

Василенко Т.А., канд. техн. наук, доц.,  
Мохаммед Абдифатах Харед, магистрант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ПРИМЕНЕНИЕ ОСАДКА МЕХАНИЧЕСКОЙ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ БЫТОВЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ

pe@intbel.ru

Согласно российским нормативным документам, отработанный активный ил, образующийся в результате очистки бытовых и производственных сточных вод на станции биологической очистки г. Белгорода отнесен к первой категории и может быть использован под все виды сельскохозяйственных культур, кроме овощных, в то же время он полностью подходит для технической и биологической рекультивации загрязненных почвогрунтов по содержанию тяжелых металлов. Проведен эксперимент по использованию смешанного осадка сточных вод в различных пропорциях с почвой и совместно с пылью электрофильтров цементного производства (в количестве 1,5 и 2,5 %). Осуществлен подбор оптимальной почвенной смеси, содержащей осадок биологической и механической очистки сточных вод и пыли электрофильтров цементного производства. Определены фитотоксичность, всхожесть и длина стеблей семян кресс-салата (*Lepidium sativum*), ячменя (*Hordéum vulgáre*) и пшеницы (*Triticum vulgare*) в почвенных смесях. Методом рентгеноструктурного анализа определено содержание четырех тяжелых металлов (цинк, железо, марганец и медь) в золе зеленой массы проростков сельскохозяйственных культур *Triticum vulgáre* и *Hordéum vulgáre*, которые были выращены в почвенных смесях с добавкой осадка.

**Ключевые слова:** осадки сточных вод, органо-минеральные удобрения; тяжелые металлы, фитотоксичность, пыль электрофильтров цементного производства, почва.

**Введение.** Осадок (отработанный активный ил), образующийся в результате очистки бытовых и производственных сточных вод на станциях биологической очистки, в Российской Федерации рассматривается как органическое удобрение [1–3]. На основании многолетних исследований разработаны стандарты (ГОСТ Р 17.4.3.07-2001, ГОСТ Р 54534-2011 и ГОСТ Р 54535-2011) по их применению в качестве удобрений под сельскохозяйственные и садово-огородных культуры, а также для биологической рекультивации нарушенных земель и полигонов [4–6]. Свежие осадки сточных вод (ОСВ) относятся к четвертому классу опасности по федеральному классификатору отходов («Ил избыточный биологических очистных сооружений хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод», код отхода 7 22 200 01 39 4 и «Ил избыточный биологических очистных сооружений в смеси с осадком механической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод», код отхода 7 22 201 11 39 4), содержат ионы тяжелых металлов, патогенную микрофлору, часто засорены инородными предметами, что затрудняет их использование в качестве удобрений.

Детоксикация тяжелых металлов проводится путем перевода металлов в малорастворимые или не растворимые не токсичные аминокислотные комплексы, а также путем компостирования осадков с органическими удобрениями, содержащими кальций [7, 8]. Предлагается реагентная или реагентно-термическая обработка ОСВ с целью их детоксикации [9]. Авторами исследо-

ваны процессы биовыщелачивания металлов из ОСВ с участием гетеротрофов, при этом происходит гидрофобизация иловых коллоидов и снижение их отрицательного заряда, детоксикация ила, обогащение биоэлементами [10] или же с использованием гуминовых кислот в виде гумино-минерального концентрата [11]. Для получения осадка, который будет соответствовать необходимым требованиям, разработан ферментно-кавитационный метод с применением установки для их переработки [12]. Предлагается технология утилизации осадков сточных вод путем компостирования с торфом [13]. Разработан способ, который позволяет снизить экологическую нагрузку при термическом обезвреживании ОСВ, при этом проводят обработку осадка кальцийсодержащими реагентами для извлечения тяжелых металлов, центрифугирование, сушка и пиролиз при температуре 450–550 °С, что снижает эмиссию серо- и хлорсодержащих соединений [14]. В Санкт-Петербурге ОСВ сжигают в кипящем слое *Pyrofluid* с целью уменьшения их количества более чем в десять раз [15]. Они могут быть использованы в производстве строительных материалов [16], для рекультивации нарушенных земель [17–19]. Осадки относятся к крупнотоннажным отходам, образуются непрерывно, их длительное накопление на территории сооружений водоподготовки и очистки сточных вод оказывает негативное влияние на окружающую среду. Работа посвящена исследованию возможностей применения ОСВ в качестве органоминерального удобрения на основа-

нии анализа данных о их составе и о состоянии почв.

**Методика.** Правильное применение ОСВ позволит повысить плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур, обеспечит охрану окружающей среды. Ежедневно на очистных сооружениях бытовых и производственных сточных вод г. Белгорода при обезвоживании флокулянтном смешанного осадка механической (500 м<sup>3</sup>/сут.) и биологической очистки (1000 м<sup>3</sup>/сут.) получают около 70 м<sup>3</sup>/сут. кека. Данный обезвоженный кек состоит из осадка механической (на 1/3) и биологической очистки (2/3), который предварительно обработан овицидным препаратом «Пуrolлат». Установлена доля органической части в кеке, которая составляет 64,5 %, при этом в норме должно быть не менее 20 % [1]. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в исследуемой почве и в смешанном ОСВ не превышает допустимые нормы (табл. 1 и 2). Согласно ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 осадок отнесен к первой категории и может быть использован под все виды сельскохозяйственных культур, кроме овощных, грибов, зелени и земляники, в то же время он полностью подходит для технической и биологической рекультивации загрязненных почвогрунтов по содержанию тяжелых металлов по ГОСТ Р 54534-2011 [2]. Проведен эксперимент по использованию смешанного ОСВ в различных пропорциях

с почвой и совместно с пылью электрофильтров цементного производства (в количестве 1,5 и 2,5 %). Содержание ОСВ составило, % к массе смеси: 20,0; 30,0; 40,0; 50; 60 и 100 %. Задачами исследования являлось:

1. Подбор оптимальной почвенной смеси, содержащей осадок биологической и механической очистки сточных вод и пыли электрофильтров цементного производства.

2. Определение всхожести (%) и длины стеблей семян кресс-салата (*Lepidium sativum*), ячменя (*Hordéum vulgáre*) и пшеницы (*Triticum vulgare*) в почвенных смесях.

3. Определение фитотоксичности ОСВ по массе растений на вегетационный сосуд (%).

4. Определение концентрации тяжелых металлов в зеленой массе проростков для злаковых культур в пересчете на сухое вещество (*Hordéum vulgáre*, *Triticum vulgare*), мг/кг.

Почва отбиралась в парковой зоне на территории БГТУ им. Шухова в сентябре 2014 г. Содержание тяжелых металлов и мышьяка анализировалось по методикам определения тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства и по определению мышьяка в почвах фотометрическими методами; значение рН (по хлориду калия) составило 6,8 (при норме рН<sub>Ксl</sub> > 5,5). В табл. 3 приведены данные по содержанию органического вещества (гумус), азота, фосфора и калия.

Таблица 1

#### Содержание тяжелых металлов в осадке сточных вод

Наименование металла	Концентрация, мг/кг сухого вещества, не более, для осадков группы		
	Группа I	Группа II	Осадок
Свинец (Pb)	250	500	21,4
Кадмий (Cd)	15	30	0,723
Никель (Ni)	200	400	20,8
Хром (Cr)	500	1000	0,723
Цинк (Zn)	1750	3500	485,7
Медь (Cu)	750	1500	160,4
Ртуть (Hg)	7,5	15	0,184
Мышьяк (As)	10	20	0,75

Таблица 2

#### Результаты анализов содержания тяжелых металлов в почве (валовые формы)

Содержание тяжелых металлов (мг/кг сухого вещества)							
Металл	Свинец	Кадмий	Никель	Хром	Цинк	Ртуть	Мышьяк
ОДК для почвы, рН <sub>Ксl</sub> > 5,5	130	2,0	80	не установлена	220	2,1	3,23
Исследуемая почва	15,40	0,332	22,81	21,29	32,43	0,025	10

Таблица 3

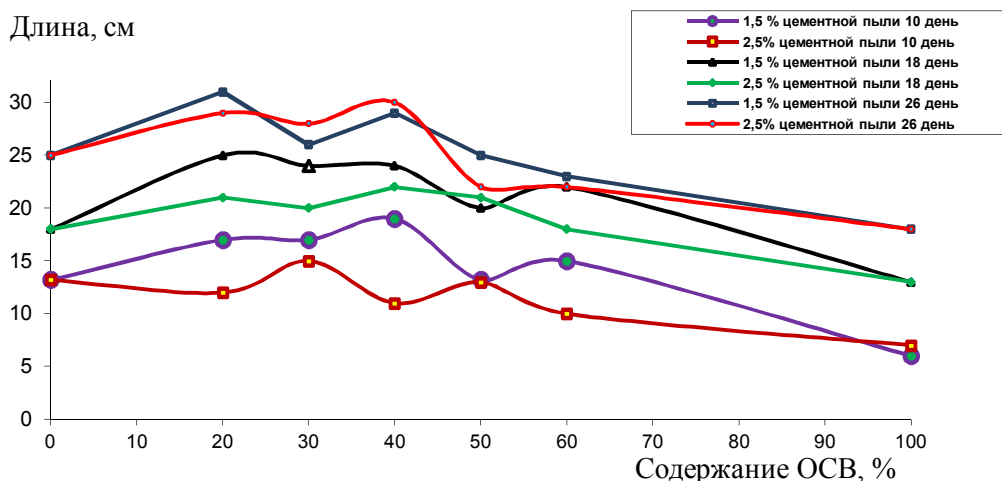
## Результаты испытаний образца почвы на содержание гумуса, азота, фосфора и калия

Наименование показателя	Ед. измерения	Наименование НД, регламентирующей методику проведения испытаний	Фактическое значение по результатам измерения	Погрешность значения	Группировка по содержанию
Степень кислотности (рН <sub>KCl</sub> вытяжки)	Ед. рН	ГОСТ 26483-85	6,8	± 0,1	нейтральная
Азот гидролизующий	мг/кг	по методу Корнфилда, МСХ, 1985 г.	151	± 15	средняя
Органическое вещество (гумус)	%	ГОСТ 26213-91	4,9	± 0,73	средняя
Фосфор подвижный	мг/кг	ГОСТ 26213-91	43	± 3,0	повышенная
Калий подвижный	мг/кг	ГОСТ 26213-91	530	± 42	высокая

В работе для приготовления почвенных смесей использовали пыль электрофильтров ЗАО «Белгородский цемент», которая имеет щелочную реакцию среды, содержит калий в количестве более 5,0 % в пересчете на оксид. Согласно литературным данным пыль может быть использована для раскисления кислых почв и как удобрение, ее химический состав представлен, % масс.: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 6,49–7,11; CaO – 44,97–53,54; SiO<sub>2</sub> – 14,27; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1,28–6,20; MgO – 0,53–6,32; K<sub>2</sub>O – 5,25; Na<sub>2</sub>O – 0,25; SO<sub>3</sub> – 2,30; Cl – 2,24; ппп – 4,84–22,1. Пыль представляет собой смесь карбонатов с преобладанием карбоната кальция, бикарбонатов, гидроксида кальция, сульфатов, глинистых минералов, тонкодисперсного кремнезема, в небольшом коли-

честве силикатов калия, а также пониженное количество клинкерных минералов. Присутствуют гипс, оксид кальция, полуторные оксиды и некоторые микроэлементы. При приготовлении почвенных смесей учитывалось значение рН водной вытяжки, которое не должно выходить за пределы, более чем 8,0.

**Основная часть.** Семена ячменя и пшеницы высаживали в пластиковые контейнеры (вегетационные сосуды) в количестве по сто штук. Повторность эксперимента была трехкратная. На рис. 1–6 приведена зависимость длины ростков и всхожести семян ячменя (*Hordéum vulgáre*), пшеницы (*Triticum vulgáre*) и кресс-салата (*Lepidium sativum*) от содержания ОСВ в почвенных смесях.

Рис. 1. Зависимость длины ростков *Hordéum vulgáre* от содержания ОСВ в почвенных смесях

Как видно из представленных результатов, длина ростков уменьшается с увеличением доли осадка в почвенных смесях (особенно после 40–50 %), что говорит о его фитотоксическом действии. В тоже время, он отнесен к первой категории по ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. Возможным фактором негативного влияния осадка биологической очистки является то, что он является техногенным отходом и разработанные нормативы по содержанию металлов в осадке ориен-

тированы на санитарно-гигиеническое нормирование для человека, но не учитывают фитотоксическое действие на растения.

Как следует из рис. 3 и 4 всхожесть семян ячменя и пшеницы снижается с увеличением доли осадка, более чувствительным из двух злаковых является ячмень. Следует отметить положительное влияние добавки осадка в количестве до 40 % на всхожесть семян. Сравнивая содержание пыли электрофильтров цементного про-

изводства, следует отметить, что ее содержание в количестве 1,5 % также положительно влияет

на растения, а содержание 2,5 % снижает всхожесть семян.

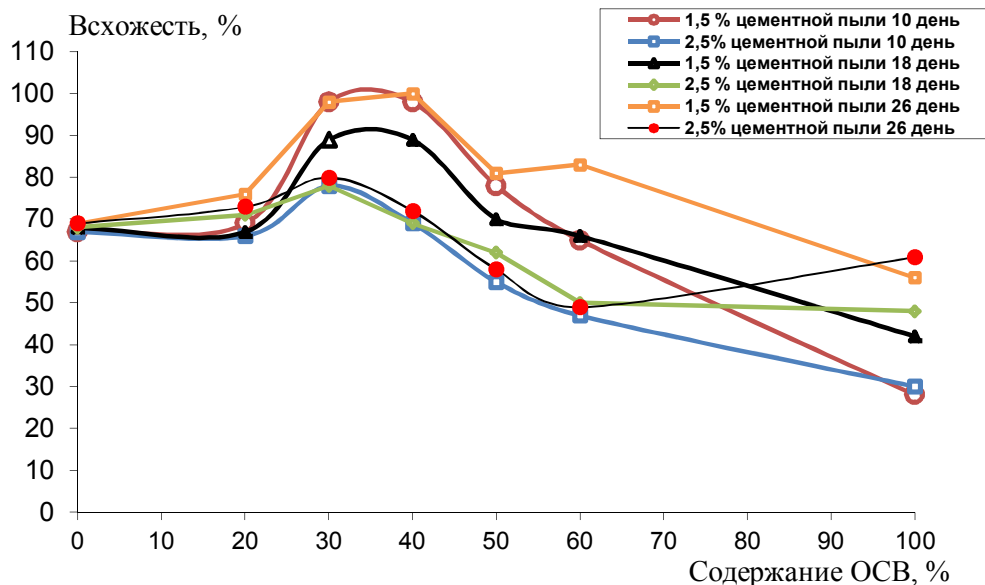


Рис. 2. Зависимость всхожести *Hordeum vulgare* от содержания ОСВ в почвенных смесях

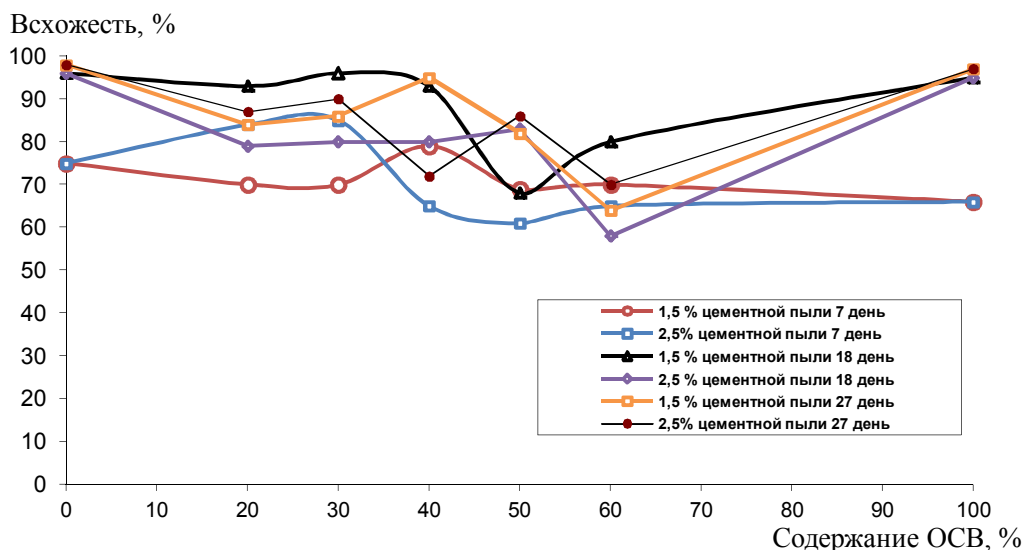


Рис. 3. Зависимость всхожести семян *Triticum vulgare* от содержания ОСВ в почвенных смесях

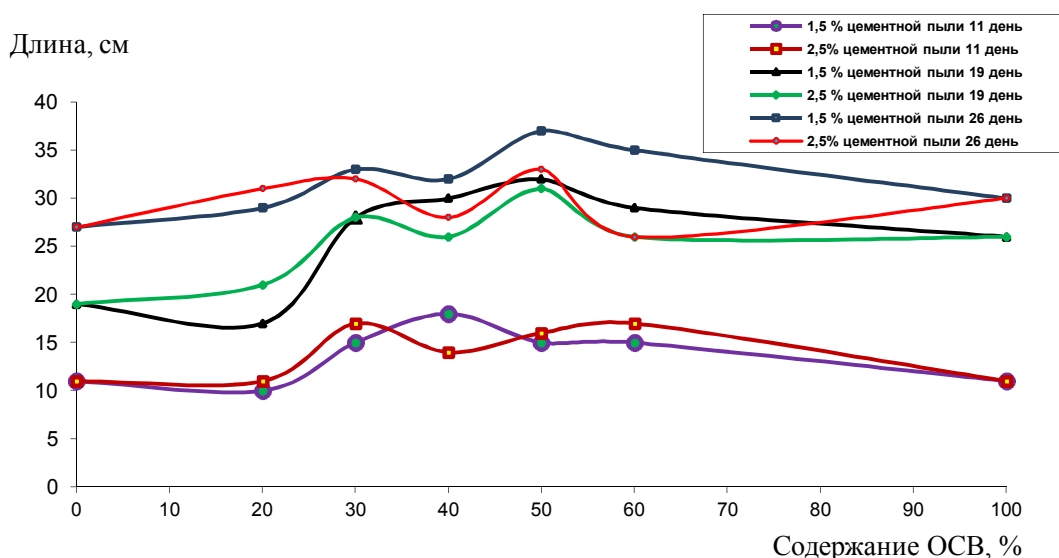


Рис. 4. Зависимость длины ростков *Triticum vulgare* от содержания ОСВ в почвенных смесях

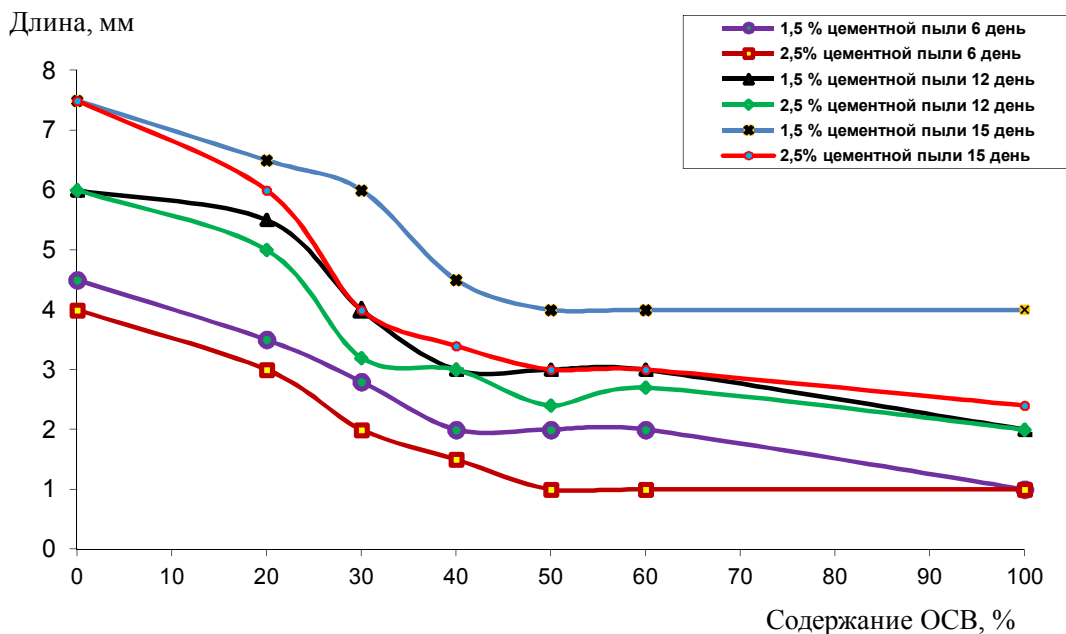


Рис. 5. Зависимость длины ростков *Lepidium sativum* от содержания ОСВ в почвенных смесях

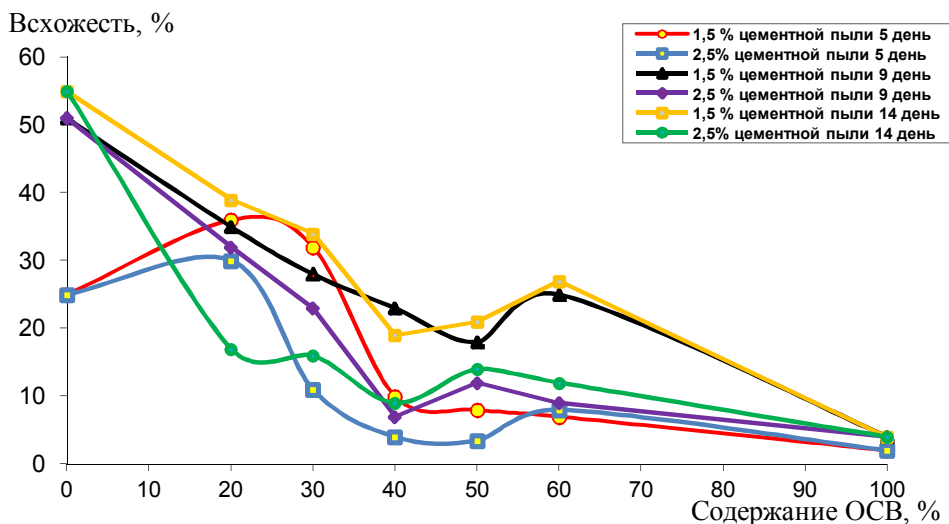


Рис. 6. Зависимость всхожести семян *Lepidium sativum* от содержание ОСВ в почвенных смесях

Кресс-салат оказался самым чувствительным растением, из рис. 5 следует отметить, что с увеличением доли осадка длина ростков уменьшается. Например, на 12 день эксперимента, длина стеблей в контроле составила 6 см (при наличии 1,5 % пыли электрофильтров цементного производства), а в осадке биологической очистки – 2 см. Пыль электрофильтров в количестве 2,5 % не рекомендуется, т.к. она угнетает проростки по сравнению с содержанием 1,5 %. т.е. при содержании пыли 1,5 %, при прочих равных условиях (одинаковая доля осадка биологической очистки) длина стеблей выше на 6, 12 и 15 дни эксперимента.

В отношении кресс-салата визуально было заметно негативное воздействие ОСВ с увеличением его доли в составе почвенной смеси. При содержании пыли электрофильтров

цементного производства в количестве 2,5 % ростки слабые и единичные при содержании ОСВ в количестве 40 и 50 % соответственно. В вегетационном сосуде с содержанием пыли 1,5 %, а осадка 60 % всходы дружные, в при 100 % содержании осадка они практически отсутствуют. Как известно, кресс-салат является очень чувствительным тест-объектом.

Определение тяжелых металлов в озоленной зеленой массе проростков в пересчете на сухое вещество проводили методом рентгеновской флуоресценции (XRF) на приборе «Thermo Scientific Серия ARL 9900 IntelliPower ARL 9900 WorkStation», который позволил определить элементный состав проб. Для его выполнения растения срезали, высушивали до постоянной массы, далее проводили озоление при температуре 700 °C в течении 40 минут. Количество тя-

желых металлов в золе определяли с использованием формулы:

$$C_{TM} (\%) = C_{TM \text{ в золе}} \frac{M_{зола}}{M_{сух.вва}} \cdot 100\% \quad (1)$$

где  $C_{TM}$  – масса тяжелых металлов, %;  $C_{TM \text{ в золе}}$  – масса тяжелых металлов в золе, г;  $M_{зола}$  – масса золы, г;  $M_{сух.вва}$  – масса сухого вещества (высушенная зеленая масса ростков злаковых культур), г.

В дальнейшем вели пересчет на сухое вещество в мг/кг сухой продукции. Согласно нормативном документу [20] предельно допустимые концентрации цинка, железа и меди в грубых и сочных кормах составляют 50,0; 50,0 и 30 мг/кг корма соответственно. Марганец согласно данному документу не нормируется в растительных кормах, но в табл. 4 и 5 представлен и в отношении него наблюдается тенденция к увеличению с ростом доли ОСВ в составе почвенной смеси. Как видно из приведенных данных, содержание меди не превышает во всех случаях.

Таблица 4

#### Содержание тяжелых металлов в зеленой массе *Hordéum vulgare*, мг/кг

Металл	Содержание ОСВ в почвенной смеси, % (в пересчете на сухое вещество)							
	Почва	Песок	20	30	40	50	60	100
	Содержание пыли электрофильтров цементного производства 2,5 %							
Fe	18,0	20,4	15,5	29,0	42,0	<b>51,0</b>	<b>73,0</b>	<b>66,5</b>
Cu	16,5	0,9	10,0	13,0	12,9	29,0	30,0	28,5
Zn	37,0	20,0	27,2	30,0	44,5	<b>56,0</b>	<b>59,0</b>	<b>52,0</b>
Mn	62,0	12,0	22,5	38,0	34,5	67,0	78,0	75,0
	Содержание пыли электрофильтров цементного производства 1,5 %							
Fe	18,0	20,9	26,7	30	42	30,0	25,0	<b>66,5</b>
Cu	16,5	60,0	50,0	20,0	10,0	8,2	10,0	28,5
Zn	37,0	20,0	23,0	32,0	38,0	44,5	49,0	<b>52,0</b>
Mn	62,0	32,0	35,0	40,0	49,6	51,6	52,0	75,0

Содержание железа и цинка превышает норму в сухой массе ячменя от 50 % содержания ОСВ в почвенных смесях (при содержании пыли электрофильтров цементного производства 2,5 %). Количество железа превышает в зеленой

массе пшеницы при 60 % содержания ОСВ в почвенной смеси. При выращивании в сосуде, где содержание ОСВ составляло 100 %, цинк и железо в зеленой массе пшеницы также превышают.

Таблица 5

#### Содержание тяжелых металлов в зеленой массе *Triticum vulgare*, мг/кг

Металл	Содержание ОСВ в почвенной смеси, % (в пересчете на сухое вещество)							
	Почва	Песок	20	30	40	50	60	100
	Содержание пыли электрофильтров цементного производства 2,5 %							
Fe	11,7	7,3	21,1	20,4	27,5	41,0	<b>60,9</b>	<b>74,0</b>
Cu	8,6	0,66	14,7	15,8	17,6	19,6	19,7	27,2
Zn	32,0	15,7	34,7	35,9	38,3	36,0	49,5	<b>58,6</b>
Mn	80,0	44,0	24,0	53,2	66,0	59,7	75,0	85,4
	Содержание пыли электрофильтров цементного производства 1,5 %							
Fe	11,7	7,3	10,6	23,6	26,2	39,4	44,0	<b>74,0</b>
Cu	8,6	0,66	н/о	19	н/о	н/о	н/о	27,2
Zn	32,0	15,7	17,6	19,6	22,6	38,5	32,0	<b>58,6</b>
Mn	50,8	44,0	61,2	66,8	57,0	68,2	73,0	85,4

Метод определения фитотоксичности методом проростков [21] основан на реакции тест-культур при внесении в почву отхода (ОСВ и цементной пыли), он позволяет выявить ингибирующее действие веществ, их стимулирующее влияние, активизирующее развитие тест-культур. Фитотоксический эффект (ФЭ) рассчитан по массе растений по формуле (%):

$$ФЭ = \frac{M_K - M_X}{M_K} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $M_K$  – масса всех растений на сосуд в контрольном сосуде;  $M_X$  – масса всех растений, выращенных на предположительно фитотоксичной среде.

Для каждого вегетационного сосуда рассчитывали вес высушенной зеленой массы. На рис. 7–9 представлены диаграммы, по которым можно проследить стимулирующее влияние и ФЭ в зависимости от количества ОСВ и пыли электрофильтров. Как показали исследования, ФЭ по

массе на сосуд для проростков *Hordéum vulgáre* наблюдается при содержании осадка в количестве ближе к 100 %. Отрицательный результат при расчете ФЭ говорит о стимулирующем эффекте ОСВ на проростки семян. Аналогичные

результаты получены и для проростков *Triticum vulgáre* к окончанию вегетационного периода (для них фитотоксический эффект вообще отсутствует).

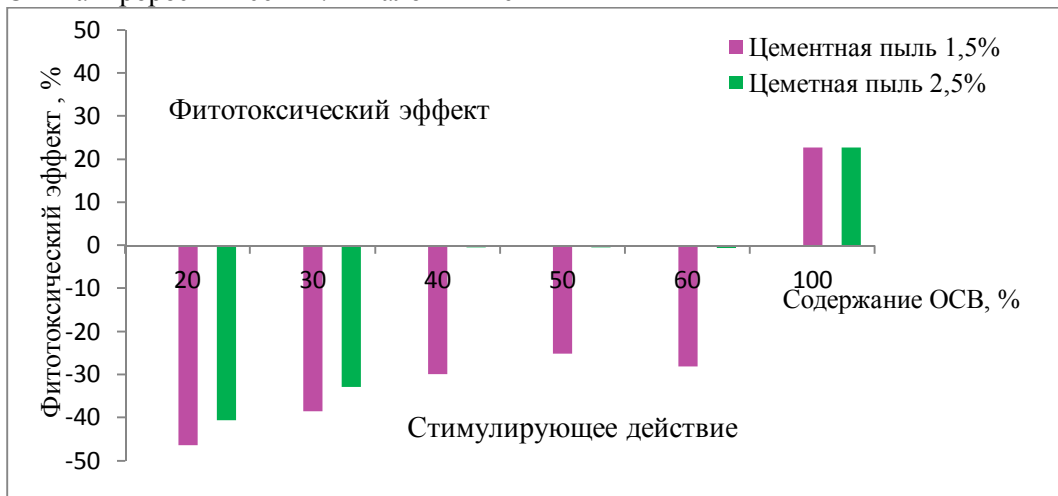


Рис. 7. Стимулирующее и фитотоксическое действие почвенных смесей с добавкой ОСВ на проростки *Hordéum vulgáre* (по массе в вегетационном сосуде на 28 день)

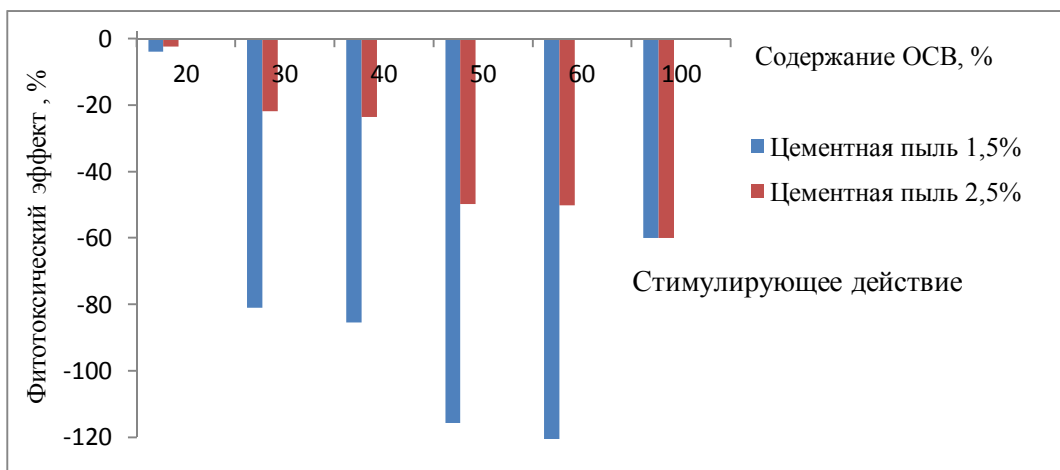


Рис. 8. Стимулирующее действие почвенных смесей с добавкой ОСВ на проростки *Triticum vulgáre* (по массе в вегетационном сосуде на 28 день)

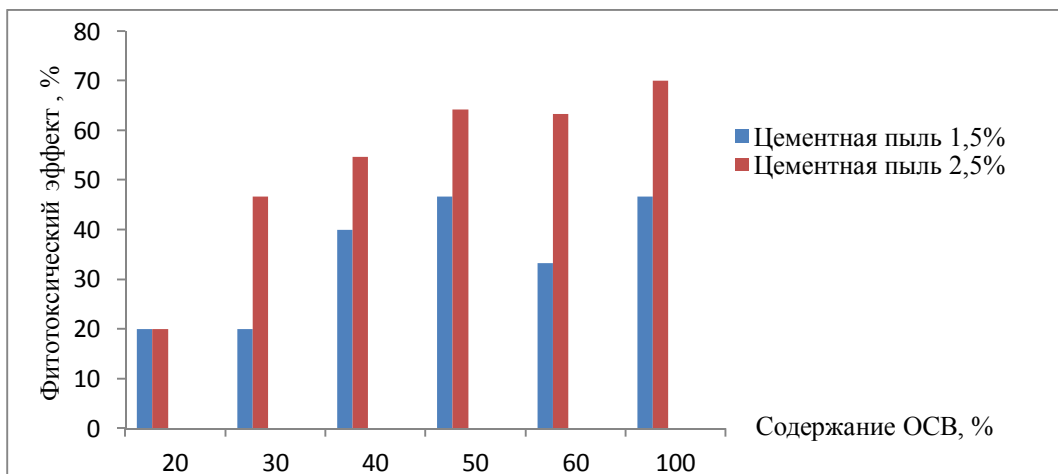


Рис. 9. Фитотоксическое действие почвенных смесей с добавкой ОСВ на проростки *Lepidium sativum* (по длине стеблей на 15 день эксперимента)

Самым чувствительным тест-объектом оказался кресс-салат, фитотоксическое действие наблюдается при содержании ОСВ от 20 до 100 % в почвенных смесях, причем ФЭ выше в случае использования пыли электрофильтров цементного производства в количестве 2,5 %. Осадки сточных вод следует использовать в качестве органо-минерального удобрения в дозах от 20 до 40 т/га при влажности 50%. Согласно полученным данным при фиксировании всхожести и длины стеблей, рекомендуемая норма осадка для пшеницы и ячменя составляет до 30–40%.

**Выводы.** Установлено фитотоксическое действие осадка биологической очистки и пыли электрофильтров цементного производства при их добавке к почве. Самым чувствительным тест-объектом оказался кресс-салат (*Lepidium sativum*), фитотоксическое действие наблюдается при содержании осадка в почвенных смесях от 20 до 100 %, причем ФЭ по длине проростков выше в случае использования пыли электрофильтров в количестве 2,5%. ФЭ по массе на сосуд для проростков ячменя (*Hordéum vulgáre*) наблюдается при содержании ОСВ в количестве ближе к 100 %. ФЭ для проростков *Triticum vulgáre* вообще отсутствует.

Методом рентгеноструктурного анализа определено содержание четырех тяжелых металлов (цинк, железо, марганец и медь) в золе зеленой массы сельскохозяйственных культур *Triticum vulgáre* и *Hordéum vulgáre*. Установлено, что содержание меди не превышает во всех случаях. Для марганца наблюдается тенденция к увеличению с ростом доли осадка биологической очистки в составе почвенной смеси (но он не нормируется в грубых и сочных кормах). Содержание железа и цинка превышает норму в сухой массе ячменя от 50 % его содержания в почвенных смесях (при содержании пыли электрофильтров цементного производства 2,5 %, но не при 1,5%). Железо также превышает при 60 % его содержания в зеленой массе пшеницы. При выращивании в 100 % осадке цинк и железо в зеленой массе пшеницы превышают.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Старостина И.В., Овчарова И.В., Дауд Р., Антипова А.Н. Органоминеральные удобрения – перспективность использования осадков сточных вод для их получения // Сб. материалов Междунар. научно-техн. конф. «Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды», 24–25 ноября 2015 г., Белгород. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. Ч. III. С. 346–355.
2. Довгань С.А. Экологические, технологические и экономические аспекты использование осадков сточных вод // Экология и промышленность России. 2012. № 5. С. 28–30.
3. Пахненко Е.П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения: учебное пособие. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 311 с.
4. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. М.: Стандартинформ, 2008. 5 с.
5. ГОСТ Р 54534-2011. Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при использовании для рекультивации нарушенных земель. – М.: Стандартинформ, 2012. 8 с.
6. ГОСТ Р 54535-2011 «Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при размещении и использовании на полигонах». М.: Стандартинформ, 2012. 7 с.
7. Нефедов Б.К., Ермилов В.В., Поляков В.С. Использование осадков сточных вод в качестве органо-минерального удобрения // Экология и промышленность России. 2007. № 11. С. 42–45.
8. Старостина И.В., Дауд Р., Антипова А.Н. Использование кальцийсодержащих материалов для извлечения тяжелых металлов из активного ила // Сб. материалов Междунар. научно-техн. конф. «Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды», 24–25 нояб. 2015 г., Белгород. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. Ч. III. С. 342–346.
9. Гуляева И.С. Разработка способов и технологий обработки осадков городских сточных вод, содержащих тяжелые металлы // Водоочистка. 2015. № 11–12. С. 47–59.
10. Никовская Г.Н., Калиниченко К.В., Бойко Ю.П. Изменение поверхностных свойств активного ила после выщелачивания тяжелых металлов // Химия и технология воды: междунар. науч.-техн. журн. Т. 35. № 4. С. 320–330.
11. Бернадинер И.М., Степанова Т.А., Хорева П.В., Д.Д. Чевычелов, Д.А. Николаев, Бернадинер М.Н. // Экология и промышленность России. 2012. № 6. С. 44–45.
12. Пындак В.И., Помогаев Е.Ф. Решение экологических проблем на очистных сооружениях с получением высокоэффективных удобрений // Водоочистка. 2013. № 1. С. 67–70.
13. Ксенофонов Б.С. Утилизация осадков сточных вод путем компостирования с торфом // Экология производства. 2011. № 2. С. 40–44.
14. Дьяков М.С., Вайсман Я.И., Глушанкова И.С. Экологически безопасный способ утилизации твердых отходов биохимических очистных сооружений с получением продуктов, обладающих



щих товарными свойствами // Экология и промышленность России. 2013. № 11. С. 53–57.

15. Сватовская Л.Б., Титова Т.С., Русанова Е.В. Новый строительный материал из осадка сточных вод // Экология и промышленность России. 2005. № 10. С. 20–21.

16. Соколов Л.И. Использование осадков сточных вод при производстве строительных материалов // Экология и промышленность России. 2006. № 2. С. 19–21.

17. Сметанин В.И., Земсков В.Н. Результаты исследования физико-механических свойств смесей осадка сточных вод с грунтами и фосфогипсом для использования их в качестве рекультивантов // Вестник МГСУ: науч.-техн. журн. по строительству и архитектуре. 2013. № 6. С. 204–213.

18. Сметанин В.И., Земсков В.Н. Исследование специально подготовленного осадка сточных вод, используемого для рекультивации

нарушенных земель // Природообустройство: науч.-техн. журн. 2013. № 3. С. 14–18.

19. Капелькина Л.П., Скорик Ю.И., Венцюлис Л.С. Использование осадка сточных вод для рекультивации земли на полигонах ТБО // Экология и промышленность России. 2009. № 9. С. 52–55.

20. Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках (утвержденные ГУВ Госагропрома СССР 07.08.87 № 123-4/281-7 и согласованные с зам. Главного государственного санитарного врача СССР 19.08.87).

21. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: Учеб. пособие для хим., хим.-технол. и биолог. спец. вузов. М: Высшая школа, 2002. 334 с.

---

**Vasilenko T.A., Mohammed Abdifatah Hared**

**THE APPLICATION OF SLUDGE MECHANICAL AND BIOLOGICAL TREATMENT DOMESTIC AND INDUSTRIAL SEWAGE AS FERTILIZER**

*According to Russian normative documents, the waste activated sludge generated from the treatment of domestic and industrial wastewater in the biological treatment plant of Belgorod assigned to the first category and can be used under all kinds of crops, except vegetable, in the same time it is fully suitable for technical and biological recultivation of soils polluted by heavy metals. Conducted an experiment using mixed sewage sludge in different proportions with the soil and together with the electrostatic dust cement production (in quantities of 1.5 and 2.5%). Selection of an optimal soil mixture containing the precipitate biological and mechanical sewage treatment and electrostatic dust cement production. Defined phytotoxicity, germination and stem length of seeds of watercress (*Lepidium sativum*), barley (*Hordéum vulgáre*) and wheat (*Triticum vulgare*) in soil mixtures. The x-ray diffraction analysis determined the contents of four heavy metals (zinc, iron, manganese and copper) in the ash of the green mass of seedlings of crops *Triticum vulgáre* and *Hordéum vulgáre* that were grown in soil mixtures with the addition of sediment.*

**Key words:** *sewage sludge, organic-mineral fertilizers; heavy metals, phytotoxicity, electrostatic dust cement production, soil.*

---

**Василенко Татьяна Анатольевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной экологии Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: land-vna78@list.ru

**Мохаммед Абдифатах Харед**, магистрант кафедры промышленной экологии Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.