетонный прямоугольный резервуар с неоднородным отстаиванием воды по вертикали. Можно выделить две основные зоны: первая – зона осаждения, вторая – зона накопления и уплотнения осадка. Двухъярусный отстойник отличается увеличенной вдвое площадью отстаивания по сравнению одноярусным отстойником тех же размеров в плане. Для удаления осадка из отстойников применяют их сброс, поскольку опыт эксплуатации показал неэффективность их продувки. Период работы перед сбросом составляет от 5 в летний период до 15 суток в зимний период года.

В состав блока № 2 входят 20 горизонтальных односекционных

отстойников – железобетонные резервуары, прямоугольные в плане. В одноярусном горизонтальном отстойнике отсутствует выраженная граница между зонами осаждения и накопления осадка. Для удаления осадка из отстойников применяют их продувку. Период работы перед сбросом составляет 5 – 15 суток.

На блоке № 3 имеется 10 двухкоридорных горизонтальных отстойника, так же прямоугольных и железобетонных, как и на блоке № 1 и 2. В каждой секции отстойника расположены два перфорированных короба для продувки и сброса отстойника. Площадь отстаивания превышает аналогичный показатель для отстойников блока № 2. Период работы отстойников перед сбросом 5 – 20 суток.

## **1.2 Состав и свойства осадка**

Состав и свойства осадка зависят от качества воды в водоисточнике и технологической схемы его обработки [1].

Коагуляционный осадок, образующийся на водопроводных станциях в ходе очистки поверхностных вод, представляет собой сложную многокомпонентную систему с сильно развитой поверхностью, объединяющую в единое целое комплекс различных по происхождению, качеству и свойствам веществ. Основными компонентами осадка ОСВ, по внешнему виду представляющего собой гелеобразную массу серо-коричневого цвета, являются продукты гидролиза химических реагентов (гидроксиды алюминия и железа, кремниевая кислота неорганических флокулянтов) в сочетании с минеральными (глина, песок, гидрослюды, кварц, карбонаты, нерастворимые или малорастворимые соли металлов и др.) и органическим (планктоном, микроорганизмами и бактериями, продуктами жизнедеятельности водных организмов и растений, коллоидами гуминовых и фульвокислот, адсорбированными высокомолекулярными флокулянтами и др.) веществами [2]. Кроме того, обычно содержатся различные металлы, нефтепродукты, бактерии.

Состав и свойства осадка отстойников приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав и физические свойства водопроводного осадка [2]

Показатель	Из отстойников водопроводных станций г. Москвы			Из контактных осветлителей водопроводных станций		
	Северной	Западной	Рублевской	Санкт-Петербурга		Сестрорецка
				Северной	Южной	
Влажность, %	99,7–95	99,2–93,6	99,2–94	99,5–97	99,5–96	99,6–98,5
Потери при прокаливании, %	40–60	24–28	22–28	27–60	30–60	65–67
Состав прокаленного остатка, %:						
SiO <sub>2</sub>	1,6–7	27–42	30–40	8–28	8–28,6	5–7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20–36	15–20	14–15	15–24,5	17–25	20–30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,8–2,8	2–5	2,6–5	0,2–1,8	0,2–1,8	2–5
CaO	1–3	2–3	1,5–2,5	0,2–0,5	0,1–0,3	1,5–2
MgO	0,3–1,3	0,6–1,2	0,6–1,1	0,4–0,6	0,2–3,5	0,8–3,5
Нерастворимый в кислоте остаток (по разности), %	5–16	33–47	27–42,5	20–25	2–8	2–8
Начальное удельное сопротивление, $r \times 10^{-10}$ см/Г	1870–2590	850–1420	1050–1980	–	–	–

Химический состав некоторых ОСВ Молдовы приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав водопроводного осадка некоторых станций водоочистки Молдовы, % [2]

Компонент	Кишинев	Унгень	Корнешть
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,4	19,9	59,2
SiO <sub>2</sub>	46,11	49,6	3,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,21	5,61	2,9
MgO	1,50	1,12	0,61
CaO	3,63	3,21	2,16
Na <sub>2</sub> O	0,005	0,006	0,01



Отмечаются сильные колебания по содержанию оксидов алюминия и кремния, что, вероятно, связано с варьированием дозы коагулянтов и различным качеством исходной воды по мутности, фитопланктону.

Основными свойствами водопроводного осадка, во многом определяющими выбор технологической схемы его обработки и утилизации, являются влажность, плотность, водоотдающая способность, угол скольжения, вязкость и др. [2].

Осадки ОСВ обладают высокой степенью влажности (от 92–94 до 99,5–99,8%), высоким сопротивлением фильтрации ( $10^{10} - 10^{12}$  м/кг), большим содержанием сапрофитных организмов и бактерий, высокими значениями БПК<sub>5</sub> (~ 80 мгО<sub>2</sub>/л) и ХПК (~ 300 мгО<sub>2</sub>/л) [2].

Так, согласно исследованиям [3], осадки ОСВ г. Челябинска без обработки имеют влажность 95,76–98,74 %, содержание сухого вещества 12,60–42,25 г/л, удельное сопротивление фильтрации  $1500-7300 \cdot 10^{10}$  м/кг.

Согласно исследованиям [3], осадки ОСВ г. Челябинска являются полидисперсными системами с размерами частиц от 0,5 до 1000 микрон. Преобладают частицы с размерами менее 100 микрон, включая коллоидные. Существенными факторами, влияющими на свойства осадка, являются температура и содержание клеток планктона в очищаемой воде, содержание сухого вещества осадка. В сухом веществе осадка 52,1 % приходится на физико-химически и химически связанную воду. Преимущественно это капиллярно связанная и кристаллогидратная вода, удаляемая при температурах до 200°C, и химически связанная вода ОН-групп, которая отщепляется при более высоких температурах. В сухом веществе осадка 26,75 % приходится на углерод, из которого в среднем 20 % – углерод органического происхождения, а оставшаяся часть соответствует углероду неорганического происхождения (карбонаты, гидрокарбонаты).

На интенсивность и уплотнение осадков влияют их состав и свойства. В осадке мутных вод нерастворимый осадок составляет 40–50%, в то время как в осадке цветных вод – лишь 2–15%. Нерастворимый остаток в осадке обусловлен наличием минеральных примесей. Плотность осадка варьируется в пределах 1002-1041 кг/м<sup>3</sup> [2].

Содержание органических веществ в осадке ОСВ (в пересчете на органический углерод) Северной водопроводной станции г. Москвы

находится в пределах 5,7-16,7 %. Осадок из горизонтальных отстойников Кочетовской водопроводной станции (г. Харьков), где применяется электрокоагуляционная обработка, представляет собой тонкодисперсную (более 45% частиц менее 1 мкм) суспензию, преимущественно каолинового состава (70% каолинита), содержащую также примеси кварца, карбонатов, слюд и органических веществ. Осадок, полученный при осветлении вод южных рек России, по своим физико-химическим свойствам отличается от осадка рек центральных районов ЕТР повышенным содержанием минеральных примесей (75-90%), большим содержанием  $\text{SiO}_2$  (55-75%), низким  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (2-10%). В ОСВ г. Ростова-на-Дону (р. Дон), г. Невинномысска и г. Армавира (р. Кубань) глинистые минералы представлены гидрослюдами, монтмориллонитом, каолинитом с частицами менее 5 мкм. Из 60% глинистых частиц на долю каолинита в среднем приходилось 25%, гидрослюды – 45%, монтмориллонита – 29% [3].

Водопроводный осадок имеет сезонную динамику качества. Содержание токсичных металлов в осадках ОСВ между сезонами может различаться в 2–3 раза, а органических загрязняющих веществ – в десятки раз. Это связано с несколькими причинами: природной сезонной неоднородностью качества воды «питьевых» водохранилищ или рек и сезонной неоднородностью поступающих на очистку стоков. Иногда эта сезонность крайне важна для паспортизации осадка. Полгода осадок может соответствовать нормативам на качество для почвенной утилизации, а полгода нет. То есть «зимний» и «летний» осадки могут быть утилизированы по разным технологическим схемам [4].

В соответствии с федеральным законом № 89ФЗ, «отходы в зависимости от степени негативного воздействия на окружающую среду подразделяются в соответствии с критериями, установленными федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим государственное регулирование в области охраны окружающей среды, на пять классов опасности». Каждый водоканал может и должен сам доказать, к какому классу опасности относятся его осадки. Самым важным и наиболее доказательным методом разделения отходов IV и V класса опасности является определение токсичности водной вытяжки осадка методами биотестирования. Осадок, вытяжка которого токсична, не может быть

отнесен к V классу опасности. Зачастую водоканалы даже не делают этот важный анализ. На отходы I–IV класса опасности должен быть составлен паспорт, тогда как для хранения, перевозки и утилизации отходов V класса опасности специальная лицензия и паспорт не нужны. Традиционно сложилось так, что водопроводные осадки относят к отходу V классу опасности, а осадки сточных вод к IV классу опасности [4].

подавляющее большинство водопроводных осадков образуются при использовании солей алюминия или железа в качестве коагулянтов. Такие осадки называют «алюмосодержащие» и «железосодержащие» («alum sludge» и «ferric sludge»). Усредненный состав таких осадков по материалам [5] приведен в таблице 3. Авторы подчеркивают, что состав осадков в большой степени определяется качеством воды в водоисточнике, применяемыми реагентами и технологией обработки воды. Эти факторы приводят к большому разнообразию состава и свойств осадков.

Таблица 3 – Типичный состав осадков (% по сух. веществу) очистных сооружений водопровода [3]

Показатель	Алюмосодержащий осадок	Железосодержащий осадок
Алюминий	29,7±13,3	10,0±4,8
Железо	10,2±12	26,0±15,5
Кальций	2,9±1,7	8,32±9,5
Магний	0,89±0,8	1,6
Диоксид кремния	33,4±26,2	нет данных
pH	7,0±1,4	8,0±1,6
БПК <sub>5</sub>	45	нет данных
Фосфор	0,35	0,36
Цинк	33,9±28	18,7±16
Свинец	44,1±38,2	19,3±25,3
Кадмий	0,5	0,48±0,26
Никель	44,3±38,4	42,9±39,2
Медь	33,72±32,5	18,7±25,8
Хром	25±20,1	25,7±21,6
Кобальт	1,06	1,61±1,1
Солесодержание	2500–52345	(2132–5074)

Таким образом, осадок ОСВ относят к V классу опасности, он состоит из примесей, скоагулированных гидроксидными продуктами гидролиза коагулянта в хлопья, которые объединены в крупные агрегаты с помощью

флокулянтов. Применение полимерных флокулянтов на стадии коагуляции природной воды отчасти сглаживает технологические различия между группами осадков, улучшает его седиментационные свойства, способность к уплотнению и механическому обезвоживанию. Гранулометрический состав осадков зависит от сезона года, а также от технологической схемы очистки воды и конструктивных особенностей сооружений, в которых он образуется.

Осадки ОСВ г. Челябинска по классификации [6] можно отнести к осадкам второй группы по качеству воды в водоисточнике (малое содержание взвеси (1,5 – 40 мг/л) и, как правило, средняя цветность воды (18–35 град.)) и к V классу опасности.

### **1.3 Перекачивание осадков ОСВ на ОСК г. Челябинска**

Промывная вода, поступающая на насосную станцию № 37, сбрасывается в Шершневокское водохранилище по выпускам, либо возвращается в «голову» очистных сооружений для повторной обработки.

Насосная станция № 38 работает совместно с блоками № 4 и 5, где осветленные (отстоянные) промывные воды перекачиваются в «голову» сооружений для повторной обработки.

На ОСВ имеется 2 трубопровода: один трубопровод с насосной станции № 37, второй – с насосной станции № 38.

На насосной станции № 37 установлено 2 группы технологических электронасосных агрегатов, но к работе шламопровода относится только одна группа насосов с агрегатами № 4 и 5. Агрегаты № 4,5 состоят из эл. двигателя и насоса типа СМ, предназначенного для перекачивания бытовых и промышленных загрязнений жидкостей, содержащих взвешенные частицы не более 1% по объему, размером до 5 мм. Электродвигатель и насос установлены на общей раме.

Всего на ВОС 6 агрегатов: два из них находятся на 37 насосной станции, четыре – на 38 насосной станции.

Осадки, образующиеся при продувке, сбросе и промывки отстойников блоков № 1,2,3, накапливаются в резервуаре объемом 1000 м<sup>3</sup>, а затем при помощи насосной станции № 37 перекачиваются на канализационную насосную станцию № 16, откуда совместно с другими стоками направляются на очистные сооружения канализации г. Челябинска.

За 2016 год объем осадков, перекачиваемых на ГНС №16, составил 2406127 м<sup>3</sup>. Выполняя расчет по формуле:

$$T = \frac{V}{\Pi},$$

где T – время работы насоса за год, V – годовой объем осадка,  $\Pi$  – производительность насоса СМ-200-150-500/4 ( $\Pi=400\text{м}^3/\text{час}=0,12 \text{ м}^3/\text{с}$ ), получаем:

$$T = \frac{2406127}{0,12} \approx 2 \cdot 10^7 \text{ с}$$

Т. к. электродвигатель насоса СМ-200-150-500/4 имеет мощность 200 кВт, то по формуле:

$$A = N \cdot T,$$

где A=E – энергозатраты на перекачку осадков из шламового резервуара тысячника на ГНС №16 в год, N – мощность электродвигателя, T – время работы насоса за год, рассчитаем количество энергии, затраченное на перекачку 2406127 м<sup>3</sup> осадка за год:

$$A = 200 \cdot 2 \cdot 10^7 = 4 \cdot 10^9 \text{ кДж}$$

Соответственно, количество энергии, затраченное на перекачку 1 м<sup>3</sup> при этом, составило  $1,66 \cdot 10^3$  кДж, т.е. 0,46 кВт·час.

Осадки водоочистных станций без какой-либо обработки представляют собой жидкие системы, плотность которых близка к плотности воды. Такие осадки без какой-либо обработки транспортируются на очистные сооружения канализации вывозным способом, по отдельно выделенной трубе или совместно с бытовой канализацией. Далее осадки обрабатываются совместно со сточными водами города. Такая схема реализуется в настоящее время в г. Челябинске [3].

При совместной обработке осадков используется остаточная флокулирующая способность реагентов, применяемых для водоподготовки; наблюдается разбавление потенциально опасных веществ в канализационном осадке. Содержащийся в водопроводном осадке гидроксид алюминия способствует осаждению соединений фосфора бытовых сточных вод. В смеси со сброженными осадками сточных вод водопроводный осадок подвергается обезвоживанию, но при этом требуется повышенная доза флокулянта, приращение в пределах 0,5–1 кг/т сухого вещества [7].

Если на станции обработки сточных вод имеется цех механического

обезвоживания, то на водопроводной станции необходимо лишь строительство резервуара усреднения и насосной станции. Обычно водопроводный осадок характеризуется высокой биологической стабильностью органического вещества. В большей степени загниванию с выделением гнилостных запахов подвержен осадок, полученный в период цветения исходной поверхностной воды. Благодаря биостабильности органического вещества, прочной связи азота в гумусе, а фосфора в алюминатах, водопроводный осадок не создает дополнительной нагрузки по БПК, N и P на сооружения биологической очистки сточной воды [3].

Сброс водопроводных осадков в городскую канализацию требует высоких затрат на его транспортирование, а это приводит к нарушению режима работы очистных сооружений, т.е. к увеличению гидравлической нагрузки, поступлению несвойственных веществ и др. [8].

Перед тем, как направить водопроводные осадки на станцию очистки сточных вод, необходимо проанализировать: путь прохождения осадка по канализационной сети и гидравлическую нагрузку на сеть; влияние осадка на процесс обработки сточных вод и на степень очистки; возможность заиливания канализационной сети. [3]

Известно, что одним из отрицательных факторов использования совместной обработки водопроводного и канализационного осадков является расстояние между ОСВ и ОСК. Так, экономически выгодным является расстояние менее 5–6 км [9].

Прием водопроводного осадка в период паводка оказывает существенное воздействие на работу очистных сооружений канализации, т.к. в результате повышения мутности поверхностных вод количество водопроводного осадка возрастает, примерно, в два раза. В этот же период поступление осадкообразующих загрязнений в канализационную сеть с территории города увеличивается, а значит суммарное действие двух паводковых факторов приводит к увеличению расхода смеси сырого осадка и избыточного ила на 20–30% по сравнению с межпаводковым периодом [10]. Для решения этой проблемы необходимо аппаратное сгущение избыточного активного ила.

В работе [11] отражены следующие отрицательные стороны сброса осадков ВОС в ОСК:

– осадок ОСВ оказывает существенное влияние на кинетику уплотнения осадка в первичных отстойниках. Снижение скорости осаждения и уплотнения взвешенных частиц приводит к увеличению уровня осадка в первичных отстойниках, увеличивает риск вымывания ранее осевших частиц в осветленную воду;

– при условии обеспечения эффективности задержания взвешенных веществ на уровне 55–60% требуется увеличение объема и продолжительности откачки сырого осадка. Это позволяет сохранить регламентную эффективность задержания взвешенных веществ, но ведет к повышению влажности сырого осадка в среднем с 95,4% до 96,3%;

– при высоких нагрузках осадка ВОС возможно снижение показателей процесса нитрификации.

Автор [2] делает следующие выводы по внедрению совместной обработки водопроводных и канализационных осадков:

– создание крупных производственных мощностей по механическому обезвоживанию осадка как на водопроводных станциях, так и на станциях аэрации является дорогостоящим мероприятием. Поэтому централизация механического обезвоживания и инфраструктуры по вывозу и размещению осадка при станциях аэрации представляется экономически оптимальным решением;

– прием водопроводного осадка, особенно от очистки высокоцветных природных вод, приводит к непропорциональному увеличению объемов ВОС на станции аэрации. Это не столь существенно при обезвоживании сырого осадка, но для схем, включающих в себя метантенки и уплотнители сброженного осадка, создает серьезные технические проблемы;

– перспективы утилизации (размещения) обезвоженных осадков канализационных очистных сооружений (как наиболее дорогостоящей части процесса очистки сточных вод) должны оказывать наибольшее воздействие на решение проблемы обезвоживания осадков ОСВ. Ориентация на широкое применение канализационных осадков в качестве удобрения стимулирует прием водопроводных осадков в систему канализации. При неизбежности метода депонирования осадка станций аэрации совместная обработка осадков с ОСВ и ОСК становится менее экономичной, так как отдельно обезвоженный осадок имеет более широкие возможности утилизации;

– подключение станций водоподготовки к системе канализации может повлечь за собой строительство капиталоемкой насосной станции с напорными водопроводами, затраты на строительство которой могут быть сопоставимы с затратами на создание цеха механического обезвоживания водопроводного осадка. Однако, следует принимать во внимание тот факт, что при создании на водопроводных станциях сооружений для обезвоживания осадка возникает проблема сброса фильтрата, химический состав и бактериальная загрязненность которого свидетельствуют о нежелательности отведения его в голову сооружений водоподготовки. Очистка фильтрата перед сбросом в природный водоем или его передача в канализацию должны учитываться при технико-экономическом обосновании способа обработки водопроводного осадка;

– при наличии технической возможности следует рассматривать вариант перекачки водопроводного осадка непосредственно в цех механического обезвоживания осадка, образующегося на станции аэрации.

Нецелесообразность перекачки осадков ОСВ г. Челябинска для совместной обработки с канализационными осадками следует из следующих факторов:

- 1) высокие затраты на транспортирование, т.к. расстояние до очистных сооружений канализации значительно превышает экономически выгодные 5–6 км;
- 2) увеличение гидравлической нагрузки на канализационную сеть из-за неравномерности поступления в нее водопроводных осадков, что увеличивает нагрузку на ОСК, особенно в период паводка;
- 3) неудовлетворительные седиментационные свойства осадка ОСВ, имеющего гидроксидную природу, что снижает скорость осаждения и уплотнения взвешенных частиц в первичных отстойниках ОСК;
- 4) увеличение объемов осадков при совместной обработке, что приводит к отчуждению дополнительных площадей для устройства иловых площадок;
- 5) перспективы утилизации водопроводных и канализационных осадков различные, поэтому целесообразно их отдельное обезвоживание.



## 1.4 Выводы

На очистных сооружениях водопровода г. Челябинска за год образуются большие объемы водопроводных осадков. Перекачка водопроводных осадков для совместной обработки с канализационными осадками нецелесообразна, как показано на основе обработки литературных данных и анализа технологии транспортировки осадков.

Цель данной работы – исследовать направления утилизации осадка очистных сооружений водопровода г. Челябинска в условиях городской среды. Это позволит решить проблемы деградации почв, скопления больших объёмов осадков на очистных сооружениях.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- изучить направления использования водопроводного осадка
- исследовать использование осадка как примеси к почвогрунтам
- дать рекомендации по направлению утилизации осадка очистных сооружений водопровода г. Челябинска

## 2 НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСАДКОВ ОСВ

### 2.1 Регенерация коагулянтов из водопроводного осадка

Регенерация коагулянтов является эффективным направлением утилизации осадка ОСВ, особенно образующегося при очистке маломутных вод, когда содержание оксида алюминия в нем может достигать 40% и более (на сухую массу) [12–14]. Регенерацию коагулянтов целесообразно осуществлять на водопроводных станциях большой и средней мощности, где потребляются значительные количества реагентов и образуются большие объемы водопроводных осадков. Коагулянты можно регенерировать путем растворения продуктов гидролиза в кислотах или щелочах, аналогично получению сульфата алюминия из его гидроксида, а также экстракцией органическими реагентами [2].

Наибольшее применение получила кислотная обработка осадков ВОС, которая позволяет одновременно решать проблему уменьшения объема образующегося осадка (в 5–20 раз) и утилизировать значительную часть (до 60-86%) коагулянта, расходуемого в процессе очистки воды [12-14].

Кислоту дозируют из расчета получения сульфата алюминия, и растворение заканчивают при pH 3–3,2. Доза кислоты увеличивается при наличии в осадке гидроксидов и карбонатов кальция и магния. Иногда для повышения степени растворения оксида алюминия осадок подвергают термической обработке (в интервале температур 500–700°C). В результате добавления кислоты к влажному гидроксидному осадку образуется реакционная смесь, жидкая фаза которой представляет собой раствор регенерированного коагулянта, а твердая фаза – нерастворимые в кислоте органические и минеральные вещества, а также гипс, образующийся при взаимодействии солей кальция с серной кислотой. Отделение раствора коагулянта от твердой фазы осуществляют отстаиванием или фильтрованием, зачастую с применением флокулянтов. Регенерированный коагулянт состоит в основном из хорошо растворимых в воде сернокислого алюминия  $Al_2(SO_4)_3$ , оксисульфатов  $Al_2(OH)_2(SO_4)_2$  и  $Al_2(OH)_4SO_4$ , а также содержит незначительное количество сульфатов железа  $Fe_2(SO_4)_3$ , магния  $MgSO_4$  и др. Кроме того, раствор регенерированного коагулянта содержит органические примеси, растворимые кислотой при обработке исходного осадка. После разделения фаз раствор регенерированного коагулянта

используется для очистки исходной воды, а вторичный кислый шлам (вторичный осадок ВОС), объем которого обычно составляет около 8–20% объема исходного осадка, характеризуется низкими значениями рН (1,5–3,2), влажностью 95–98% и обладает такой же или более высокой водоотдачей, чем первичный осадок. Для обезвоживания вторичного водопроводного осадка используют термические или механические способы обработки. В последнем случае вторичный осадок предварительно уплотняют и подщелачивают (нейтрализуют) до рН 9–10. Наличие в исходном водопроводном осадке повышенного количества различных органических примесей, соединений железа и марганца осложняет процесс регенерации [2].

Реже применяется регенерация коагулянтов щелочами [12]. Например, в результате обработки осадка ВОС, содержащего гидроксид алюминия, едким натром при 80°C и при соотношении  $\text{NaOH}/\text{Al} = 2$  в раствор извлекается 45% алюмината натрия. При щелочной обработке наряду с алюминатом натрия в раствор частично извлекаются органические вещества. При обработке алюминатных растворов активным углем содержание органических веществ в них уменьшается на 20–30%. Добавка извести (в количестве 100–150% стехиометрического из расчета получения алюмината кальция) существенно улучшает структуру осадка и позволяет уменьшить его объем на 40%. Щелочная регенерация не требует предварительного обезвоживания осадка и позволяет получить относительно чистый по содержанию органических примесей раствор коагулянта. Считается, что обработку осадка с одновременной регенерацией коагулянта в виде щелочного раствора целесообразно применять на станциях водоподготовки, осуществляющих обработку воды с низким значением рН [15]. В данном случае для регенерации коагулянта в усредненный осадок вводится известковое молоко (рН 10,5–11,5). При этом происходит переход части гидроксида алюминия в раствор в виде гидроксоалюминатов кальция. Разделение реакционной массы на жидкую фракцию, представляющую раствор щелочного коагулянта с концентрацией до 400–480 мг/л по  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , и твердый осадок осуществляется гравитационным отстаиванием. Щелочной регенерированный коагулянт используется в сочетании с товарным сульфатом алюминия, доза которого может быть сокращена на 20–40%. Использование регенерированного коагулянта приводит к увеличению

остаточных значений рН и щелочности обработанной воды, а также к снижению ее коррозионной активности, что позволяет исключить или снизить расход реагентов, необходимых для подщелачивания и стабилизации обработанной воды. Осадок (после регенерации из него части коагулянта) обладает по сравнению с исходным лучшими водоотдающими свойствами и может быть механически обезвожен традиционными методами.

В ходе обработки осадка кислотами или щелочами не исключается вероятность накопления в регенерированном коагулянте бактерий, органических и неорганических примесей. Это, отчасти, и является причиной того, что регенерация коагулянта из осадка природных вод не нашла повсеместного практического применения.

## **2.2 Использование осадка ОСВ в производстве строительных материалов и строительстве дорог**

Известно значительное количество работ, в которых показана возможность использования осадка ОСВ в производстве строительных материалов (в керамическом и цементном производстве, в качестве наполнителя асфальтовых смесей и бетона, в производстве керамзита, огнеупорного кирпича, специальных бетонных составов, мастик, шпаклевок, при изготовлении ячеистых бесцементных бетонных стеновых блоков, защитных покрытий и др.).

Так, химический анализ показал пригодность водопроводного осадка в качестве добавки к сырью для производства кирпича. Для разработки направления утилизации осадка в производстве кирпичей в 2009 году было проанализировано 13 кирпичных заводов Москвы и Московской области [4]. В результате проведенных промышленных испытаний была подтверждена пригодность водопроводного осадка Московской Восточной станции водоподготовки в качестве сырья для производства кирпича при добавке к сырью не более 7% (по объему) обезвоженного осадка 80% влажности, о чем получено заключение завода ГУП «Лосиноостровский завод строительных материалов и конструкций». Увеличение содержания осадка более 7% по объему повышало водопоглощение и расслоение, увеличивало количество постельных трещин и снижало марку кирпича.

Была разработана инновационная технология по производству пеностеклогранулята с использованием водопроводного осадка и стеклобоя [4]. Пеностеклогранулят – теплоизоляционный материал, который можно применять как при жилищном строительстве, так и для промышленной теплоизоляции. Его отличительными особенностями являются конструкционная устойчивость, износоустойчивость, способность выдерживать широкий спектр температур, негорючесть, возможность использования в агрессивных средах, экологическая безопасность. Опытная партия пеностеклогранулята получена на производственной площадке ООО «Экомаг 4». Объем добавляемого водопроводного осадка составлял до 20% по объему.

Как свидетельствуют результаты многих испытаний, строительные материалы, изготовленные с применением водопроводного осадка, обычно соответствуют требованиям стандартов и нормативной документации. Так, высокое содержание в осадке гидроксидов алюминия, кальция и кремния определяет возможность его введения в цементную сырьевую смесь в качестве алюминатной добавки [16]. Например, в лабораторных и промышленных условиях на Балаклейском ЦШК выпущены опытные партии портландцемента с введением в сырьевые смеси от 3 до 6% осадков водоисточников Кочетовской водопроводной станции (г. Харьков) вместо высокоалюминатных глин. Это позволило не только снизить затраты на сырье, но и увеличить прочность портландцемента (до 50 кг/см<sup>2</sup>) [2].

По мнению авторов [15], использование таких технологий утилизации водопроводного осадка, как укладка его в дорожное полотно, использование в качестве составляющей бетона, применение при изготовлении цемента, требует дополнительного обоснования, а в ряде случаев такие методы утилизации осадка сопровождаются ухудшением качества конечной продукции и небезупречны в экологическом плане.

### **2.3 Применение водопроводного осадка в сельском хозяйстве и для рекультивации земель**

Водопроводный осадок рекомендуется использовать при технической рекультивации нарушенных земель [17] и при благоустройстве садово-парковых комплексов [18]. Достаточно давно установлено, что

водопродный осадок можно использовать для улучшения когезионных и агрохимических свойств почвы. Так, по оценке специалистов ВИУА им. Д.Н. Прянишникова, осадок ОСВ Московских водопродных станций по составу аналогичен сапропелям повышенной зольности и соответствует нормативным требованиям, предъявляемым к сапропелевым удобрениям [10, 19] (табл. 4).

Таблица 4 – Химический состав и удобрительные свойства водопродного осадка [10]

Показатель	Рублевская ВС		Волжская ВС		Норматив по ТУ 2191-022-00483470-93 (сапропелевые удобрения)
	оксихлорид алюминия	сульфат алюминия	оксихлорид алюминия	сульфат алюминия	
рН	7,5	7,4	6,8	6,9	> 5
Органическое вещество, %	30,3	27,5	52,5	46,8	> 50
Зола, %	69,7	72,5	47,5	53,2	< 50
Азот общий, %	0,9	1	0,7	0,9	> 1
Азот аммонийный, %	0,03	0,05	0,04	0,03	
Азот нитратный, мг/кг	Не обн	Следы	Не обн	Не обн	
Фосфор общий (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), %	1,4	1,3	1,4	1,1	
Фосфор подвижный (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), мг/кг	40	30	35	40	
Калий общий (K <sub>2</sub> O), %	0,4	0,4	0,09	0,08	
Калий подвижный (K <sub>2</sub> O), мг/кг	20	20	10	10	
С / N	16	14	36	26	
Кальций, %	2,2	1,7	0,8	0,9	< 12,2
Магний, %	0,5	0,4	0,1	0,2	
Алюминий, %	7,9	11,2	14,4	12,9	
Железо, %	2,18	1,9	0,26	0,65	< 7
Натрий, %	0,58	0,68	0,57	0,57	
Свинец, мг/кг	5	3	3,5	3	< 300 *
Мышьяк	8,4	6	2,7	2,4	

Окончание таблицы 4 [10]

Показатель	Рублевская ВС		Волжская ВС		Норматив по ТУ 2191-022- 00483470-93 (сапропелевые удобрения)
	оксихло- рид алюминия	сульфат алюми- ния	оксихло- рид алю- миния	сульфат алюми- ния	
Хром (Cr <sup>3+</sup> ), мг/кг	31	28	6	18	
Марганец, мг/кг	3380	2970	660	500	< 1500 **
Цинк, мг/кг	170	110	74	84	< 50 **
Медь, мг/кг	31	19	31	37	< 100 *
Молибден, мг/кг	1	1	1	1,5	< 20 *
Стронций, мг/кг	107	129	55	74	
Барий, мг/кг	402	373	192	158	
Титан, мг/кг	942	1109	391	397	
Ванадий, мг/кг	40	36	17	16	
Цирконий, мг/кг	77	77	53	47	
Кобальт, мг/кг	4	4	1	1	< 100 *
Литий, мг/кг	16	15	4	4	
Кадмий, мг/кг	Не обн	0,1	0,1	0,1	< 3 *
Никель, мг/кг	23	20	11	12	< 500 *
Ртуть, мг/кг	0,06	0,1	0,05	0,4	< 1 *

\* Первый класс пригодности.

\*\* Второй класс пригодности.

Эксперименты по использованию осадка москворецкого (Рублевская водопроводная станция) и волжского (Восточная водопроводная станция) водоисточников в качестве удобрений на дерново-подзолистых почвах показали, что водопроводный осадок увеличивает плодородие почвы и повышает урожайность зерновых культур в 1,4-1,7 раза, при этом присутствующий в водопроводном осадке гидроксид алюминия не оказывает существенного токсичного влияния на корневую систему растений (в данном случае ячменя) (табл. 5) и слабо влияет на агрохимические свойства дерново-подзолистых почв (табл.6) [19].

Таблица 5 – Влияние доз и видов осадка водопроводных станций на химический состав ячменя [19]

Дозы и вид осадка	Содержание, %		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
В среднем по дозам осадка			
Без удобрений	1,7	0,84	0,47
10 т/га	1,9	0,81	0,57
50 т/га	1,9	0,84	0,57
100 т/га	2,1	0,77	0,54
В среднем по посадкам с использованием:			
Осадок, полученный с применением оксихлорида алюминия	2,0	0,83	0,59
Осадок, полученный с применением сульфата алюминия	1,9	0,78	0,52

Таблица 6 – Влияние доз и видов осадка водопроводных станций на агрохимические свойства почвы [19]

Дозы и вид осадка	рН	Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	Гумус, %
			мг/100 г			
В среднем по дозам осадка						
Без удобрений	4,9	2,7	8,8	5,2	2,1	1,60
10 т/га	5,0	2,6	11,1	5,3	1,88	1,59
50 т/га	5,2	2,4	13,9	5,6	2,1	1,66
100 т/га	5,4	2,2	15,2	5,6	2,1	1,77
В среднем по посадкам с использованием:						
Осадок (оксихлорид алюминия)	5,2	2,4	13,9	5,5	1,8	1,70
Осадок (сульфат алюминия)	5,2	2,4	12,9	5,6	2,2	1,64

Обезвоженные до 80% влажности водопроводные осадки имеют благоприятные агрохимические свойства (достаточное содержание азота, фосфора, органического вещества), но неблагоприятные агрофизические свойства (отсутствие агрегированности, образование слитых структур и растрескивание при высыхании). При первичном исследовании физических



свойств констатировалось, что использовать осадки в зеленом хозяйстве можно только в смеси с другими грунтами. [4]

## 2.4 Осадки в зеленом строительстве

Для больших городов актуальна проблема техногенных загрязнений и деградации почв, проблема скопления на очистных сооружениях больших объёмов осадков, требующих депонирования.

Авторы [20] исследовали возможность использования осадков канализационных и водопроводных очистных сооружений в городском благоустройстве, что позволяет решить проблему депонирования осадков и проблему деградации почв. Для исследований были взяты: осадки горизонтальных отстойников поверхностных водозаборов (г. Тюмень и г. Курган); осадок канализационных очистных сооружений (г. Нижневартовск).

Согласно результатам исследования, по основным агрохимическим показателям осадки канализационных и водопроводных очистных сооружений можно считать ценными органическими удобрениями с благоприятной реакцией среды, значительным содержанием органического вещества, азота, кальция и магния, но довольно низким – калия (таблица 7).

Таблица 7 – Показатели качества осадка сооружений очистки сточных вод и водоподготовки и почвы делянок [20]

Показатель	Содержание					
	г. Нижневартовск		г. Тюмень		г. Курган	
	В осадке КОС	В почве	В осадке ВОС	В почве	В осадке ВОС	В почве
Азот аммонийный, мг/кг	11	10,89	25	-	-	6,68
Калий, мг/кг	35,1	37,2	26	10,9	100	21,9
Натрий, мг/кг	19,2	7,5	24	8,7	810	190
Магний, мг/кг	137	13,7	18	9,8	109	118
Кальций, мг/кг	2806,8	141,1	91	35,5	562	283

Окончание таблицы 7 [20]

Показатель	Содержание					
	г. Нижневартовск		г. Тюмень		г. Курган	
	В осадке КОС	В почве	В осадке ВОС	В почве	В осадке ВОС	В почве
Хлориды, мг/кг	10,7	6,7	167	-	1608	37,9
Сульфаты, мг/кг	6142	8,46	312	7	1354	866
Нитраты, мг/кг	520	163,2	187	16,5	-	22
Фосфаты, мг/кг	-	7,5	-	99	-	-
pH	6,63	7,36	6,68	7,34	6,7	7,3

Опыты проводились в микрополевых условиях. Осадок вносили в кольца из плотного полиэтилена диаметром 25 см и высотой 20 см в дозах: 0 (контроль), 25%, 50%, 75% и 100% сухой массы осадка. В каждое кольцо было высеяно 150 семян травосмесей «Сибиряк» и «Евроспорт». Результат определения всхожести представлен на рисунке 1.

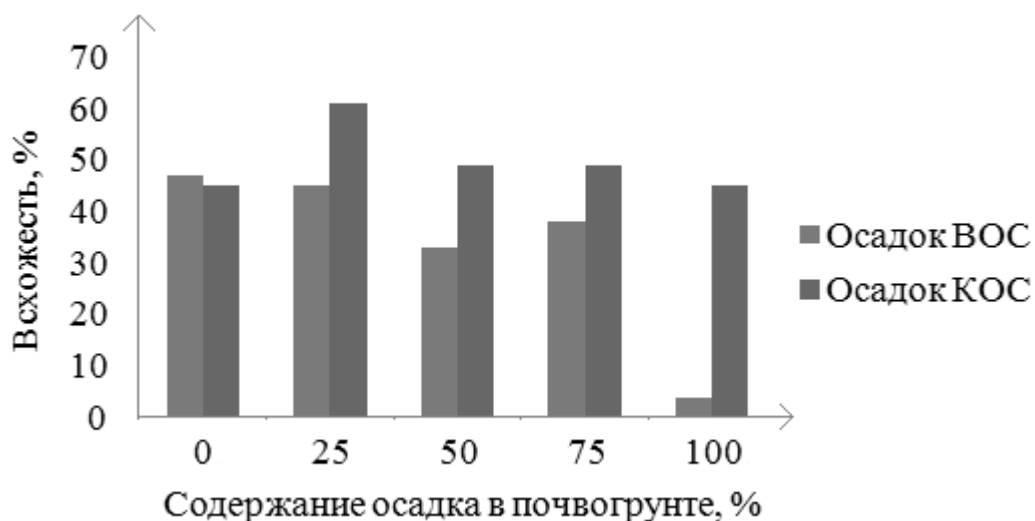


Рисунок 1 – Всхожесть семян газонной травы при использовании различных доз осадка сооружений очистки сточных вод и водоподготовки [20]

Результаты определения урожайности и высоты травы для осадков ОСК и ОСВ представлены на рисунке 2 и 3 соответственно.

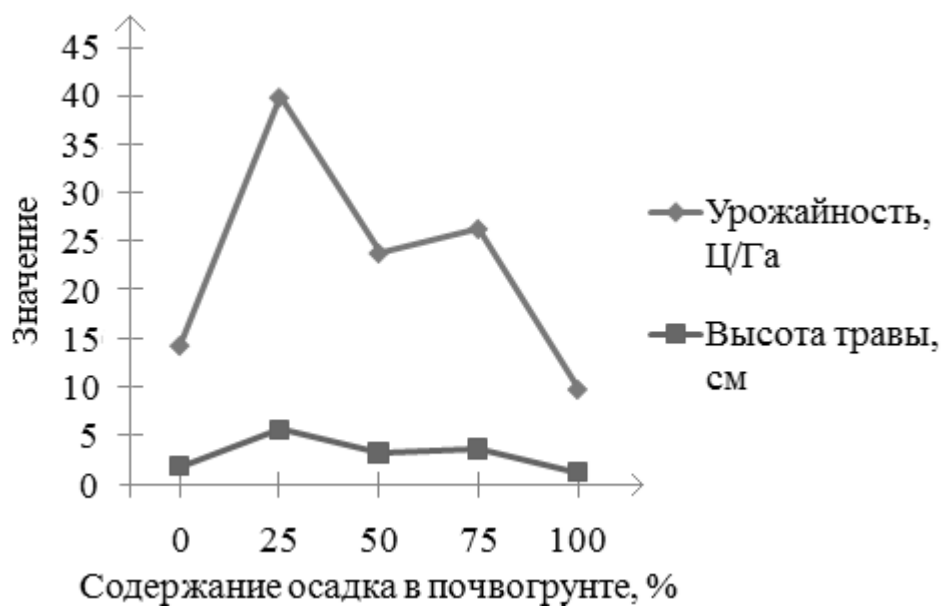


Рисунок 2 – Урожайность и высота газонной травы при использовании различных доз осадка сооружений очистки сточных вод [20]

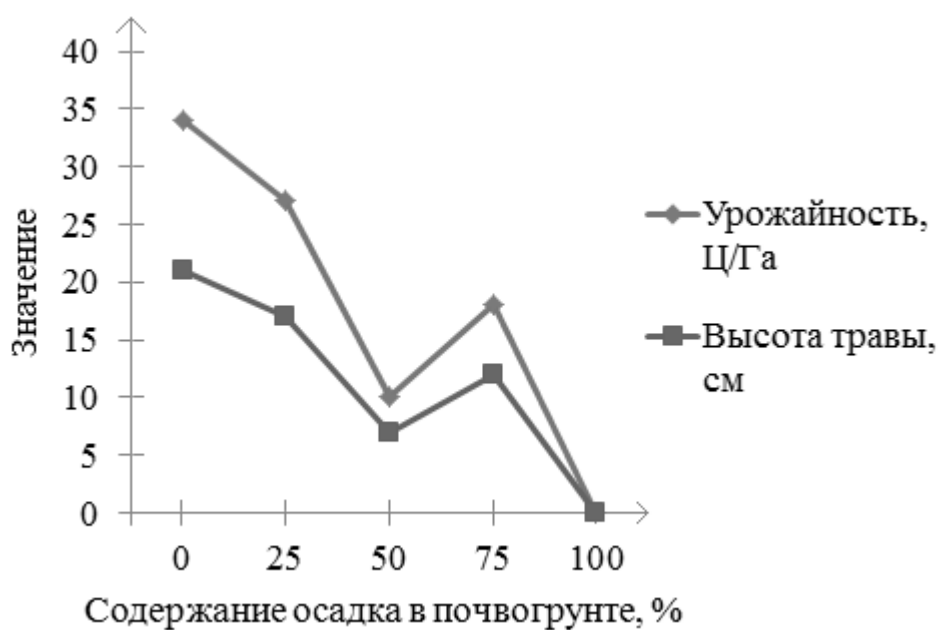


Рисунок 3 – Урожайность и высота газонной травы при использовании различных доз осадка сооружений водоподготовки [20]

Результаты, полученные в докладе для осадков ОСВ, отражены в таблице 8.

Таблица 8 – Всхожесть, высота травы и урожайность осадков ОСВ [20]

Наименование \ J*,%	0	25	50	75	100
Всхожесть, %	47	45	33	38	4
Высота травы, см	21	17	7	12	0
Урожайность, Ц/Га	33	27	10	18	0

\*J – процент содержания осадка в почвогрунте

Таким образом, самую лучшую урожайность, всхожесть и высоту травы дал почвогрунт без добавления водопроводного осадка. Его небольшое добавление (25% в почвогрунтовой смеси) незначительно понизило урожайность, всхожесть и высоту газонной травы. Авторы [20] обнаружили, что добавление осадка в почвогрунт свыше 25 % может быть не целесообразно.

## **2.5 Перспективы использования водопроводного осадка на полигонах ТБО**

Согласно [21], твёрдые бытовые отходы – отходы, образующиеся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами, а также товары, утратившие свои потребительские свойства в процессе их использования физическими лицами в жилых помещениях в целях удовлетворения личных и бытовых нужд.

К твёрдым бытовым отходам также относятся отходы, образующиеся в процессе деятельности юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и подобные по составу отходам, образующимся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами.

Полигоны ТБО – специально оборудованные сооружения, предназначенные для размещения отходов.

Рекультивация земель – комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народнохозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды в соответствии с интересами общества.

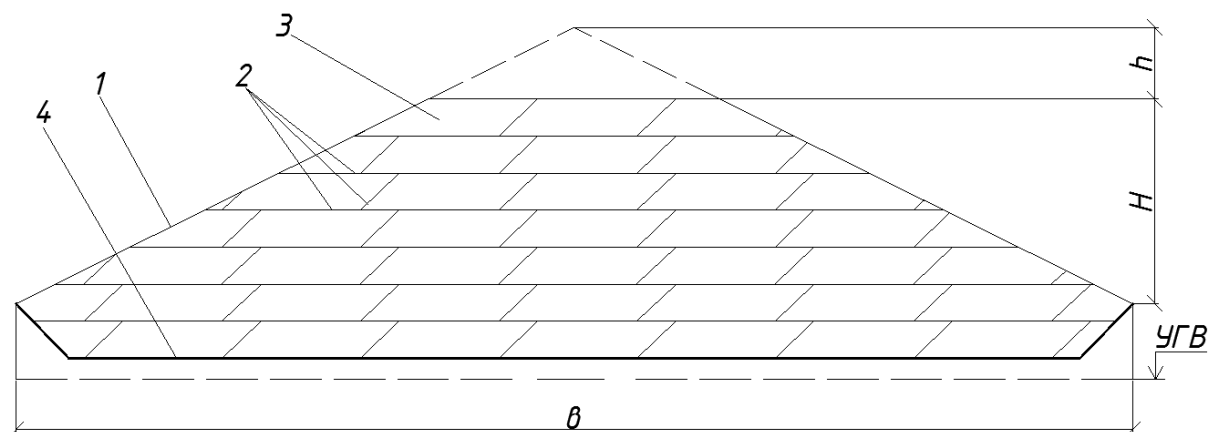


Рисунок 4 – Схематический разрез полигона ТБО [22]: 1 – наружная (окончательная) изоляция; 2 – промежуточная изоляция; 3 – ТБО; 4 – водоупорное основание; Н – высота; h – показатель снижения высоты; в – ширина; УГВ – уровень грунтовых вод

Заполнение полигона осуществляется послойным чередованием ТБО и инертных материалов (изолирующих) (с целью обеспечения перегнивая отходов, препятствию выделения вредных веществ в атмосферу и возгорания отходов) [21]. Изолирующие материалы полигонов ТБО: природный грунт, шлаки, строительные отходы, щебень и др. [23].

Участок для размещения полигона ТБО должен располагаться на территориях с уровнем залегания грунтовых вод на глубине не менее 2 м [23].

Основание и стенки ложа полигона должны состоять из гидроизолирующего материала (глинистые, грунтобитумнобетонные, асфальтобетонные, асфальтополимербетонные, полимерные, геосинтетические, тканевые и другие материалы), обеспечивающего коэффициент фильтрации (проницаемость) с объединенным эффектом не более 0,10–0,11 м/с, стойкость к механическим повреждениям не менее 1,8 кН. [21]

Используемые инертные материалы для послойного чередования отходов должны быть негорючими. [21]

После отсыпки полигона на предусмотренную высоту производится его закрытие и рекультивация. Последний слой отходов после закрытия

полигона перекрывается окончательно наружным изолирующим слоем грунта. Толщина наружного изолирующего слоя должна быть не менее 0,6 м.

Для защиты от выветривания или смыва грунта с откосов полигона необходимо озеленять их в виде террас непосредственно после укладки наружного изолирующего слоя. Выбор видов деревьев и кустарников определяется местными условиями. Использование территории рекультивированного полигона под капитальное строительство не допускается. [21]

Авторами работы [24] были исследованы показатели, оценивающие фильтрационную способность полигона ТБО на предмет принудительного нагнетания в него жидких канализационных осадков и последующего использования свалочных грунтов различной степени разложения. В качестве показателей использованы характеристики природных грунтов: пористость, влажность, предельное водонасыщение, коэффициент фильтрации.

Результаты проведенных исследований в Самарской области позволили разработать способ размещения канализационных осадков в толще полигона ТБО с учетом максимально возможной рабочей вместимости [24]. Техно-экономический расчет показал, что крупный городской полигон ТБО вместимостью 500 – 50000 тыс. м<sup>3</sup> может принимать и перерабатывать 80 – 120 тыс. м<sup>3</sup> осадков ОСК [25]. Т.е. на 1 м<sup>3</sup> полигона может приходиться 0,0024 – 0,16 м<sup>3</sup> осадков ОСК.

Использование водопроводных осадков на полигонах ТБО не противоречит требованиям, предъявляемым к изолирующим материалам. В водопроводных осадках отсутствуют тяжелые и цветные металлы, но, как и в осадках сточных вод, присутствует углерод в составе органических соединений. Наличие большого количества углерода в водопроводных осадках благоприятно сказывается на перегнивании осадков, т.е. происходит их минерализация, они становятся хорошим удобрением для растений. Осадки бытовых сточных вод в отдельных случаях также могут содержать алюминий, в частности, при совместной обработке осадков ОСВ и осадков бытовых сточных вод или при использовании коагулянтов для доочистки бытовых сточных вод. Вместе с тем осадки ОСВ отличаются высоким содержанием алюминия при использовании алюминийсодержащих коагулянтов. Алюминий, содержащийся в осадках ОСВ, снижает их

горючесть [2], поэтому перспективно применение водопроводных осадков в качестве изолирующих негорючих материалов.

Расчеты, проведенные в статье [4], показали, что в случае использования с наибольшей эффективностью биогенных элементов, содержащихся в осадках, образующихся в настоящее время на станциях водоподготовки и водоочистки г. Москвы, можно получать растительной биомассы около 130 тыс. т в год (по сухому веществу). Это позволило бы производить более 100 млн. кВт·ч электроэнергии в год. Для этой цели можно использовать площади закрываемых полигонов ТБО, загрязненные промышленными отходами пустоши, и такого же типа земли. Собираемая биомасса затем может быть переработана на биотопливо. Доля биотоплива, получаемого этим путем, в общем потреблении энергии города не столь велика, но эффект от рекультивации территорий выражается в очищении воздуха, почвы, грунтовых вод, в стабилизации микроклимата и пр.

Таким образом, водопроводный осадок можно использовать как добавку к промежуточной и наружной изоляции полигона ТБО, что позволит снизить горючесть полигона, а также будет способствовать быстрому перегниванию отходов и осадков на них.

### 3 ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКА ОСВ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Для проведения исследований были взяты образцы водопроводного осадка горизонтальных отстойников (блок № 2, 3), отобранные в весенний период.

Усредненные показатели качества воды в водохранилище в период накопления осадков следующие: мутность 4 мг/л (вода маломутная), цветность 14,3 град. (вода средней цветности), температура 5 °С.

#### 3.1 Исследование применения водопроводного осадка в составе почвогрунта

В эксперименте использовали почвогрунт универсальный «Родная земля», состав которого указан в таблице 9.

Таблица 9 – Состав почвогрунта «Родная земля»

Вещество	Содержание
Азот ( $\text{NH}_4^+$ и $\text{NO}_3^-$ )	240–350 мг/л
Фосфор	290–410 мг/л
Калий	330–470 мг/л
Кислотность рН солевой суспензии ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ )	5,4–6,6

Обезвоживание осадка осуществлялось вакуумированием на специальной установке (рис.5) при вакууме  $66,7 \cdot 10^3$  Па [26]. Далее осадок высушивали до постоянной массы при температуре  $105 \pm 2^\circ\text{C}$ .

Для исследования были подготовлены 3 пластиковые тары высотой 8 см, диаметром 15 см и площадью  $180 \text{ см}^2$ . В тару 1 поместили почвогрунт с высушенным осадком (образец 1), в тару 2 – почвогрунт с высушенным осадком, предварительно обработанным флокулянтom (0,3% флокуланта на 100 г сухого вещества осадка) (образец 2), в тару 3 – только почвогрунт (образец 3) (таблица 10). Во все тары посадили семена газонной травы «Гавриш» с высевом  $100 \text{ г/м}^2$ .



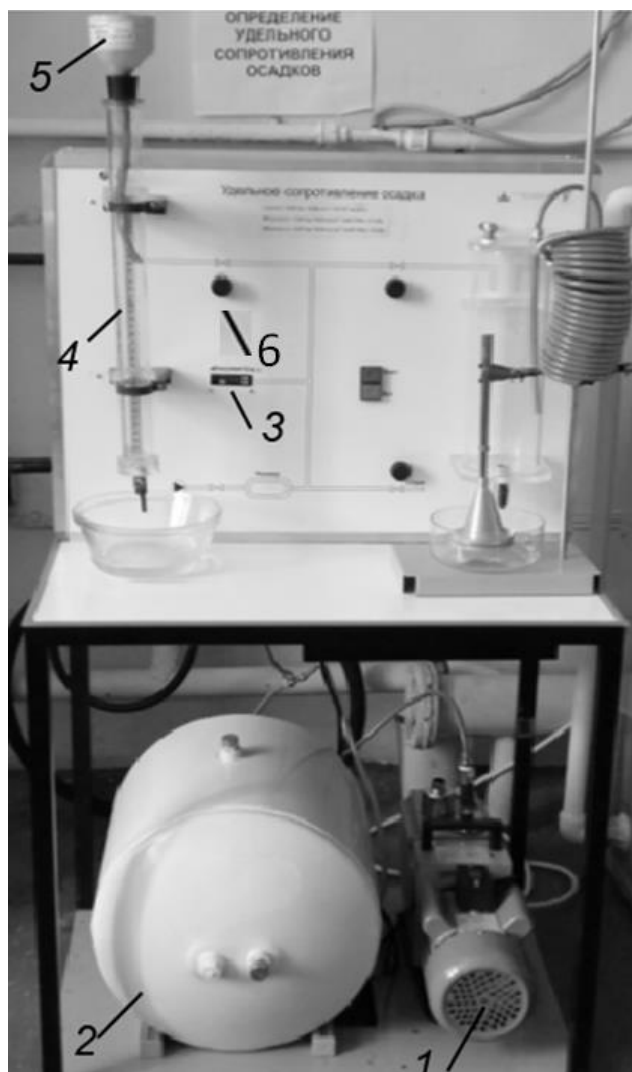


Рисунок 5 – Установка для обезвоживания осадка: 1 – вакуумный насос; 2 – ресивер; 3 – манометр; 4 – мерный цилиндр; 5 – воронка Бюхнера; 6 – запорный кран

Таблица 10 – Условия проведения эксперимента

№ образца	1	2	3 (контроль)
Наименование			
Почвогрунт, % по массе	60	60	100
Осадок без флокулянта, % по массе	40	–	–
Осадок с флокулянтом, % по массе	–	40	–
Масса тары в начале эксперимента, г	740	750	750
Доля флокулянта, % по массе	–	0,11	–

В ходе эксперимента контролировались: высота травы, масса травы, количество проросших семян.

После завершения эксперимента на 32 сутки по результатам контроля для каждого образца определили урожайность и всхожесть травы по следующим формулам:

$$Y = \frac{m_{\text{травы}}}{S_{\text{тары}}},$$

где  $Y$  – урожайность травы,  $m_{\text{травы}}$  – масса свежей травы, ц,  $S_{\text{тары}}$  – площадь тары, Га;

$$E = \frac{n}{N} \cdot 100\%,$$

где  $E$  – всхожесть травы,  $n$  – количество семян, которые взошли, шт,  $N$  – общее количество семян, шт.

В первую очередь прорастание травы было зафиксировано у образца 3 (рисунок 6). Далее начали появляться отдельные всходы у образца 1 (рисунок 7), а затем и у образца 2 (рисунок 8).

На рисунке 9 изображено состояние травы в последние сутки эксперимента.

По результатам эксперимента были построены диаграммы и графики (рисунки 10–13).

Из рисунка 11 и рисунка 12 видно, как в ходе эксперимента менялись высота и урожайность газонной травы у всех трех образцов. На графиках указаны значения всхожести травы для всех образцов, а также зависимость урожайности травы образцов 1 и 2 по сравнению с образцом 3.

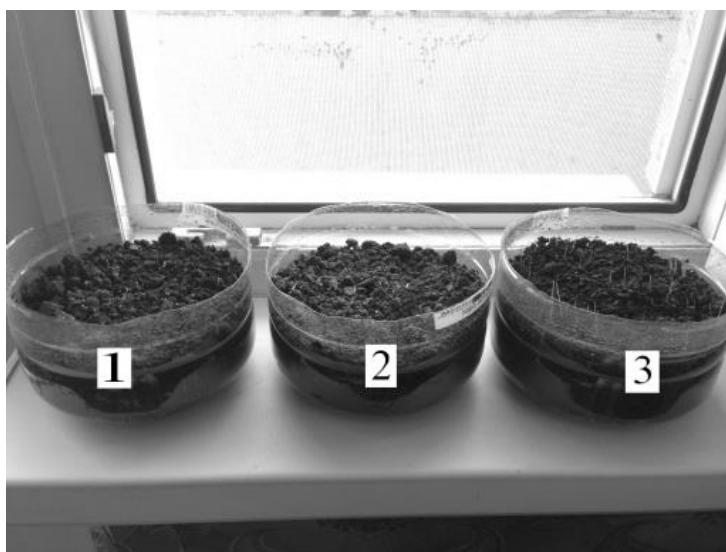


Рисунок 6 – Состояние травы в течение эксперимента на шестые сутки

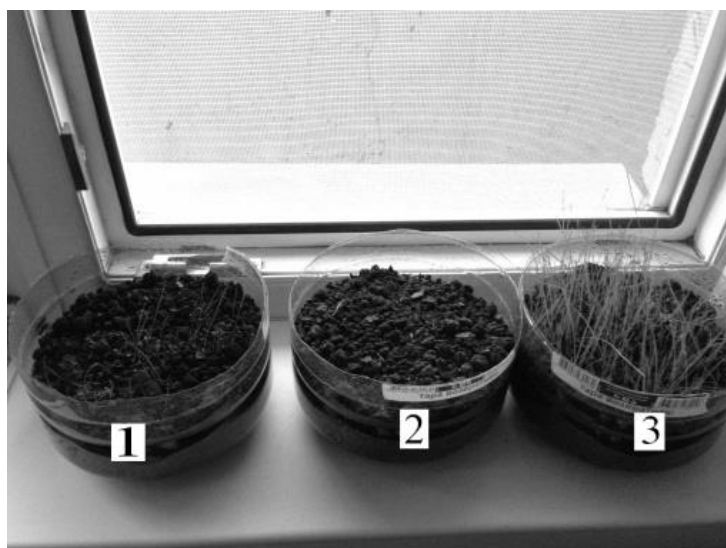


Рисунок 7 – Состояние травы в течение эксперимента на одиннадцатые сутки

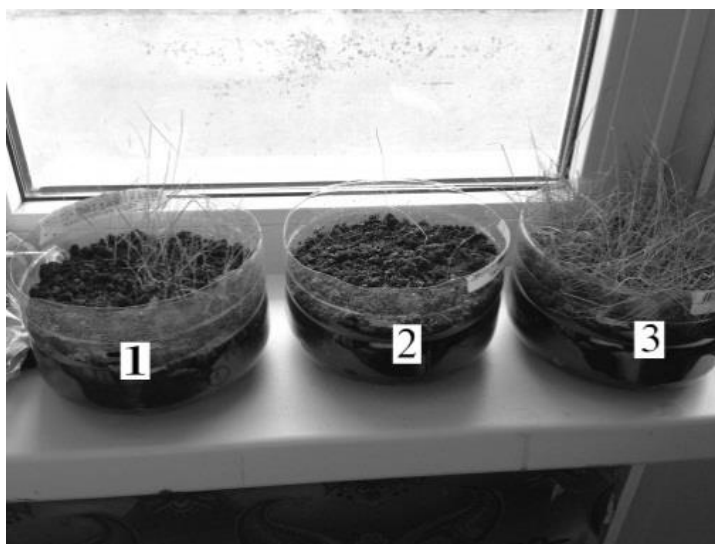


Рисунок 8 – Состояние травы в течение эксперимента на двадцать шесть  
сутки

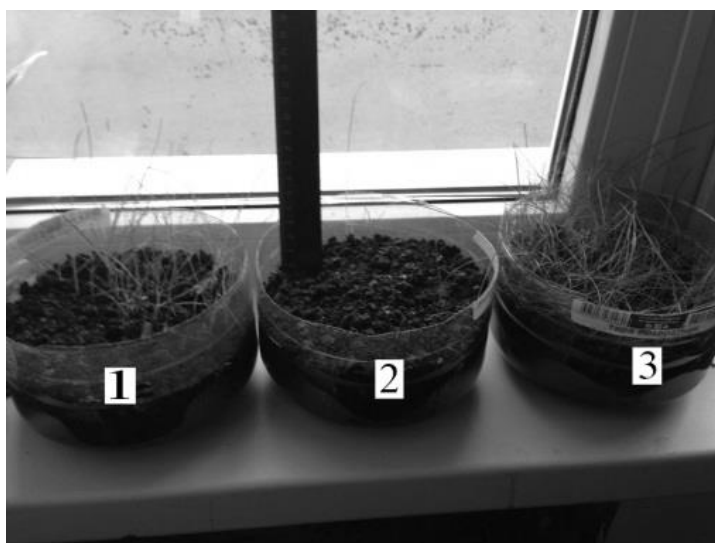


Рисунок 9 – Состояние травы на тридцать вторые сутки эксперимента

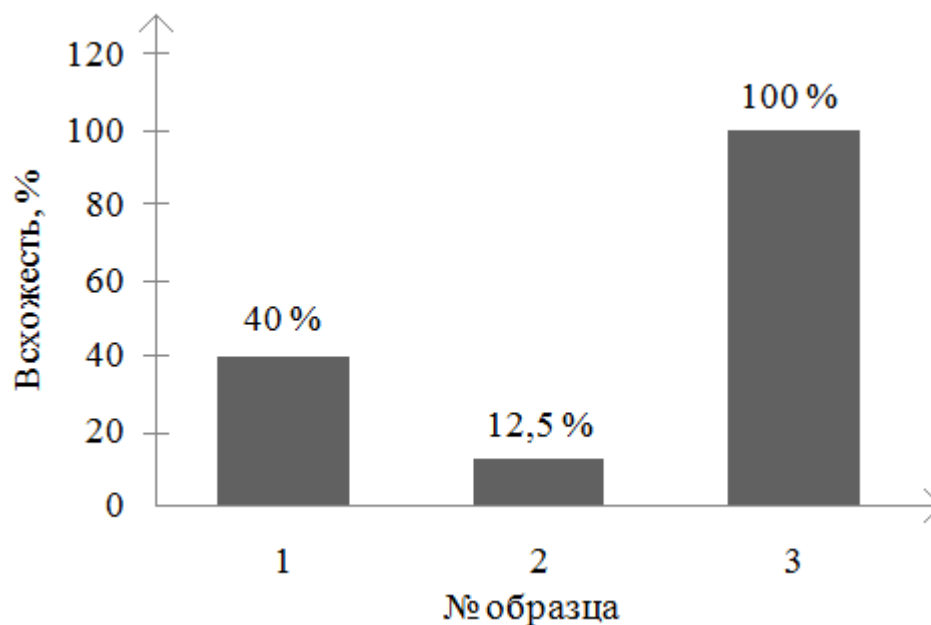


Рисунок 10 – Всхожесть газонной травы при использовании различных почвенных смесей

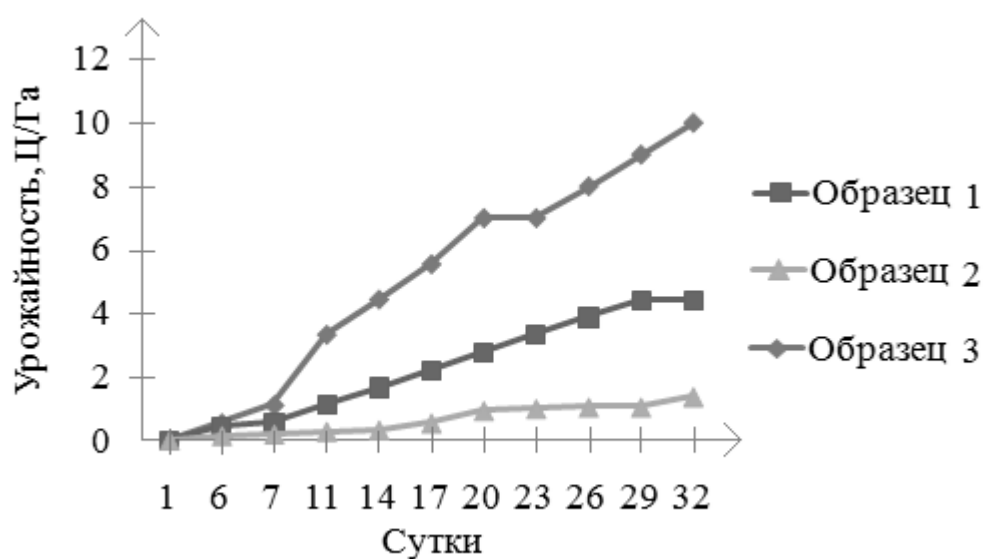


Рисунок 11 – Урожайность газонной травы при использовании различных почвенных смесей

Как оказалось, лучшей всхожестью, урожайностью обладают газонные травы без добавления водопроводного осадка (образец 3). При использовании почвогрунта с высушенным осадком (образец 1) наблюдается меньшая всхожесть и урожайность, чем в почвогрунте без осадка (образец 3). Как видно, в случае использования осадка с флокулянтom (образец 2) значения всхожести и урожайности минимальные.

Результаты, полученные в эксперименте, представлены в таблице 11.

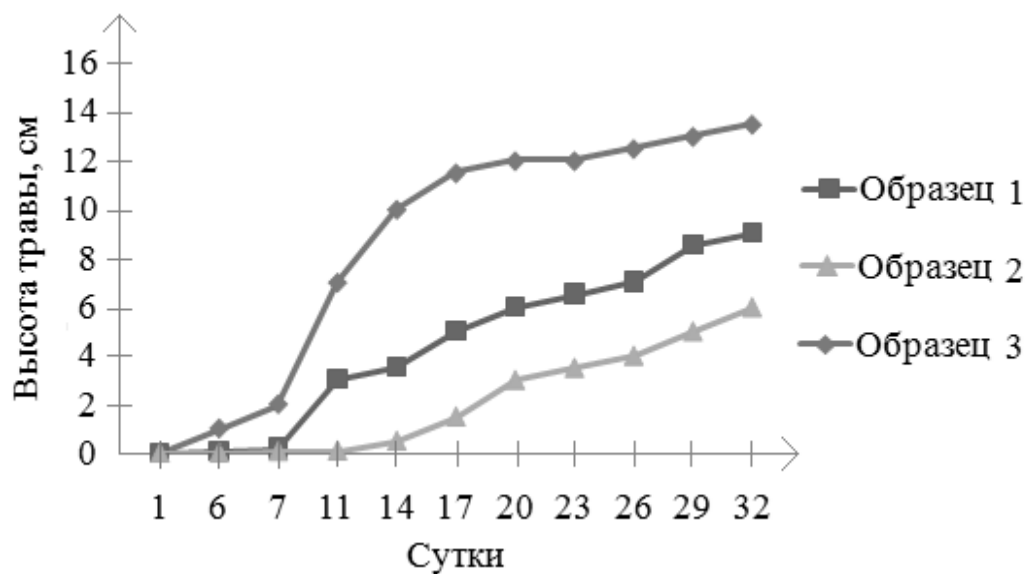


Рисунок 12 – Высота газонной травы при использовании различных почвенных смесей

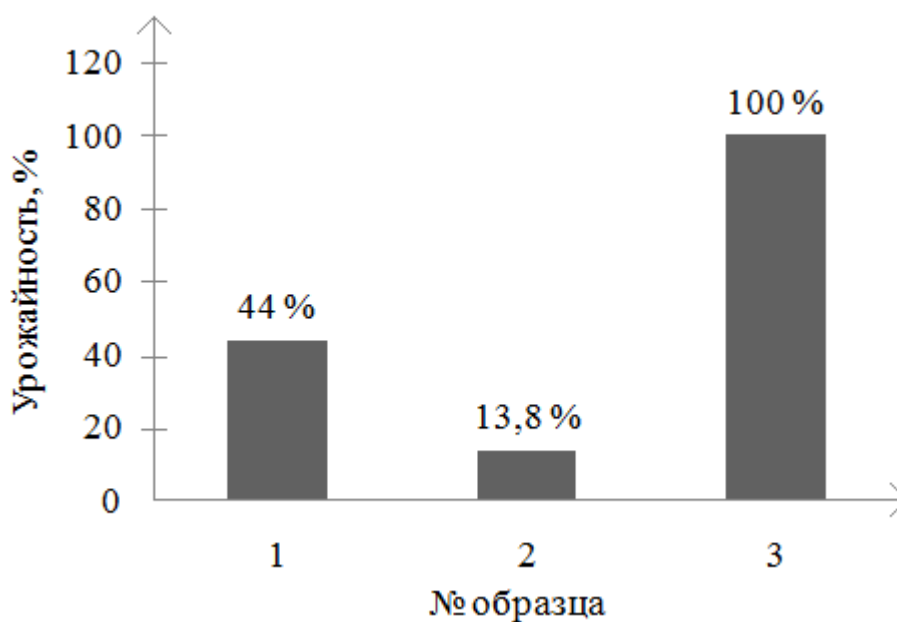


Рисунок 13 – Зависимость урожайности газонной травы (за 100 % принят образец 3)

Таблица 11 – Результаты эксперимента

№ образца	1	2	3
Наименование	1	2	3
Всхожесть, %	40	12,5	100
Высота травы, см	9	6	13,5
Урожайность, Ц/Га	4,4	1,38	10

Таким образом, почвогрунт с высушенным осадком дал урожайность 4,4 Ц/Га, всхожесть 40 %, высота травы при этом составила 9 см. Обнаружено, что в образце с осадком, обработанным флокулянтom, урожайность, всхожесть и высота травы ниже, чем в образце без флокулянта.

Для использования водопроводного осадка в зеленом строительстве рекомендуется использовать не более 40% осадка в почвогрунте и не применять обработку флокулянтom.

### **3.2 Изучение влияния фильтрата осадков ОСВ на прорастание семян пшеницы**

Объектом исследования в данном эксперименте был фильтрат водопроводного осадка.

Для эксперимента были подготовлены 3 пластиковые тары: в таре 1 находился фильтрат без флокулянта, в таре 2 – фильтрат с флокулянтom, в таре 3 – дистиллированная вода (контроль).

В состав газонных трав входят злаковые культуры, семена которых очень маленьких размеров, вследствие чего осуществление эксперимента с их участием становится трудной задачей. В качестве альтернативы были выбраны семена пшеницы, они достаточно крупные и входят в состав злаковых культур.

Для исследования каждые 3 фильтровальные бумаги предварительно смочили в соответствующем фильтрате осадка ОСВ либо в дистиллированной воде, после чего на каждую из фильтровальных бумаг по всей длине в один ряд выложили 25 семян пшеницы так, чтобы между семенами было одинаковое расстояние в 2 см (рисунок 14).

Семена пшеницы предварительно обеззараживали крепким раствором перманганата калия  $KMnO_4$  и промыли водой.

Каждый лист фильтровальной бумаги свернули в рулон и, закрепив специальной перфорированной прозрачной лентой, обеспечивающей вентиляцию, поместили в соответствующую пластиковую тару с фильтратом либо с дистиллированной водой (рисунок 15).



Рисунок 14 – Расположение семян на фильтровальной бумаге для определения энергии прорастания и энергии полной всхожести семян



Рисунок 15 – Первый день эксперимента

Эксперимент проводился в трёх параллелях. Объем жидкости в каждой таре до и после эксперимента был равен 1,3 л и поддерживался постоянным.

В таблице 12 приведены результаты эксперимента через 3 дня с определением средних значений длины ростка и корешка, энергии прорастания семян.

Энергию прорастания ( $E_{\text{прораст}}$ ) семян определяли по формуле:

$$E_{\text{прораст}} = \frac{n}{N} \cdot 100\%,$$

где  $n$  - количество проросших семян;  $N$  - общее количество семян,  $N=25$ ;

$L_{\text{ростка}}$  и  $L_{\text{корешка}}$  – средние значения длины ростка и корешка соответственно.

Таблица 12 – Показатели прорастания семян через 3 дня

	Фильтрат без флокулянта - тара 1	Фильтрат с флокулянтом - тара 2	Дистиллированная вода - тара 3
$E_{\text{прораст}}, \%$	$40,0 \pm 1,6$	$32,0 \pm 2,3$	$36,0 \pm 1,2$
$L_{\text{ростка}}, \text{см}$	$2,0 \pm 0,3$	$1,5 \pm 0,2$	$2,0 \pm 0,3$
$l_{\text{корешка}}, \text{см}$	$4,5 \pm 0,4$	$4,0 \pm 0,5$	$3,5 \pm 0,3$
n, шт	10	8	9
N, шт	25	25	25

На рисунке 16 – состояние образцов на 3-й день эксперимента перед определением энергии прорастания семян.



Рисунок 16 – Состояние образцов на третий день эксперимента

В таблице 13 приведены результаты эксперимента через 7 дней с определением средних значений длины ростка и корешка, полной всхожести семян.

Полную всхожесть ( $Z_{\text{п.всх}}$ ) семян определяли по формуле:

$$Z_{\text{п.всх}} = \frac{n}{N} \cdot 100\%,$$

где n - количество семян, которые взошли; N - общее количество семян, N=25;  $L_{\text{ростка}}$  и  $l_{\text{корешка}}$  – средние значения длины ростка и корешка соответственно.



Таблица 13 – Показатели прорастания семян через 7 дней

	Фильтрат без флокулянта – тара 1	Фильтрат с флокулянтом – тара 2	Дистиллированная вода – тара 3
$Z_{п.всх.}, \%$	56,0±0	44,0±1,7	48,0±1,2
$L_{ростка}, см$	8,5±0,8	7,5±1,1	9,0±1,5
$l_{корешка}, см$	9,0±1,3	8,5±1,6	10,0±1,25
n, шт	14	11	12
N, шт	25	25	25



Рисунок 17 – Состояние образцов на седьмой день эксперимента

Таким образом, в эксперименте самую лучшую всхожесть показали семена, находившиеся в среде с фильтратом без флокулянта ( $Z_{п.всх.}=56,0\pm 0\%$ ), несколько хуже всхожесть оказалась у семян, пророщенных в дистиллированной воде ( $Z_{п.всх.}=48,0\pm 1,2\%$ ) и самой худшей ( $Z_{п.всх.}=44,0\pm 1,7\%$ ) – в случае использования для проращивания семян фильтрата с флокулянтом, так как наличие флокулянта пагубно сказывается на показателях прорастания семян.

Результаты эксперимента по определению энергии прорастания и полной всхожести с применением пшеницы могут быть использованы для оценки этих характеристик для газонных трав, поскольку злаковые культуры являются одной из основных ее составляющих.

Эксперимент показал, что использование фильтрата водопроводного осадка с целью озеленения является эффективным.

### 3.3 Исследование водной вытяжки осадка

Проведенные исследования надосадочной жидкости образцов водопроводного осадка горизонтальных отстойников (блок № 2, 3), отобранных в весенний период, позволили определить содержание алюминия в надосадочной жидкости, образовавшейся после замораживания-оттаивания осадка. Содержание алюминия в надосадочной жидкости после оттаивания составило 1,05 мг/л.

При поливке семян, находящихся в смеси почвогрунта и водопроводного осадка, вода, прошедшая через осадок, будет представлять из себя водную вытяжку из осадка. Водная вытяжка впитывается почвой и газонной травой, которая вырастает на этой почве.

Осевший после оттаивания осадок был отделен от надосадочной жидкости декантацией и высушен до воздушно-сухого состояния. Далее из осадка была получена водная вытяжка, согласно методике, описанной в [27]. Водную вытяжку готовили из соотношения твердой фазы к жидкости – 1:10. В качестве жидкости использовали дистиллированную воду с рН 7,0 – 7,5). В эксперименте взяли 25 г сухого осадка и 250 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Смесь слабо перемешивали с помощью магнитной мешалки в течение 7 – 8 часов таким образом, чтобы твердое вещество находилось во взвешенном состоянии. Недопустимо измельчение частиц отходов или осадков при перемешивании. Используют большую лопасть механической мешалки или магнитной мешалки, а скорость перемешивания должна быть наименьшей, при которой материал поддерживается во взвешенном состоянии (не более 70 об./мин.). После окончания перемешивания раствор с осадком оставили на ночь (12 – 18 ч) для отстаивания. Затем жидкость над осадком сифонируют (откачивают). Водная вытяжка из осадков должна иметь рН = 7,0 - 8,5.

Результаты анализа водной вытяжки представлены в таблице 14.

По результатам исследования [3], содержание алюминия в сухом веществе осадка ОСВ города Челябинска составляет приблизительно 6 % по массе.

Таблица 14 – Состав водной вытяжки осадка

Показатель	Ед. измерения	Значение показателя
Алюминий	мг/л	2,6
Железо	мг/л	1,6
ОВП	мВ	-207
Общее солесодержание	мг/л	335,5
рН	–	7,68

Содержание алюминия в водной вытяжке составило 2,6 мг/л, что на 1 кг сухого осадка составляет 26 г алюминия. Т.к. содержание алюминия в осадке  $\approx 6\%$  по массе, то на 1кг сухого осадка должно приходиться 60 г алюминия. Это означает, что в данном случае из сухого осадка в вытяжку осадка вышло лишь  $\approx 50\%$  алюминия. Согласно исследованиям авторов [28], растениями усваивается лишь 10% алюминия, находящегося в сухом осадке. На 1 кг сухого осадка из 26 г алюминия растения получают лишь 2,6 г.

В исследовании по применению водопроводного осадка в составе почвогрунта каждый образец, кроме контроля, содержал 250 г сухого осадка. При изучении влияния фильтрата осадка ОСВ на прорастание семян пшеницы в каждом образце, кроме контроля, был использован фильтрат из 250 г кека. Значит, в каждом случае растения получили лишь 0,65 г алюминия, что не должно оказать пагубного воздействия на растения.

По результатам исследования [3], содержание железа в сухом веществе осадка ОСВ города Челябинска составляет приблизительно 1,6 % по массе.

В данном случае содержание железа в водной вытяжке составило 1,6 мг/л, что на 1 кг сухого осадка составляет 16 г железа. Т.к. содержание железа в осадке  $\approx 1,6\%$  по массе, то на 1кг сухого осадка должно приходиться 16 г железа. Т.е. на 1 кг кека растения могли получить не более 16 г железа.

В нашем случае растения могли получить не более 4г железа.

Согласно литературным данным [29], значения окислительно-восстановительных потенциалов почв находятся в интервале от -200 мВ до +700 мВ. В нашем случае ОВП водной вытяжки составил -207 мВ. Для выращивания сельскохозяйственных культур наиболее благоприятным является интервал значений окислительно-восстановительных потенциалов

от +400 мВ до +650 мВ. ОВП почв чрезвычайно чутко реагирует на изменение условий почвообразования, на мелиоративные мероприятия и агротехнику. Для повышения ОВП почвы можно применить: известкование кислых почв, вспашку, соорудить открытые дрены [29].

Общее солесодержание питьевой воды, согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества», не должно превышать 1000 мг/л. В нашем случае общее солесодержание водной вытяжки из осадка составило 335,5 мг/л, что не превышает ПДК для этого показателя.

Значение рН грунта «Родная земля» по данным изготовителя составляет – 5,4-6,6, что говорит о том, что среда слабо-кислая; рН водной вытяжки осадка – 7,68, что означает, что среда вытяжки нейтральная. В таблице 15 приведены значения рН почвы, благоприятные для роста растений и развития микроорганизмов.

Таблица 15 – Значения рН почвы, оптимальные для растений и микроорганизмов [29]

Растение	рН	Растение	рН
Пшеница	6,6–7,5–8,5	Картофель	5,3–8,0
Ячмень	6,1–7,2	Лен	5,0–6,0
Рожь	5,5–7,2	Табак	4,5–8,0
Овес	5,0–7,5	Хлопчатник	7,0–8,5
Просо	7,0–8,5	Соя	5,5–6,5
Кукуруза	6,0–8,5	Батат	5,5–7,0
Рис	6,0–8,7	Фасоль	7,0–8,0
Суданская трава	7,5–8,7	Горох	6,0–7,5
Люцерна	7,0–8,3	Вишня	6,5–8,5
Клевер	6,0–6,5	Табак	6,5–8,0
Овсяница обыкн.	7,5–8,5	Морковь	6,5–8,0
Донник	7,0–8,7	Брусника	6,0–7,0
Житняк	7,0–8,5	Клюква	4,5–5,5
Кострец	7,0–8,5	Слива	6,5–8,0
Растение	рН	Растение	рН
Виноград	7,0–8,7	Чайный куст	4,8–6,3
Яблоня	6,5–7,5	Грибы	3,5–6,0
Абрикос	7,0–8,5	Сахарная свекла	6,5–7,5

В результате прохождения водной вытяжки через почву рН почвы будет благоприятным для выращивания многих растений, в том числе злаковых и газонных трав.

Таким образом, анализируя водную вытяжку осадка и на основе литературных данных, можно сделать вывод о том, что водопроводный осадок может быть использован в целях озеленения города.

### **3.4 Результаты и их обсуждение**

Исследована возможность использования водопроводного осадка в условиях городской среды. Установлено, что применение водопроводных осадков без предварительной обработки флокулянтами (40% в почвогрунтовой смеси) незначительно понижает урожайность, всхожесть и высоту газонной травы. Рекомендуется добавлять не более 40% осадка в почвогрунт. Обнаружено, что применение для озеленения осадка, обработанного флокулянтами, нецелесообразно.

На основании исследования влияния фильтрата на злаковые культуры, семена которых входят в состав газонных трав, установлено, что фильтрат водопроводного осадка благоприятно влияет на прорастание их семян.

Исследование водной вытяжки осадка подтвердило возможность использования осадка ОСВ г. Челябинска в городском озеленении.

Таким образом, осадок ОСВ может быть использован для озеленения.

#### **4 ПЕРСПЕКТИВЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ПОЧВОГРУНТОВ, СОДЕРЖАЩИХ ОСАДКИ ОСВ**

Продуктивность почв – средневзвешенный выход биомассы и продукции с единицы площади с учетом биомассы и продукции всех культур, входящих в структуру посевных площадей. Гумус и биогенные элементы, содержащиеся в осадке, позволяют применять его для получения биомассы, используемой при озеленении городов и производстве технических культур [30].

Водопродонный осадок имеет агрохимические свойства, позволяющие относить его к сапропелям: достаточное содержание органического вещества, азота, фосфора, калия, благоприятный диапазон рН, однако характеризуется неблагоприятными агрофизическими свойствами (отсутствие почвенной структуры, неблагоприятный водно-воздушный режим для семян и корней, способность растрескиваться при высыхании и т.п.). Поэтому возможность использовать в зеленом хозяйстве появляется только в смеси с другими грунтами. Водопродонный осадок, являясь источником доступного для растений питания, стимулирует микробиологическое разложение торфа, что увеличивает содержание питательных веществ в почвогрунте, поддерживая его на необходимом уровне несколько лет без добавления минеральных удобрений. Осадок содержит значительное количество солей и гидроксидов алюминия, обладающих амфотерными свойствами, что позволяет почвогрунту проявлять высокую буферность по отношению к высококислотным или высокощелочным поверхностным водам городской среды. Безвредность внесения осадков в почвогрунты объясняется отсутствием в них солей тяжелых металлов и органических токсикантов [30].

Согласно литературным данным [30], эксперименты по почвенной утилизации, проводимые в Инженерно-технологическом центре ОАО "Мосводоканал", показали, что смешение водопродонного осадка(35%) Восточной станции водоподготовки с торфом(50%) и песком(15%) позволяет подготовить плодородный почвогрунт, близкий по составу и свойствам к натуральной почве.

Полученные почвогрунты были испытаны в вегетационных опытах на базе Инженерно-технологического центра ОАО "Мосводоканал" и

Ульяновского совхоза декоративного садоводства (Мосзеленхоз) (рисунки 18, 19).



а



б

Рисунок 18 – Испытание почвогрунтов в вегетационных опытах: а – выращивание в контейнерах; б – выращивание после пересадки из контейнеров [30]

Почвогрунт готовится следующим образом – на бетонную поверхность с площадки хранения исходных компонентов в соответствии с рецептурой перемещаются торф, водопроводный осадок и песок в суммарном объеме 30 м<sup>3</sup>. Перемешивание смеси исходных материалов осуществляется фронтальным погрузчиком с навесным ковшом путем

многократного (не менее 20 раз) захвата и опрокидывания смеси (рисунок 20).



Рисунок 19 – Промышленные опыты по созданию почвогрунтов [30]

Перемешивание осуществляется до полного смешения исходных материалов, полнота смешения определяется визуально. Перемешивание и дробление почвогрунта, полученного после первичного перемешивания исходных материалов, осуществляется путем его пропускания через ковшовую дробилку ALLU DS 3-23, установленную на фронтальном погрузчике. Затем уже готовый почвогрунт перемещается на площадку хранения.





Рисунок 20 – Площадка производства почвогрунта [30]

Готовый почвогрунт обладает высоким плодородием, что неоднократно подтверждалось в вегетационных опытах с различными культурами (газонные злаки, цветочные и древесные культуры), имеет привлекательный для потребителя внешний вид. Утилизация в составе 1 м<sup>3</sup> почвогрунта 0,35 м<sup>3</sup> водопроводного осадка делает производство экономически выгодным и экологически рациональным для ОАО "Мосводоканал". Почвогрунт сбалансирован по элементам минерального питания и гранулометрическому составу. В составе почвогрунта содержится 17-20% органического вещества; 0,4-0,6% общего азота; 200-250 мг/кг подвижного калия (по K<sub>2</sub>O); 100-150 мг/кг подвижного фосфора (по P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); 15-17% частиц размером менее 0,01 мм. По химическому и санитарно-эпидемиологическому состоянию почвогрунт соответствует требованиям ГН 2.1.7.020-094 (гигиенические нормы), ГН 2.1.7.2042-06, ГН 2.1.7, СанПиН 2.1.17.1287-03, Московской системы добровольной сертификации "Экологичные почвогрунты" (сертификат соответствия № 0157).

Одно из наиболее востребованных направлений использования вермикулита – улучшение структуры почв [3]. В качестве присадочного материала на ОСВ используют вермикулит. Это легкий тонкодисперсный материал со слоистой структурой, который не изменяет заряда частиц осадка, но формирует крупнопористую структуру, препятствующую сжатию кека в процессе фильтрования. Это позволяет частично побороть неблагоприятные агрофизические свойства водопроводного осадка.



Рисунок 21 – Пример использования почвогрунтов в зеленом хозяйстве г.Москвы [30]

Россия обладает собственной богатейшей сырьевой базой вермикулита, в Челябинской области расположено Потанинское месторождение вермикулита (Вишневогорский массив Каслинского района).

Состав вермикулита (таблица 16) близок к составу осадка ОСВ г. Челябинска, но отличается пониженным содержанием углерода, повышенным содержанием железа и наличием элемента титана [3].

Таблица 16 – Состав вермикулита [3]

Элемент	% по массе	Элемент	% по массе
C	18,02	Mn	0,16
O	58,24	S	0,06
Al	3,58	Mg	2,52
Si	6,03	К и Na	2,56
Fe	6,95	P	0,08
Ca	0,81	Ti	1,00

Таким образом, осадок ОСВ в своем составе содержит органические вещества, азот, фосфор, калий, а также имеет благоприятный диапазон pH, но характеризуется неблагоприятными агрофизическими свойствами. Однако увеличение продуктивности почвогрунтов, содержащих осадки ОСВ, можно достичь смешением водопроводного осадка в определенном соотношении с торфом и с песком. Также для улучшения структуры почв можно применять кондиционирование осадков ОСВ с помощью вермикулита.

## **5 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НАПРАВЛЕНИЮ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОПРОВОДА Г. ЧЕЛЯБИНСКА**

Проведенные исследования и их результаты показали, что водопроводный осадок г. Челябинска может быть использован для озеленения города. Почвогрунт, полученный добавкой высушенного осадка (40% осадка и 60% почвогрунта «Родная земля») дал урожайность 4,4 Ц/Га, всхожесть 40 %. Для использования водопроводного осадка в городской среде рекомендуется применять не более 40% осадка в почвогрунте. Следует смешивать водопроводный осадок с торфом и песком в определенном соотношении, а также использовать вермикулит при кондиционировании осадков ОСВ для улучшения структуры почв.

Семена, находившиеся в среде с фильтратом осадка, показали самую лучшую всхожесть – на 8% большую, чем у семян, пророщенных в дистиллированной воде.

Результаты исследования показали, что осадок, обработанный флокулянтами, использовать не рекомендуется.

Использовать водопроводный осадок г. Челябинска в зеленом строительстве можно только в смеси с другими грунтами. Перспективой в увеличении продуктивности почвогрунтов, содержащих осадки ОСВ, является смешение водопроводного осадка с торфом и с песком в соотношении: 35:50:15 соответственно. Водопроводный осадок стимулирует микробиологическое разложение торфа, что увеличивает содержание питательных веществ в почвогрунте, поддерживая его на необходимом уровне несколько лет без добавления минеральных удобрений. Также одним из методов, позволяющих утилизировать осадок ОСВ г. Челябинска в городском благоустройстве, является применение вермикулита в качестве присадочного материала при кондиционировании осадка ОСВ. Вермикулит, как и песок, улучшает агрофизические свойства почвогрунтов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализированы сведения о составе осадка и его свойства. Показано, что существующая схема сброса водопроводных осадков ОСВ г. Челябинска в городскую систему канализации для совместной обработки со сточными водами имеет ряд недостатков.

Рассмотрены направления использования осадков ОСВ. Выявлено, что он может быть использован для регенерации коагулянтов, в производстве строительных материалов, в сельском хозяйстве для рекультивации земель, в зеленом строительстве, а также на полигонах ТБО.

Исследованы и проанализированы направления утилизации водопроводных осадков в условиях городской среды. Установлено, что для использования водопроводного осадка в городской среде рекомендуется использовать не более 40% осадка в смеси с почвогрунтом. Также установлено положительное влияние фильтрата осадка ОСВ на всхожесть злаковых. Таким образом, фильтрат осадка, входящий в состав почвенной влаги, благоприятно влияет на формирование травянистого покрова. Вместе с тем, результаты исследования показали, что осадок, обработанный флокулянтами, использовать не рекомендуется.

Перспективой увеличения продуктивности почвогрунтов, содержащих осадки ОСВ, является смешение водопроводного осадка в определенном соотношении с торфом и с песком. Применение вермикулита в качестве присадочного материала при кондиционировании осадка ОСВ улучшает агрофизические свойства почвогрунтов.

С целью рационального использования осадка ОСВ г. Челябинска приведены рекомендации по его утилизации в зеленом строительстве.

Научная новизна и практическая значимость работы: предлагается альтернатива в использовании водопроводного осадка – его утилизация в зеленом строительстве.

Результаты работы опубликованы:

1. Сидоров И.С. Использование осадка очистных сооружений водопровода г. Челябинска в условиях городской среды / И.С. Сидоров, М.Ю. Белканова // Водоснабжение, водоотведение и системы защиты

окружающей среды. V Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: статьи и тезисы. – УФА, 2018. – С. 11–17.

## Библиографический список

1. Любарский, В.М. Осадки природных вод и методы их обработки / В.М. Любарский. – М.: Стройиздат, 1980. – 129 с.
2. Янин, Е.П. Осадок водопроводных станций (состав, обработка, утилизация) / Е.П. Янин // Экологическая экспертиза. – 2010. – № 5. – С. 3–45.
3. Белканова, М.Ю. Исследование свойств осадков очистных сооружений водопровода и методов их кондиционирования / М.Ю. Белканова – Челябинск: ЮУрГУ, 2017. – 101 с.
4. Щеголькова, Н.М. Осадки станций водоподготовки и водоочистки: проблема или бизнес-проект? / Н.М. Щеголькова // Вода magazine. – 2015. – № 9. – С. 28–33.
5. Babatunde, A.O. Constructive approach towards water treatment works sludge management: an international review of beneficial re-uses // A.O. Babatunde, Y.O. Zhao // Critical Reviews in Environmental Science and Technology. – 2008. – № 37. – P. 129–164.
6. Козловская, С.Б., Преимущества бессточных схем водопроводных очистных сооружений /С.Б. Козловская, Е.Б. Сорокина // Коммунальное хозяйство городов: Научно-технический сборник. – № 74. – 2007. – С. 58– 64.
7. Белканова, М.Ю. Способы повышения водоотдающей способности осадков природных вод / М.Ю. Белканова, Е.В. Николаенко // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей [Электронный ресурс] / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, А.К. Стрелкова; СГАСУ. – Электронные текстовые и графические данные (11,7 Мбайт). – Самара, 2016. – С. 296–300.
8. Шевцов, М.Н. Особенности обработки осадков водопроводных сооружений г. Хабаровска / М.Н. Шевцов, М.О. Носенко // Водоснабжение и санитарная техника. – 2007. – № 6, ч. 2. – С. 58–62.
9. Verlicchi, P. Reuse of drinking water treatment plants sludges in agriculture: problems, perspectives and limitations / P. Verlicchi, L. Masotti.  
[http://www.sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/VERLICCHI%20and%20Masotti%20ny%20Reuse%20of%20Sludges%20in%20Agriculture.pdf](http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/VERLICCHI%20and%20Masotti%20ny%20Reuse%20of%20Sludges%20in%20Agriculture.pdf) – Доступ свободный.

10. Пахомов, А.Н. Исследование и практическая реализация процесса обезвоживания осадков водопроводных станций / А.Н. Пахомов, В.Н. Штопов, Д.А. Данилович // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004. – № 12. – С. 25–31.
11. Жмаков, Г.Н. Промышленный опыт совместной обработки водопроводных и канализационных осадков на очистных сооружениях канализации // [http://www.rusnauka.com/NTSB\\_2006/Stroitelstvo/7\\_zhmakov%20g.n.%20\(2\).doc.htm](http://www.rusnauka.com/NTSB_2006/Stroitelstvo/7_zhmakov%20g.n.%20(2).doc.htm)
12. Запольский, А.К. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: Свойства. Получение. Применение / А.К. Запольский, А.А. Баран Л.: Химия, 1987. – 208 с.
13. Круглова, З.Г. Исследование возможности регенерации солей алюминия из осадков отстойников Северной водопроводной станции Московского водопровода / З.Г. Круглова, Ю.Б. Багоцкий // Водоснабжение и санитарная техника, 1974, № 1, с. 3–5.
14. Любарский, В.М. Осадки природных вод и методы их обработки / В.М. Любарский. – М.: Стройиздат, 1980. – 129 с.
15. Гироль, Н.Н. Обработка технологических стоков и утилизация осадков станций очистки питьевых вод / Н.Н. Гироль, А.Н. Гироль, Б.Н. Якимчук и др. // <http://www.c-o-k.com.ua/content/view/764>
16. Шевченко, Л.Я. Предотвращение загрязнений поверхностных водоисточников отходами водопроводных станций // J. Environ. Engineering and Landscape Management, 2005, XIII, № 2, p. 97a-102a // <http://www.vtu.lt/english/editions>.
17. Опыт сертификации // <http://www.bifar.ru/main/sertif/opit.aspx>.
18. Шевченко, Е.Г. Обработка промывных вод и осадков водопроводных сооружений. - Новочеркасск: НГТУ, 1993. – 44 с.
19. Мерзлая, Г.Е. Применение осадков водопроводных станций на удобрение / Г.Е. Мерзлая, Р.А. Афанасьев // <https://www.agroxxi.ru/journal/199905/199905008.pdf>.
20. Косаурова, Д.В. Использование осадков водопроводных и канализационных очистных сооружений в зеленом строительстве / Д.В. Косаурова, Л.И. Максимов, А.Ю. Коева // Земля, вода, климат Сибири и

- Арктики в XXI веке: проблемы и решения : сб. докл. XVI Междунар. науч.-практ. конф. - Тюмень, 2014. - С. 123–126
21. СП 13330.2016 «Полигоны твердых бытовых отходов проектирование, эксплуатация и рекультивация».
22. «Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов», – Утверждена Министерством строительства Российской Федерации 5 ноября 1996 г.
23. СП 2.1.7.1038-01 «Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов».
24. Чертес, К.Л. Размещение осадков сточных вод в толще полигона твердых бытовых отходов / К.Л. Чертес, А.М. Штеренберг, М.В. Назаров, О.В. Тупицына, Е.В. Михайлов, Д.Е. Быков // Экология и промышленность России. 2009. № 1. С. 39 – 41.
25. Чертес, К.Л. Утилизация осадков сточных вод на объектах размещения отходов / К.Л. Чертес, Е.В. Михайлов, О.В. Тупицына, А.С. Малиновский // Экология и промышленность России. 2008. № 5. С. 36 – 40.
26. Обработка и утилизация осадков водопроводных очистных станций // <http://eprints.ksame.kharkov.ua/872/8/4.doc>.
27. «Приготовление водной вытяжки из осадков сточных вод» – Утверждено Федеральной службой по надзору в сфере природопользования. – Москва, 2014.
28. Joanna Kluczka, Maria Zołotajkin, Jerzy Ciba, Magdalena Staroń. Assessment of aluminum bioavailability in alum sludge for agricultural utilization, Environmental Monitoring and Assessment, 2017, 422.
29. Сеницына, Н.Е. Физико-химические свойства почв (интерактивный курс): Учебное пособие /сост.: Н.Е. Сеницына, Т.И. Павлова, Т.В. Холкина. – Саратов: Изд – во., 2012.- 97 с.
30. Выход из экологического тупика. Инновационная технология утилизации водопроводного осадка в ОАО «Мосводоканал» // <http://www.mosvodokanal.ru/forexperts/articles/6572>.