

Научная статья

УДК 581.5; DOI: 10.61260/1998-8990-2024-4-190-201

## НОВАЯ КОМПОЗИЦИЯ ПЛОДОРОДНОГО ПОЧВОГРУНТА

✉ **Силинский Виктор Алексеевич.**

**Вологодский государственный университет, г. Вологда, Россия.**

**Соколов Леонид Иванович.**

**Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе,**

**Москва, Россия**

✉ [viktor.silinsky@yandex.ru](mailto:viktor.silinsky@yandex.ru)

*Аннотация.* Исследованы свойства почвогрунта, полученного рециклированием осадка, образующегося на водопроводных очистных сооружениях при водоочистке. Разработана новая растительно-плодородная масса из торфа, речного песка и осадка с добавлением хлопковой пыли. Структура почвогрунта устойчива к воздействиям неблагоприятных механических и физико-химических природных факторов, рекомендована для озеленения территорий парков и газонов в городских условиях агрессивной среды, для засыпки свалок с коммунальными отходами, для укрепления береговых и прибрежных территорий рек и водоемов, а также при производстве плодородных грунтов в садово-огородных и городских хозяйствах, при выращивании овощных, ягодных и цветочных культур в теплицах. Созданный и испытанный в реальных климатических условиях почвогрунт расширяет ассортимент плодородно-питательных смесей, основан на использовании вторичного и природного сырья, не сложен в приготовлении. Рассчитана величина общего предотвращенного экологического ущерба от загрязнения земель осадками водоподготовки, вывозимыми на городскую свалку.

*Ключевые слова:* водоподготовка, осадок, почвогрунт, торф, пыль хлопка, влажность, всхожесть

**Для цитирования:** Силинский В.А., Соколов Л.И. Новая композиция плодородного почвогрунта // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 4 (72). С. 190–201. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-4-190-201.

Scientific article

## A NEW COMPOSITION OF FERTILE SOIL

✉ **Silinskiy Victor A.**

**Vologda state university, Vologda, Russia.**

**Sokolov Leonid I.**

**Russian state geological exploration university named after Sergo Ordzhonikidze, Moscow, Russia**

✉ [viktor.silinsky@yandex.ru](mailto:viktor.silinsky@yandex.ru)

*Abstract.* The properties of the soil obtained by recycling sediment formed at water treatment plants during water treatment have been studied. A new vegetable-fertile mass of peat, river sand and sediment with the addition of cotton dust has been developed. The structure of the soil is resistant to the effects of adverse mechanical and physico-chemical natural factors, recommended for landscaping parks and lawns in urban environments, for filling landfills with municipal waste, for strengthening coastal and coastal areas of rivers and reservoirs, as well as in the production of fertile soils in horticultural and urban farms, when growing vegetable, berry and flower crops in greenhouses. Created and tested in real climatic conditions, the soil soil expands the range of fertile and nutritious mixtures, is based on the use of secondary and natural raw materials, is not difficult to prepare. The value of the total prevented environmental damage from land pollution by precipitation of water treatment exported to the municipal landfill is calculated.

*Keywords:* water treatment, sediment, soil, peat, cotton dust, moisture, germination

**For citation:** Silinsky V.A., Sokolov L.I. A new composition of fertile soil // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2024. № 4 (72). P. 190–201. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-4-190-201.

## Введение

Проблемы антропогенного загрязнения и деградации почв имеют важное значение для городских территорий. Городские территории находятся под постоянным воздействием интенсивных нагрузок антропогенного характера, что приводит к разрушению, загрязнению, деградации почв, а также утративанию естественного формирования и сохранения растительного покрова [1]. Почвенные покровы городских территорий должны быть устойчивыми к загрязняющим веществам и изменениям pH под воздействием кислот и щелочей. Сильно загрязненные плодородные слои необходимо полностью заменить естественными или искусственными почвами [2, 3]. Опыт рекультивации городских почв показал, что смеси торфа и минералов без добавления других органических компонентов характеризуются тем, что торф содержит в основном неокисляемое органическое вещество, быстро сохнет, образует пыль и содержит малое количество легкодоступных минеральных солей [4, 5].

Решением проблемы истощенных от загрязнения городских почв является использование плодородных масс, созданных на основе осадка водоочистных сооружений, для их рекультивации [5]. Осадок, образующийся на водоочистных сооружениях после отстаивания природной воды, обладает агрохимическими свойствами: достаточное содержание органического вещества, азота, фосфора и калия, нейтральный диапазон pH, но имеет неблагоприятные агрофизические свойства (отсутствие почвенной структуры, неблагоприятный водно-воздушный режим для семян и корней, подверженность растрескиванию при высыхании). Поэтому его использование в земледелии возможно только в смеси с другими почвами [6]. Водопроводный осадок, содержащий большое количество солей и гидроксида алюминия с амфотерными свойствами, является полезным источником питательных веществ для растений и обладает высокой буферной способностью по отношению к сильнокислой или сильнощелочной поверхности почвы в городских условиях. Образующийся на водоочистных сооружениях осадок характеризуется отсутствием в нем солей тяжелых металлов и органических токсинов, что подтверждается протоколами анализа осадка (в частности осадка вологодских очистных сооружений, протокол № 189.14.0 от 31 марта 2019 г.), поэтому смешение его с почвами носит безвредный характер. По содержанию токсичных элементов, пестицидов, радионуклидов, бензапирена, нефтепродуктов водопроводный осадок соответствует санитарно-эпидемиологическим требованиям СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», а также удовлетворяет требованиям СанПиН 2.1.17.1287–03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почв».

Для решения проблем минимизации образования отходов и улучшения экологической ситуации в работе изучается возможность использования осадка, образующегося при очистке природных вод, в качестве компонента плодородной массы с использованием доступного сырья, например, отходов переработки хлопка в виде хлопковой пыли.

Ожидаемый технический результат исследований – создание новых почвенных композиций на основе природных ресурсов – торфа, речного песка, а так же вторичных ресурсов в виде осадка водопроводных очистных сооружений и хлопковой пыли (рис. 1). Исследуемые почвенные составы пригодны для выращивания плодово-ягодных кустов, саженцев деревьев в питомниках, зеленых насаждений в виде газонов, озеленения спортивных площадок и дорожных откосов, обладают расширенным набором питательных веществ и высокими противозерозионными свойствами [6–8].

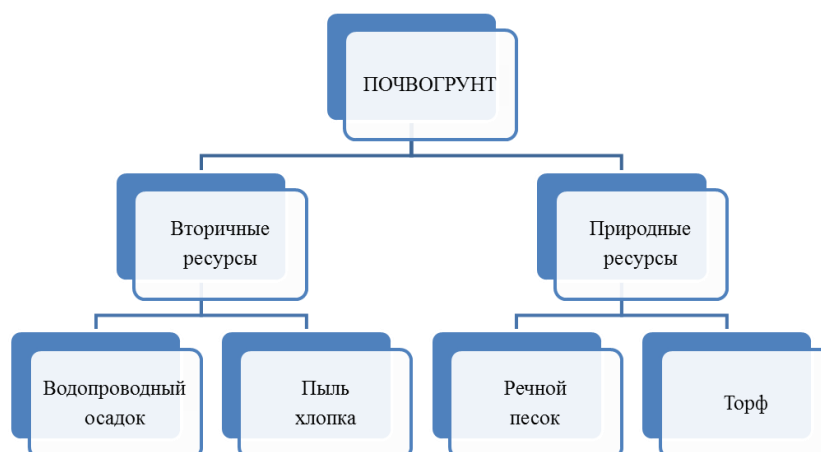


Рис. 1. Схема создания почвогрунта

Для достижения поставленных целей были определены и решены следующие задачи:

– определить соотношение компонентов в сформированном грунте;

– определить влияние состава почвенных компонентов на всхожесть семян тест-культуры.

### Материалы и методы исследования

Для проведения эксперимента были подготовлены следующие компоненты: осадок водопроводных очистных сооружений, торф глубинный, карьерный речной песок, пыль хлопка.

Основные компоненты исследуемого почвогрунта, а так же их свойства представлены в табл. 1.

Таблица 1

#### Компоненты почвогрунта

| Компонент почвогрунта | Свойства компонента   |
|-----------------------|---|
| Речной песок          | Основа почвенно-грунтовой смеси   |
| Торф                  | Источник гумуса   |
| Водопродный осадок    | Природный аналог сапропеля, содержит до 40 % плодородного гуминового вещества |
| Хлопковая пыль        | Обладает гигроскопичностью, регулирует влажность почвы                        |

Исследуемый водопродный осадок был отобран на очистных сооружениях водопровода г. Вологды. Осадок, отобранный из отстойных резервуаров станции повторного использования осадка, имел влажность 98 %. На станцию повторного использования осадок поступает от промывки скорых фильтров и продувки отстойников.

Забор проб торфа был произведен на глубине 1,5–2 м из торфяника, расположенного неподалеку от карьера «Чугла», расположенного в Тарногском районе Вологодской обл.

Забор песка производился в карьере «Чугла», расположенного в Тарногском районе Вологодской обл. Песок был процежен через специальное сито с размерами ячеек 1–2 мм.

Пыль хлопка с кондиционной влажностью от 1,3 до 3,5 % и объемным весом 0,09 г/см<sup>3</sup> была отобрана от ткацких и прядильных станков Вологодского текстильного комбината, расположенного в г. Вологде.

Первоначально были изучены свойства составляющих почвогрунт компонентов. Для микроскопических исследований использовался микроскоп CELESTRON.

На втором этапе проводили изучение действия осадка в сочетании с хлопковой пылью в вегетационном опыте методом проростков по ГОСТ 12038–84. Схема опыта представлена в табл. 2.

Таблица 2

Схема опыта

| № пробы | Составляющие компоненты пробы |              |                      |             | Соотношение компонентов |
|---------|-------------------------------|--------------|----------------------|-------------|-------------------------|
| 1       | Торф                          | Речной песок |                      |             | 1:1                     |
| 2       | Торф                          | Речной песок | Водопроводный осадок |             | 5:5:1                   |
| 3       | Торф                          | Речной песок | Водопроводный осадок | Пыль хлопка | 5:4:2:0,1               |
| 4       | Торф                          | Речной песок | Водопроводный осадок | Пыль хлопка | 4:3:3:0,2               |
| 5       | Торф                          | Речной песок | Водопроводный осадок | Пыль хлопка | 3:4:3:0,1               |

Тест-культура – семена для создания декоративного газона («универсальный газон») с составом трав: фестулолиум – 10 %, овсяница луговая – 10 %, райграс однолетний – 30 %, тимофеевка луговая – 10 %, овсяница тростниковая – 10 %, райграс пастбищный – 30 %. Ванны с соответствующим почвогрунтом для проращивания помещали в климатостат марки КС-200 СПУ. Опыт проводили в пятикратной повторности. Семена проращивались при температуре 20 °С с заданной программой смены «дня» и «ночи».

Для выявления эффективности использования водопроводного осадка, добавленного в состав почвогрунта, были сделаны пробные посадки семян газонной травы. В чаши-ванны с номерами от 1 до 5 был уложен почвогрунт, состоящий из смеси с различными пропорциями торфа, песка, пыли хлопка и водопроводного осадка с влажностью 98 %. Для выявления самой эффективной смеси почвогрунта в каждую ванну было высажено одинаковое количество семян, ежедневно производилась их поливка одинаковым объемом воды в одних и тех же условиях выращивания. Наблюдение за всхожестью травы проводилось на седьмой и пятнадцатый день. На седьмые сутки изымали по три ванны с грунтом каждого варианта. Отмывали корневую систему проростков, подсчитывали число корешков и проводили биометрические замеры: длина и масса корневой системы, длина и масса проростков. На пятнадцатые сутки после посева семян биометрические замеры повторялись с оставшимися ваннами, где оценивалась с фотофиксацией масса корневой системы и масса проростков. Содержание микроэлементов в почвогрунте и его составляющих в опытах определяли на плазменном атомно-абсорбционном спектрометре «ConterAA 300» с атомизацией в пламени и атомно-абсорбционном спектрометре «МГА 915» с электротермической атомизацией.

Для статистической обработки результатов исследований применяли дисперсионный анализ данных эксперимента с использованием программы Microsoft Excel 2010.

### Результаты исследования и их обсуждение

Исследуемые составы проб почвы (табл. 2) хорошо впитывали и удерживали влагу, имея в своей структуре капиллярные и некапиллярные пустоты. Капиллярные пространства хорошо впитывают воду, а некапиллярные пространства заняты воздухом. Таким образом, почвы, в которых присутствуют и вода, и воздух, сохраняют свою структуру в течение длительного времени [8, 9].

Осадок, образующийся при водоподготовке питьевой воды на очистных сооружениях водопровода, представляет собой гелеобразную структуру. Компонентный состав водопроводного осадка представлен продуктами гидролиза химических реагентов, комплексом минеральных веществ (частицы глинистых отложений, мелкозернистый песок, карбонатные породы, нерастворимые или плохо растворимые соли металлов) и органические вещества (иловые отложения, фитопланктон и зоопланктон, различные микроорганизмы и бактерии, водные организмы) в совокупности. Дисперсный состав осадка представлен крупными минеральными и органическими частицами размером более 3 мм. Содержание сухого вещества в осадке составляет 0,4–0,5 %, минеральных примесей (нерастворимых остатков) в виде песчано-глиняной смеси – 2–15 %, потери в муфельной печи – более 70 %.

Содержание органического углерода в сухом веществе осадка варьировало от 13 до 21 % в пользу углеродного питания растений, причем максимальные значения приходились на периоды повышенного содержания гуминовых веществ в осадке и составляли большую часть органического загрязнения. Количество оксида кремния  $\text{SiO}_2$  в осадке варьировало в пределах 5–8,5 % от массы сухого вещества. Микрофотографии исследованных проб осадка представлены на рис. 3.

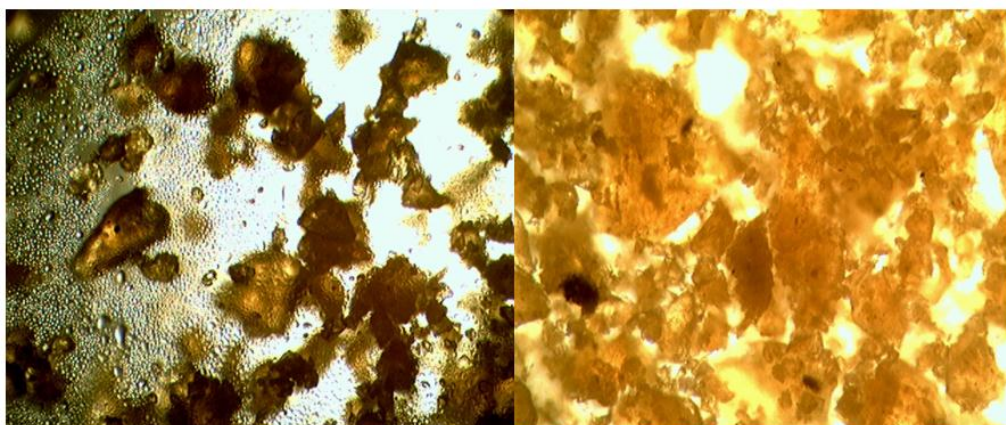


Рис. 3. Водопроводный осадок (в четырехкратном увеличении)

Отобранный для проведения исследований осадок после очистки природных вод содержал: 13,14 % песка, 3,1 % алюминия, 42 % органического вещества, 0,8 % железа, 2,12 % азота и 0,03 % фосфора. Содержание калия составляло около 0,08 % ( $\text{K}_2\text{O}$ ). Влажность осадка, образующегося при отстаивании на скорых фильтрах с песчаной загрузкой в отстойниках и камерах хлопьеобразования, составила 97 % (рис. 4).

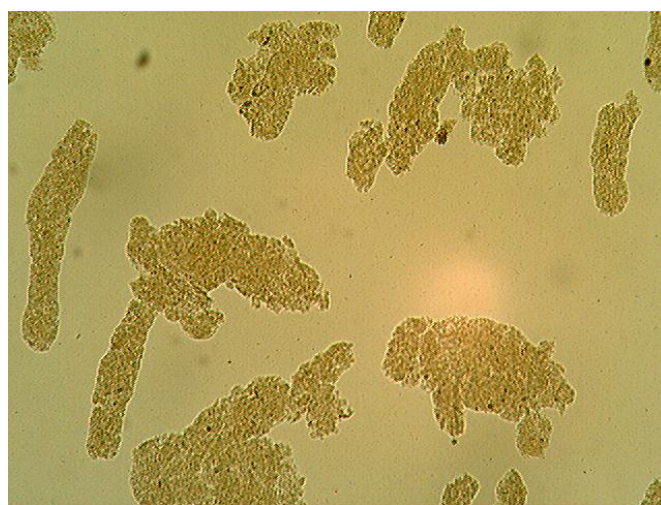


Рис. 4. Осадок от промывки скорых фильтров (в десятикратном увеличении)

В качестве грунтового основания использовался крупнозернистый речной песок (рис. 5).

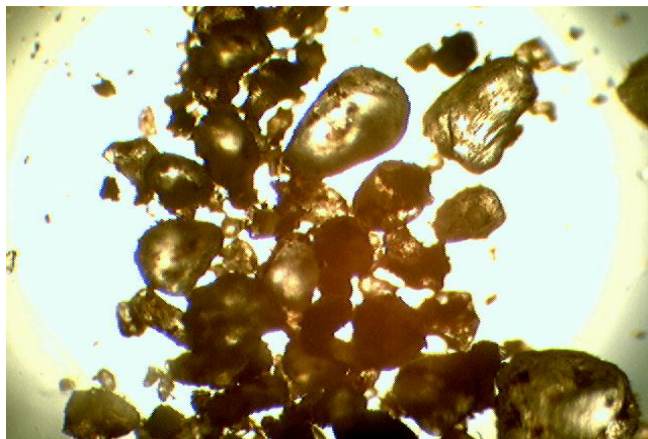


Рис. 5. Речной песок (в четырехкратном увеличении)

Торф характеризуется содержанием большого количества органических веществ – соединений гуминовых кислот. Он также не содержит патогенов и обладает антисептическими свойствами. Для подготовки почвы использовался торф влажностью 40–60 % (рис. 6).

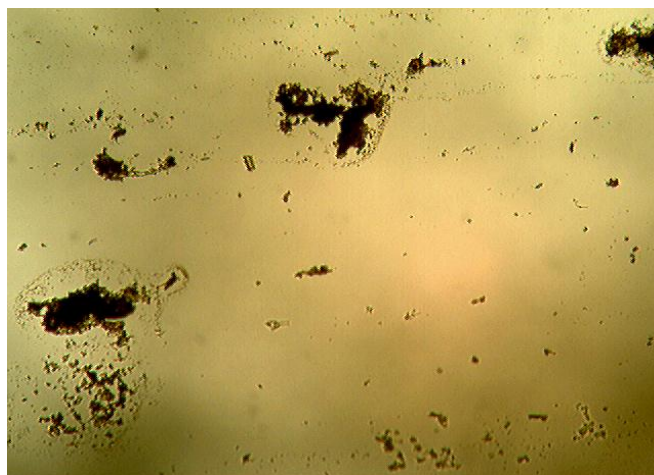


Рис. 6. Торф влажностью 60 % (в десятикратном увеличении)

В экспериментах по приготовлению почвогрунта роль регулятора его влажностного режима выполняла хлопковая пыль. Микрофотографии пыли хлопка представлены на рис. 7.

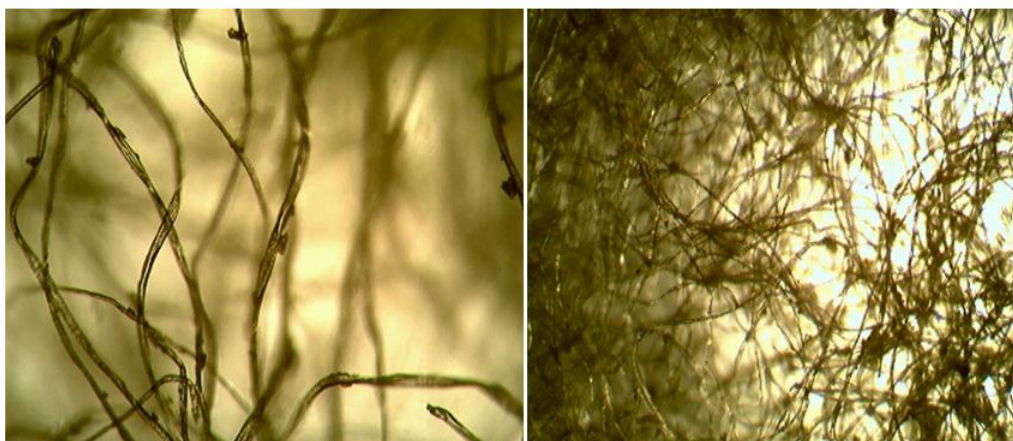


Рис. 7. Пыль льна (десятикратное увеличение)

Хлопковая пыль является источником необходимых для растений питательных веществ, доступных в процессе минерализации, богата соединениями органики (целлюлоза, лигнин и пектин). Благодаря капиллярной структуре своих волокон, накапливает и отдает влагу в зависимости от внешней влажности. Зольность хлопковой пыли составляет 9,0–9,3, а значение pH – 6,7–6,9. Анализируемая пыль состояла из 93,8 % целлюлозы, 3,4 % пектина, 0,6 % лигнина, 0,7 % воскоподобного вещества, 1,3 % влаги и минерального вещества. Пробы добавляемой пыли содержали волокна длиной 4–21 мм и толщиной 19–24 мкм. В результате проведенного эксперимента установлено, что смешение хлопковой пыли с водопроводным осадком (в соотношении 1 к 10) снизило значение pH осадка с исходного 6,7 до 6,4, а также зольность с 32 % до 9,32 %.

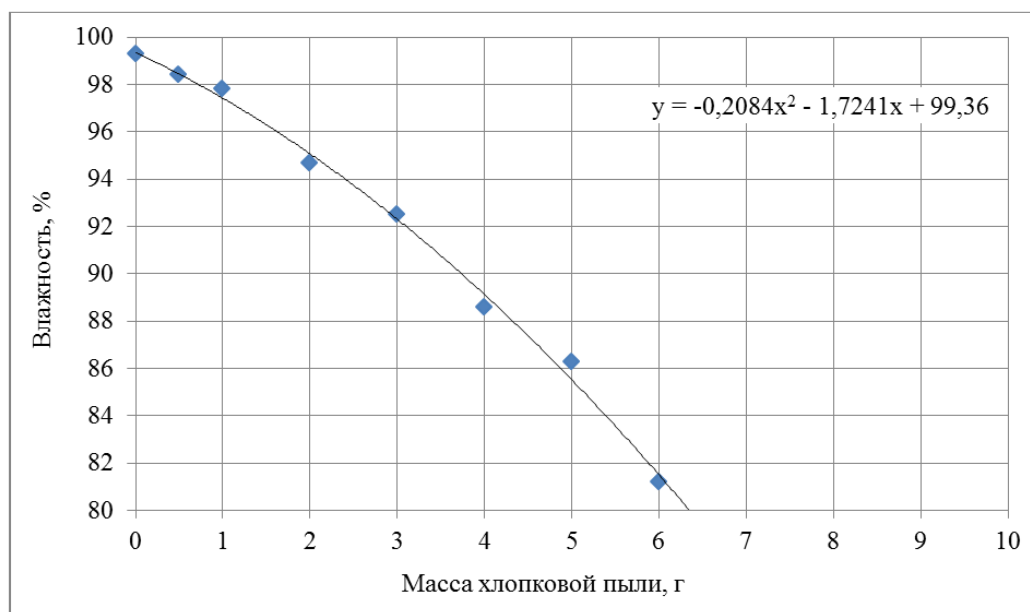


Рис. 8. Зависимость влажности водопроводного осадка от массы добавленной пыли хлопка

Результаты опыта по выращиванию тест-культуры представлены в табл. 6.

Таблица 6

#### Результаты выращивания тест-культуры

| Варианты  | Всхожесть, % |              | Число корешков, шт. | Длина корневой системы, мм | Длина проростков, мм |
|-----------|--------------|--------------|---------------------|----------------------------|----------------------|
|           | На 7-й день  | На 20-й день |                     |                            |                      |
| Проба № 1 | 24           | 90           | 6                   | 55                         | 130                  |
| Проба № 2 | 39           | 79           | 8                   | 32                         | 105                  |
| Проба № 3 | 36           | 77           | 5                   | 75                         | 105                  |
| Проба № 4 | 48           | 98           | 7                   | 60                         | 125                  |
| Проба № 5 | 13           | 61           | 4                   | 14                         | 90                   |

Образование почвенных комков разного размера при добавлении осадка к песку и торфу свидетельствовало об активном процессе структурообразования. Таким образом, результаты исследования подтверждают перспективность использования осадка водоочистных сооружений в качестве компонента почвы.

На рис. 9 представлены образцы исследуемого состава почвогрунта, засеянного семенами тестовой культуры.



Рис. 9. Исходные образцы

Спустя семь суток после посадки семян газонной травы проводилось их наблюдение – замеры корневой системы, длины проростков, количество взошедших семян. Результаты фотофиксации представлены на рис. 10.



Рис. 10. Всхожесть семян на седьмые сутки

На пятнадцатые сутки повторно фиксировали длину проростков и корневой системы. Также наблюдали, как ведут себя исследуемые образцы почв. Результаты представлены на рис. 11, 12.

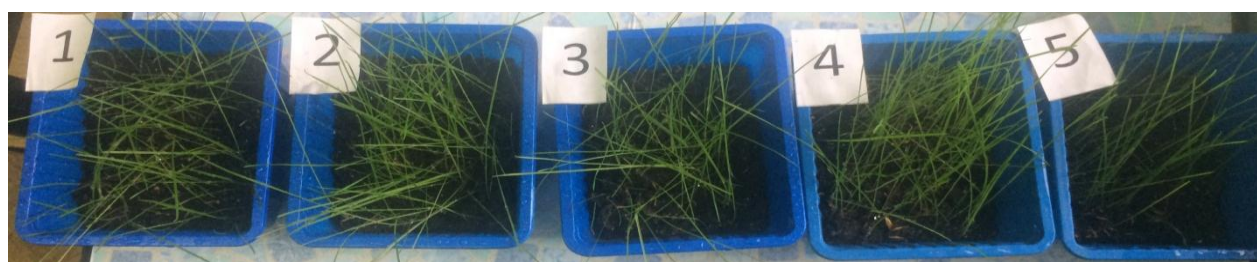


Рис. 11. Всхожесть семян на пятнадцатые сутки



Рис. 12. Исследование корневой системы



Низкое содержание металлов в осадке водоочистных сооружений, указанное в протоколе анализа № 189.14.0 от 31 марта 2019 г., может быть использовано в качестве компонента для снижения концентрации токсичных веществ в почве. В то же время металлы, содержащиеся в осадке, являются микроэлементами для растений.

Газоны, созданные из полученной плодородной массы, продемонстрировали высокую устойчивость к засухе в условиях экстремально сухого лета. Посеянные саженцы не погибли без полива и быстро восстановились после первого дождя.

Таким образом, разработанная плодородная масса может быть использована для выращивания растений и озеленения газонов, спортивных площадок и откосов дорог. Почва обладает хорошей противоэрозионной защитой и высокой буферной способностью к неблагоприятным условиям городской среды, что позволяет использовать более разнообразные питательные смеси для растений.

Рекомендуемый состав почвы позволяет дольше сохранять структуру почвы на газонах, в том числе на спортивных площадках, что снижает эксплуатационные расходы. Семена растений могут быть включены в состав почвенно-грунтовой смеси для сокращения времени создания газона.

Разработанная технология позволяет одновременно решить несколько важных экологических проблем в городских агломерациях:

- сокращение площади свалок за счет утилизации отходов водоочистных сооружений;
- снижение затрат на транспортировку почвы из региона в город;
- снижение техногенного загрязнения и деградации почв за счет получения достаточного количества кондиционированного грунта.

Также актуальным является недопущение экологических рисков, связанных с загрязнением и сокращением площадей продуктивных земель и, как результат, загрязнением поверхностных и подземных вод. Поэтому в исследованиях проводилась оценка величины предотвращенного экологического ущерба от загрязнения земельных ресурсов водопроводным осадком, безопасно рециклированным в почвогрунт.

Осадки от водоподготовки и очистки сточных вод, накапливаясь в отвалах, на свалках, полигонах, оказывают негативное воздействие на земельные ресурсы. Экологический ущерб от воздействия отходов очистки сточных вод и осадков водоподготовки будет выражаться в деградации почв, загрязнении земель химическими веществами и несанкционированными свалками за счет нерегламентированного размещения влажных отходов от очистки сточных вод и от водоподготовки.

Оценку величины предотвращенного экологического ущерба от деградации почв и земель проводили с учетом методики и реальных затрат предприятия по размещению водопроводного осадка, образующегося на водопроводных очистных сооружениях г. Вологды и вывозимого на несанкционированную свалку в городской черте на ул. Мудрова.

Стоимость размещения на территории свалки одной тонны осадка составляет 4 109 руб. За один календарный год на свалку вывозится 308,6 т влажного водопроводного осадка. Физическая форма осадка – шлам. Плата водоканала г. Вологды составляет 1268037,4 руб. в год.

Предотвращенный экологический ущерб наступает в результате связывания водопроводного осадка в плодородный грунт, а значит, прекращается его вывоз на несанкционированную свалку в г. Вологде. Рассчитаем величину предотвращенного экологического ущерба от деградации почв и земель.

Нормативная цена за квадратный метр земельных участков в составе земель промышленности, энергетики, транспорта и земель иного специального назначения на территории Вологодской обл. составляет 747,9 руб./м<sup>2</sup>. Площади почв и земель, сохраненных от деградации (S) за счет использования водопроводного осадка в качестве основы почвогрунта, составили 1,7 га (17 000 м<sup>2</sup>).

Поскольку рассматриваемая территория относится к Вологодской обл., то коэффициент экологической ситуации и экологической значимости территории (Кэ) принимается равным 1,14. Величина предотвращенного ущерба от деградации почв и земель на территории размещения водопроводного осадка – свалке, составит:

$$U_{np\delta} = 747,9 \cdot 17000 \cdot 1,14 = 14494,302 \text{ тыс. руб./год.}$$

Рассчитаем величину предотвращенного экологического ущерба от загрязнения земель химическими веществами.

В ходе исследований было выявлено, что в составе водопроводного осадка содержатся алюминий, органические вещества, ионы железа, азот и фосфор, но их концентрации не превышают требований. По содержанию токсичных элементов, пестицидов, радионуклидов, 3,4 бенз(а)пирена, нефтепродуктов водопроводный осадок также соответствует требованиям СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» и СанПиН 2.1.17.1287–03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почв». В этой связи повышающий коэффициент за предотвращение (ликвидацию) загрязнения земель несколькими химическими веществами принимаем равным 1. Тогда предотвращенный ущерб составит:

$$U_{np\chi} = 747,9 \cdot 17000 \cdot 1,14 = 14494,302 \text{ тыс. руб./год.}$$

Рассчитаем величину предотвращенного экологического ущерба от захламления земель.

Площадь земель, на которых удастся предотвратить захламление отходами очистки воды, составила 17 000 м<sup>2</sup>.

Величина предотвращенного ущерба от захламления земель составила:

$$U_{np\epsilon} = 747,9 \cdot 17000 \cdot 1,14 = 14494,302 \text{ тыс. руб./год.}$$

Общую величину предотвращенного ущерба от ухудшения и разрушения почв и земель на несанкционированной свалке за отчетный период времени определяли суммированием всех видов предотвращенных ущербов. В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 13 сентября 2016 г. № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах» полученное значение  $U_{np}$  умножается на коэффициент 1,26, установленный для 2023 г.  $U_{np} = 43482,906 \text{ тыс. руб./год.}$

Общий предотвращенный ущерб (дополнительным коэффициентом на 2023 г.) составит  $U_{общ.npr} = 54788,4616 \text{ тыс. руб./год.}$

Как видно из представленных расчетов, реальная плата предприятия за размещение водопроводных осадков на свалке значительно ниже экологического ущерба, наносимого земельным ресурсам в случае неиспользования осадка в составе почвогрунта.

## Заключение

Исследуя свойства компонентов почвогрунта, установлено, что при смешении песка, торфа, осадка водоочистных сооружений, обезвоженного хлопковой пылью, происходит активное структурообразование. Разработанный плодородный грунт имеет прочную физическую структуру и устойчив к неблагоприятным климатическим воздействиям. Грунт предлагается использовать для создания парковых и газонных насаждений городских территорий, откосов насыпей в дорожном строительстве, стабилизации почвы и выращивания многолетних растений, укрепления береговых линий вдоль рек и водохранилищ, производства плодородной почвы в городских хозяйствах, тепличного овощеводства, выращивания фруктов

и цветов в теплицах. Созданная растительно-плодородная масса почвогрунта расширяет ассортимент грунтовых смесей, проста в приготовлении, а также позволяет утилизировать осадок станций водоподготовки. Сумма предотвращенного ущерба от ухудшения и разрушения почв и земель на несанкционированной свалке отходами от водоподготовки за отчетный период времени составит 54788,4616 тыс. руб./год.

### Список литературы

1. Sandor J., Burras C.L., Thompson M. Factors of soil formation Human Impacts // Encyclopedia of Soils in the Environment. 2005. P. 520–532. DOI: 10.1016/B0-12-348530-4/00032-1.
2. Soil Science Fundamentals Exam Performance Objectives Soil Science Society of America's Council of Soil Science Examiners // Soil Science Society of America. 2018. 33 p.
3. Stefan D.K., Gural S.T. The Composition of Soils and Sediments // Green Chemistry. An Inclusive Approach. 2018. P. 339–357. DOI: 10.1016/B978-0-12-809270-5.00014-5.
4. Doula M.K., Sarris A. Soil Environment // Environment and Development Basic Principles, Human Activities, and Environmental Implications. 2016. P. 213–286. DOI: 10.1016/B978-0-444-62733-9.00004-6.
5. Olson K.R. Factors of soil formation – Parent Material // Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Encyclopedia of Soils in the Environment. 2005. P. 532–535. DOI: 10.1016/B0-12-348530-4/00005-9.
6. Likos W.J., Jaafar R. Laboratory fall cone testing of unsaturated sand // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2014. № 140 (8). P. 141–152.
7. Poulomi C., Manoj K. Floral Species in Pollution Remediation and Augmentation of Micrometeorological Conditions and Microclimate: An Integrated Approach // Phytomanagement of Polluted Sites Market Opportunities in Sustainable Phytoremediation. 2019. P. 203–219. DOI: 10.1016/B978-0-12-813912-7.00006-5.
8. Почвогрунт: пат. 2734674 RU / Л.И. Соколов, С.В. Колобова, В.А. Силинский; патентообладатель Вологодский государственный университет; заявл. 21.05.2020; опубл. 21.10.2020, Бюл. № 30.
9. Лысов В.А., Бутко Д.А., Рыльцева Ю.А. Изучение перспективы использования осадка водопроводных станций г. Ростова-на-Дону в качестве почвогрунтов // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2013. № 4 (12). С. 33–37.

### References

1. Sandor J., Burras C.L., Thompson M. Factors of soil formation Human Impacts // Encyclopedia of Soils in the Environment. 2005. P. 520–532. DOI: 10.1016/B0-12-348530-4/00032-1.
2. Soil Science Fundamentals Exam Performance Objectives Soil Science Society of America's Council of Soil Science Examiners // Soil Science Society of America. 2018. 33 p.
3. Stefan D.K., Gural S.T. The Composition of Soils and Sediments // Green Chemistry. An Inclusive Approach. 2018. P. 339–357. DOI: 10.1016/B978-0-12-809270-5.00014-5.
4. Doula M.K., Sarris A. Soil Environment // Environment and Development Basic Principles, Human Activities, and Environmental Implications. 2016. P. 213–286. DOI: 10.1016/B978-0-444-62733-9.00004-6.
5. Olson K.R. Factors of soil formation. – Parent Material // Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Encyclopedia of Soils in the Environment. 2005. P. 532–535. DOI: 10.1016/B0-12-348530-4/00005-9.
6. Likos W.J., Jaafar R. Laboratory fall cone testing of unsaturated sand // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2014. № 140 (8). R. 141–152.
7. Poulomi C., Manoj K. Floral Species in Pollution Remediation and Augmentation of Micrometeorological Conditions and Microclimate: An Integrated Approach // Phytomanagement of Polluted Sites Market Opportunities in Sustainable Phytoremediation. 2019. P. 203–219. DOI: 10.1016/B978-0-12-813912-7.00006-5.

8. Pochvogrunt: pat. 2734674 RU / L.I. Sokolov, S.V. Kolobova, V.A. Silinskij; patentoobladatel' Vologodskij gosudarstvennyj universitet; zayavl. 21.05.2020; opubl. 21.10.2020, Byul. № 30.

9. Lysov V.A., Butko D.A., Ryl'ceva Yu.A. Izuchenie perspektivy ispol'zovaniya osadka vodoprovodnyh stancij g. Rostova-na-Donu v kachestve pochvogruntov // Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i arhitektura. 2013. № 4 (12). S. 33–37.

#### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 07.06.2024; одобрена после рецензирования: 28.08.2024; принята к публикации: 24.10.2024

#### **The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 07.06.2024; approved after review: 28.08.2024; accepted for publication: 24.10.2024

#### *Информация об авторах:*

**Силинский Виктор Алексеевич**, аспирант кафедры теплогазоводоснабжения Инженерно-строительного института Вологодского государственного университета (160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15), e-mail: [viktor.silinsky@yandex.ru](mailto:viktor.silinsky@yandex.ru), SPIN-код: 4560-4277

**Соколов Леонид Иванович**, главный научный сотрудник Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (127238, Москва, Локомотивный проезд, д. 21); профессор кафедры «Строительство систем и сооружений водоснабжения и водоотведения» Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (117997, Москва, ГСП-7, ул. Миклухо-Маклая, д. 23), доктор технических наук, профессор, e-mail: [sokolovli@mail.ru](mailto:sokolovli@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9635-8389>, SPIN-код: 3010-5480

#### *Information about the authors:*

**Silinskiy Viktor A.**, postgraduate student of the department of heat and gas supply of the Institute of civil engineering of Vologda state university (160000, Vologda, Lenin str., 15), e-mail: [viktor.silinsky@yandex.ru](mailto:viktor.silinsky@yandex.ru), SPIN: 4560-4277

**Sokolov Leonid I.**, chief researcher at the scientific research institute of building physics of the Russian academy of architecture and building sciences (127238, Moscow, Lokomotivny proezd, 21); professor of the department «Construction of water supply and sanitation systems and structures» of the Russian state geological exploration university named after Sergo Ordzhonikidze (117997, Moscow, GSP-7, Miklukho-Maklaya str., 23), doctor of technical sciences, professor, e-mail: [sokolovli@mail.ru](mailto:sokolovli@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9635-8389>, SPIN: 3010-5480