

Исследование свойств новых почвогрунтов, полученных с применением осадков станций водоподготовки

К. Е. ХРЕНОВ¹, М. Н. КОЗЛОВ², Н. М. ЩЕГОЛЬКОВА³, А. Я. ВАНЮШИНА⁴, В. А. ГРАЧЕВ⁵

¹ Хренов Константин Евгеньевич, первый заместитель генерального директора МГУП «Мосводоканал»
105005, Россия, Москва, Плетешковский пер., 2, тел.: (499) 263-93-64, e-mail: khrenov@mosvodokanal.ru

² Козлов Михаил Николаевич, кандидат технических наук, начальник Управления новой техники и системного развития,
МГУП «Мосводоканал»

Тел.: (499) 263-93-64, e-mail: kozlov@mosvodokanal.ru

³ Щеголькова Наталия Михайловна, доктор биологических наук, главный специалист, Инженерно-технологический центр,
МГУП «Мосводоканал»

109235, Россия, Москва, 1-й Курьяновский проезд, 15, тел.: (495) 348-16-13, e-mail: nshegolkova@mail.ru

⁴ Ванюшина Анастасия Ярославна, кандидат биологических наук, главный специалист, КО ИТЦ, МГУП «Мосводоканал»
Тел.: (495) 348-16-13, e-mail: vanyushina_aya@mosvodokanal.ru

⁵ Грачев Владимир Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных наук, КО ИТЦ, МГУП «Мосводоканал»
Тел.: (495) 348-16-13

Исследованы свойства почвогрунта, полученного из осадка станций водоподготовки. Разработана новая рецептура получения почвогрунта. Биотестирование с применением двух биотестов (циеридафнии и инфузории) выявило допустимую токсичность почвогрунта, а его водопрочность характеризовалась как отличная. Комплексные исследования физических свойств показали, что при добавлении осадка станций водоподготовки в суглинок активно происходят процессы структурообразования. Почвогрунт хорошо структурирован, устойчив к неблагоприятным механическим и физико-химическим воздействиям, в том числе кислотно-основных растворов. Данный почвогрунт рекомендуется использовать для создания газонов, а также для выращивания биотопливных культур. Сформированные газоны с новым почвогрунтом показали чрезвычайно высокую устойчивость к пересыханию в условиях крайне засушливого лета 2010 г.

Ключевые слова: водоподготовка, осадок, почвенная структура, почвогрунт, буферность, биотестирование, тяжелые металлы, предельно допустимая концентрация.

The properties of soil produced from the sludge generated at the water treatment plants have been investigated. A new method of soil production has been developed. Biotesting with the use of two biotests (*Ceriodaphnia* and *Infusoria*) revealed some admissible soil toxicity while water stability was assessed as excellent. The comprehensive physical analysis showed that the addition of water sludge into loam soil enhances active processes of structure formation. The soil is well structured, resistant to unfavorable mechanical, physical and chemical impacts including acid-based solutions. The presented soil is recommended for grassplot formation as well as for biofuel crop cultivation. The grassplots formed with the new type of soil showed rather high resistance to drying up during the extremely hot summer of 2010.

Key words: drinking water treatment, sludge, soil structure, soil, buffer capacity, biotesting, heavy metals, maximum permissible concentration.

Проблема техногенного загрязнения и деградации почв чрезвычайно актуальна для мегаполисов, в том числе для Москвы. К городским почвам предъявляются специфические требования: они должны обладать сопротивляемостью к неблагоприятным факторам, повышенной буферностью (свойство почвы препятствовать из-

менению ее реакции pH под действием кислот и щелочей). Когда плодородный слой загрязнен необратимо, необходимо полностью его заменить естественными или искусственными грунтами. Одним из путей решения проблемы загрязненных и деградированных городских почв является применение в зеленом строительстве

почвогрунтов на основе осадков сооружений водоподготовки. Еще в 1990-е годы было доказано, что внесение водопроводных осадков в почву в жидком или сухом виде в качестве удобрений под посевы различных сельскохозяйственных культур (кукурузы, сахарной свеклы, люцерны и др.) способствовало повышению их урожайности [1]. Безвредность внесения осадков объясняется отсутствием в них солей тяжелых металлов и других токсикантов.

Осадок, поступающий с иловых карт очистных сооружений или после обезвоживания на центрифуге, имеет благоприятные агрохимические (достаточное содержание азота, фосфора, калия, благоприятный диапазон pH), но неблагоприятные агрофизические (отсутствие почвенной структуры, неблагоприятный водно-воздушный режим для семян и корней, способность растрескиваться при высыхании) свойства. Использовать осадок в зеленом хозяйстве возможно только в смеси с другими грунтами, однако при влажности 75–80% он имеет вязкую структуру и плохо поддается перемешиванию.

Целью работы являлась разработка технологии промышленного производства кондиционного почвогрунта на основе осадка станций водоподготовки. В 2009–2010 годах проводились испытания с использованием осадка Восточной станции водоподготовки. Смешивание осадка с другими компонентами почвогрунта производилось мешалками шнекового типа. Получаемый почвогрунт исследовался в аккредитованной лаборатории ЗАО «Роса» (химические и физико-химические исследования) и лаборатории Курьяновских очистных сооружений (биотестирование по оценке токсичности). Вегетационные опыты и исследование гранулометрического состава полученных почвогрунтов, водопрочности и структуры почвенных агрегатов проводили в Инженерно-технологическом центре МГУП «Мосводоканал».

Законодательные акты, принятые Московской городской думой и Правительством Москвы в 2007–2009 годах, предусматривают для озеленения и благоустройства использование только искусственно приготовленных кондиционных почвогрунтов, прошедших проверку в службе контроля качества [2; 3]. На городском уровне такое решение позволяет проводить тотальный контроль используемых почвогрунтов и экономить почвенные ресурсы. Эти законы позволили также заменить экологически ценные почвенные материалы (при срезке чернозема и дерновых почв) искусственными компостами и органоминеральными смесями.

Разработка рецептуры почвогрунтов велась параллельно с их испытанием в вегетационных опытах. Эксперименты проводились на базе Инженерно-технологического центра МГУП «Мосводоканал» в условиях закрытого грунта (теплица). В результате вегетационных опытов определено, что плодородный почвогрунт должен содержать торф (низинный, верховой или переходный), минеральный грунт (песок, суглинок) и осадок станций водоподготовки.

Ни песок, ни торф не могут создать прочную почвенную структуру. Эту функцию выполняет осадок, «склеивая» частицы песка и торфа. Являясь источником легкодоступного питания для растений, осадок стимулирует микробиологическое разложение торфа, что увеличивает содержание питательных веществ в почвогрунте, поддерживая его на необходимом уровне несколько лет без добавления минеральных удобрений. Кроме того, торфоминеральные смеси без добавления других органических компонентов быстро пересыхают, имеют высокую потенциальную воспламеняемость, а также низкое содержание легкодоступных минеральных солей (торф содержит в основном трудноокисляемое органическое вещество).

Этих недостатков лишен полученный почвогрунт, который долго не пересыхает и не воспламеняется. Готовый кондиционный почвогрунт содержит 15–20% органического вещества, азот, фосфор и калий в доступных для растений формах (в массовом соотношении 7:4:1), имеет pH 6,5–7,5.

Токсичность почвогрунта определялась в лаборатории Курьяновских очистных сооружений на приборе «Биотестер-2» по хемотаксису инфузорий в водной вытяжке из почвогрунтов и по выживаемости цериодафний. Токсичность осадков сооружений водоподготовки не превышала нормативно допустимую величину (не более 0,4). Грунты с токсичностью менее 0,4 относятся к отходам пятого класса опасности (практически не опасные). Получаемый почвогрунт имел токсичность 0,12–0,23, что позволяет отнести его к категории допустимой степени токсичности.

Низкое содержания металлов в осадке сооружений водоподготовки позволяет использовать его в качестве компонента, снижающего концентрацию токсикантов в почвогрунтах (табл. 1). При этом металлы, присутствующие в нем, являются питательными микроэлементами для растений. В итоге почвогрунт становится кондиционным сбалансированным удобрением.

При производстве искусственных почвогрунтов одной из основных задач является формиро-

Таблица 1

Концентрация тяжелых металлов, мг/кг сухого вещества	Песок	Суглинок	Осадок сооружений водоподготовки	ПДК [2; 3]
Кадмий	0,3	0,9	0,04	2
Марганец	52	560	190	—
Медь	17	26	17	132
Мышьяк	1,8	2,6	5	5
Никель	4,6	12	5,7	80
Ртуть	0,27	0,22	0,1	2
Свинец	11	16	3	130
Хром	14	30	5,2	65
Цинк	51	55	25	220

вание благоприятной для выращивания растений почвенной структуры, которая непосредственно определяет водный и воздушный режим, а также косвенно влияет на способность почвогрунта удерживать загрязняющие вещества в пределах корневого слоя, не позволяя им вымываться в грунтовые воды.

В исследованиях использовались следующие методы оценки почвенной структуры: гранулометрический анализ почв (метод пипетки Качинского-Робинсона-Кехля); определение процентного содержания гранулометрических фракций по классификации Н. А. Качинского; определение плотности сложения грунта буровым методом; определение плотности твердой фазы пикнометрическим методом; исследование структурности по сухому просеиванию и водопрочности почвогрунтов методами мокрого просеивания Н. И. Саввинова и Андрианова [4]. Изучалась структура следующих почвогрунтов: песок (контрольный образец); песок с добавлением 20% осадка сооружений водоподготовки по объему; суглинок (контрольный образец); суглинок с добавлением 20% осадка по объему. Агрофизические исследования проводились после трех месяцев выращивания двух травяных

культур (ибериса и газонной травы) в условиях закрытого почвогрунта с искусственным освещением. За это время в опытах с газонной травой в фитоконтейнерах образовалась заметно выраженная дернина, а в опытах с цветочной культурой — комковатая структура.

Коэффициент структурности по результатам сухого просеивания вычисляется как отношение суммы (%) агрономически ценных макроагрегатов размером 0,25–10 мм к сумме агрегатов размером менее 0,25 мм и более 10 мм. Чем выше это отношение, тем лучше структура почвы. Коэффициент структурности для песка при внесении осадка не изменился под цветочной культурой (контрольный образец — 2,9, опытный — 2,7) и увеличился в 1,6 раза под газонной смесью (опытный образец — 4,7). Коэффициент структурности для суглинка при внесении осадка не изменился под цветочной культурой (контрольный образец — 1,1, опытный — 1) и увеличился в 2,7 раза под газонной смесью (опытный образец — 3). Результаты оценки почвенной структуры представлены в табл. 2.

Показатель водопрочности по Андрианову характеризует скорость разрушения почвенных агрегатов при увлажнении и выражает степень

Таблица 2

Почвогрунт	Плотность твердой фазы, г/см ³	Плотность сложения, г/см ³	Коэффициент структурности по результатам сухого просеивания	Показатель водопрочности по Андрианову, %
Контрольный образец: песок суглинок	2,74 2,41	1,34 1,09	2,9 1,1	43,6 79,2
С цветочной культурой: песок + 20% осадка суглинок + 20% осадка	2,56 2,36	1,34 0,96	2,7 1	81,8 94,46
С газонной смесью: песок + 20% осадка суглинок + 20% осадка	2,42 2,35	0,98 0,78	4,7 3	69,1 97,5

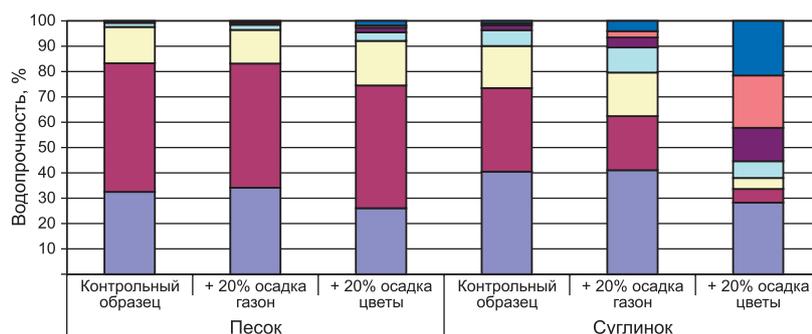


Рис. 1. Характеристика водопрочности почвогрунтов, определенная методом мокрого просеивания по Н. И. Саввинову

размер водопрочных агрегатов грунта, мм: ■ более 5; ■ 3–5; ■ 2–3; ■ 1–2; ■ 0,5–1; ■ 0,25–0,5; ■ менее 0,25

их сохранности после 10-минутного увлажнения в лабораторных условиях.

Из табл. 2 видно, что после внесения осадка сооружений водоподготовки водопрочность песка увеличивается в 1,6–1,8 раза, суглинка – в 1,2 раза. Характеристика водопрочности, определенная по методу Н. И. Саввинова, представлена на рис. 1.

Характеристика водопрочности по методу Н. И. Саввинова может быть выражена в процентном содержании суммы водопрочных агрегатов размером более 0,25 мм. Если эта величина попадает в градацию 60–75% – водопрочность отличная, более 75% – избыточно высокая (что может свидетельствовать о потенциально возможном процессе слитообразования в почвах). В опытах с осадком сооружений водоподготовки водопрочность характеризовалась как отличная (рис. 1), однако под цветочными культурами она была близка к избыточно высокой. Данный анализ показал, что технологии получения почвогрунта с использованием осадка сооружений водоподготовки необходимо совмещать с созданием газонов, а не цветников, по крайней мере, в первый вегетационный период.

Образование почвенных агрегатов разных размеров при добавлении осадка в суглинок свидетельствует об активно протекающем процессе структурообразования. Таким образом, резуль-

таты проведенных исследований подтвердили предположения о том, что осадок станций водоподготовки будет являться структурообразующим компонентом.

Осадок станций водоподготовки содержит значительное количество солей и гидроксидов алюминия, обладающих амфотерными свойствами. Поэтому было выдвинуто предположение, что почвогрунт может проявлять повышенную сопротивляемость к изменению кислотно-основного баланса в городских условиях, когда в почву непрерывно поступают загрязняющие вещества (кислотные дожди, цементная пыль, зола ТЭЦ), способные изменить кислотно-основные условия.

Оценка буферности проводилась на основе кислотно-основного титрования. В почвогрунт, изготовленный на основе торфа и 30% осадка сооружений водоподготовки последовательно добавляли разные дозы кислоты и щелочи, после чего замерялся показатель pH. Сравнение проводилось с песком, переходным торфом и верхним слоем легкосуглинистой городской почвы с содержанием гумуса 1,5%. Результаты кислотно-основного титрования почвогрунта представлены в табл. 3. Опыт показал, что новый почвогрунт обладает повышенной буферностью к кислотно-основному воздействию и удерживает благоприятный уровень pH (5,5–7,5) в отличие от торфа, песка и почвы.

Таблица 3

Кислотно-основное воздействие, мл		Торф	Торф + 30% осадка	Песок	Городская почва
0,1-нормальный раствор HCl	12	3,1	5,8	1,8	3,3
	6	3,2	6,1	1,9	3,5
	3	4	6,2	2	4
0,1-нормальный раствор NaOH	0	4,2	7,1	4,2	4,4
	3	4,2	7,1	12	8,6
	6	5,1	7,3	12,8	8,7
	12	5,2	7,5	13	8,9

Таблица 4

Посевная культура	Всхожесть семян, % от максимально возможной						
	торф (контрольный образец)	торф + 20% осадка	торф + 30% осадка	песок (контрольный образец)	песок + 20% осадка	суглинок (контрольный образец)	суглинок + 20% осадка
Газонная трава	55,7	68,8	97,3	73,9	93,8	69,1	100
Иберис	4,7	75,	57,8	51,6	100	100	64,1

Таблица 5

Посевная культура и рецептура почвогрунта (соотношение по сухому веществу)	Урожайность в контрольном образце (пахотная дерново-подзолистая почва), ц/га	Урожайность в опыте на почвогрунте, ц/га	Прибавка урожайности (биомассы), %
Семена рапса ОСВП:СГ:П:Т = 15:40:40:5 ОСВП:СГ:П:Т = 25:30:40:5	17,9 17,9	25,4 29,8	42 66
Биомасса газонных трав ОСВП:СГ:П:Т = 15:40:40:5 ОСВП:СГ:П:Т = 25:30:40:5	31 31	37,1 41,2	19 32

Примечание. ОСВП – осадок станций водоподготовки; СГ – суглинок; П – песок; Т – верховой торф.

В 2009–2010 годах в Инженерно-технологическом центре на территории Курьяновских очистных сооружений были организованы и проведены опыты по выращиванию цветочной культуры (ибериса), газонных трав и технической культуры (рапса) на почвогрунтах различной рецептуры. Результаты экспериментов представлены в табл. 4 и 5.

Внесение осадка заметно увеличивает всхожесть семян (табл. 4), что обусловлено созданием благоприятного водно-воздушного режима с первых дней существования почвогрунта (смеси готовились непосредственно перед посевом). Несмотря на плохие погодные условия (аномальная засуха), наблюдалось увеличение урожайности технических культур до 66% по сравнению с контрольным образцом (табл. 5).

Отмечено, что большая часть вносимого с осадками азота расходуется в первый год вегетации. В то же время содержание подвижного фосфора остается повышенным и после снятия урожая. Широкоярядный посев способствовал хорошему кущению растений и заполнению всего пространства между рядами, что характерно при выращивании растений по высокому агрономическому фону.

Результаты проведенных экспериментов показали, что применение осадков в виде комплексных удобрений может рассматриваться как одно из решений для получения высоких урожаев зерна и биомассы для производства биотоплива.

В 2010 г. для озеленительных работ было изготовлено около 50 тыс. м³ кондиционного поч-

вогрунта. Сформированные газоны показали чрезвычайно высокую устойчивость к пересыханию в условиях крайне засушливого лета 2010 г. Посаженные травы не погибли без полива ни на одном из газонов и быстро восстановились после первых дождей (рис. 2).

Таким образом, разработанный почвогрунт может применяться для выращивания растений и озеленения газонов, спортивных площадок, дорожных откосов. Его создание расширяет ассортимент растительных питательных смесей, поскольку обладает высокими противозерозными свойствами, а также высокой буферностью по отношению к неблагоприятным условиям городской среды. Кроме того, он может применяться при посадках технических культур (рапса, горчицы или быстрорастущих пород деревьев) для получения биотоплива.

Предлагаемый состав почвогрунта позволяет в течение длительного времени сохранять структуру почвы газона, в том числе на спортивных площадках, что обеспечивает снижение затрат на их содержание. Для создания оптимально сбалансированных условий при выращивании конкретных культур в зависимости от их потребности в питательных веществах в состав почвогрунта могут быть введены минеральные удобрения, микроэлементы, стимуляторы роста. Для сокращения времени создания газона в состав смеси почвогрунта могут быть включены семена растений.

Разработанная технология позволяет решать сразу несколько важнейших экологических задач в городских агломератах:



Рис. 2. Газон на почвогрунте, изготовленном с применением осадка сооружений водоподготовки
 а – через 2 недели после формирования газона в мае 2010 г., б – в начале сентября 2010 г.

утилизация отходов станций водоподготовки и сокращение площади полигонов под их депонирование;

снижение затрат на доставку почвогрунтов из области в город;

уменьшение степени техногенного загрязнения и деградации почв созданием достаточного количества кондиционных почвогрунтов.

Утилизация осадков в почвогрунты уже позволила МГУП «Мосводоканал» полностью отказаться от их вывоза с Восточной станции водоподготовки на полигоны. Так, в зеленом хозяйстве города в 2010 г. применено 50 тыс. м³ кондиционных высококачественных почвогрунтов.

Выводы

Новая рецептура получения почвогрунта разработана с использованием осадка станций водоподготовки. Результаты биотестирования с применением двух биотестов (цериодафнии и инфузории) выявили допустимую токсичность почвогрунта, а также отличную водопрочность. Исследования показали, что при добавлении осадка станций водоподготовки в суглинки активно происходят процессы структурообразования. Проведенные комплексные физические

исследования характеризуют почвогрунт как хорошо структурированный, устойчивый к неблагоприятным механическим и физико-химическим воздействиям, в том числе кислотно-основных растворов. Данный почвогрунт рекомендуется использовать для создания газонов, а также для выращивания биотопливных культур. Сформированные газоны с новым почвогрунтом показали чрезвычайно высокую устойчивость к пересыханию в условиях засушливого лета 2010 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мерзлая Г. Е., Афанасьев Р. А. Применение осадков водопроводных станций на удобрение / Агро XXI. – Всероссийский НИИ удобрений и агропочвоведения им. Д. Н. Прянишникова (<http://www.agroxxi.ru/docs/051999/051999008.htm>).
2. Постановление Правительства Москвы от 27 июля 2004 г. № 514-ПП «О повышении качества почвогрунтов в городе Москве».
3. Постановление Правительства Москвы от 8 сентября 2009 г. № 973-ПП «О внесении изменений в постановление Правительства Москвы от 27 июля 2004 г. № 514-ПП».
4. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. – М.: Агропромиздат, 1986.