

На правах рукописи



ГУНИНА ЕВГЕНИЯ АЛЕКСАНДРОВНА

**АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ОЧИСТНЫХ
СООРУЖЕНИЙ ЮЖНОЕ БУТОВО Г.МОСКВЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В
АГРИКУЛЬТУРЕ**

Специальность 06.01.04 - агрохимия

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук**

Москва - 2017

Диссертационная работа выполнена на кафедре агроинформатики факультета почвоведения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Научный руководитель:

Пахненко Екатерина Петровна, доктор биологических наук, профессор кафедры агроинформатики факультета почвоведения ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Официальные оппоненты:

Мерзлая Генриэта Егоровна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующая лабораторией агрохимии органических и известковых удобрений ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»

Шабает Валерий Павлович, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник группы биогеохимических технологий ФГБУН «Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук»

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева»

Защита диссертации состоится «__» _____ 2017 года в __ ч. __ мин. в аудитории М-2 на заседании Диссертационного совета Д 501.002.13 при ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» по адресу: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы д.1, стр.12, факультет почвоведения.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский проспект, 27, отдел диссертаций) и на сайтах <http://istina.msu.ru/dissertations/44509548/> и <http://soil.msu.ru/nauka/uchenyj-sovet>

Автореферат разослан «__» _____ 2017г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просьба направлять по адресу: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова, д. 1, стр.12, факультет почвоведения, Учёный совет. Тел/Факс: (495)9392947

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 501.002.13
кандидат биологических наук

Костина Наталья Викторовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Количество городских стоков и осадков сточных вод (ОСВ) постоянно растет, вместе с этим обостряются проблемы, связанные с их рациональной, экономически эффективной и экологически безопасной утилизацией. Предлагаются качественно новые и совершенствуются уже используемые методы очистки стоков, обезвоживания и хранения ОСВ.

Исследование возможных путей утилизации осадков сточных вод началось в 60-80-х гг. XX века (Мерзлая, 1964; Giordana et al, 1975; Copolla et al, 1983; Hsieh et al, 1981; Евилевич, 1988). На современном этапе сформировались несколько основных путей использования ОСВ в агроценозе: в зеленом строительстве, сельском хозяйстве и лесоразведении (Воробьева, 1995; Романов, 1997-2010; Титова, Варламова, 2006; Куликова и др., 2007; Белюченко, Бережная, 2012). В настоящее время, в среднем по Российской Федерации (РФ) в качестве нетрадиционных удобрений используется 10% осадков (Аристархов, 2000). По данным отчета Европейской комиссии, средний процент осадков, используемых в агрикультуре в странах ЕС, составляет $\approx 40\%$ (Laternus, et al, 2007; Kouloumbos et al, 2008; Pijuan et al, 2010).

В современных условиях агропроизводства применение осадков определяется подкислением почв, особенно в Нечерноземной зоне, и снижением уровня применения традиционных органических удобрений. Изучение ОСВ в РФ и за рубежом показало, что реутилизация органических отходов в сельском хозяйстве, лесоводстве и зеленом строительстве позволяет нивелировать нарушения в биологическом круговороте углерода, азота, фосфора и других биофильных элементов (Минеев и др., 2003; Плеханова, Бамбушева, 2009; Kandeler et al, 1996; Sepulvado et al, 2011).

В 2000-2015 гг. особую актуальность приобрели исследования, в которых проводится оценка эффективности применения ОСВ, их экологической и радиологической безопасности, а также влияния на качество урожая (Курганова и др., 1999; Филиппова, Мелько, 2009; Ушаков, 2009; Косачев, 2010; Александрова, 2011; Харкевич, 2011). Комплексное агроэкологическое исследование осадков сточных вод и компостов на их основе, а также проведение модельных, вегетационных и микрополевых опытов позволяет разрабатывать и дополнять теоретическую базу, необходимую для оптимизации применения данного вида нетрадиционных удобрений в агрикультуре и решения проблем их экологически безопасной утилизации.

Цель работы - комплексная агроэкологическая оценка, изучение возможности применения в агрикультуре реагентных осадков сточных вод и компостов на их основе современных очистных сооружений коммунально-бытовых сточных вод «Южное Бутово» г. Москвы (Юж. Бутово), а также безреагентных ОСВ и компостов Курьяновской станции аэрации (КСА). Изучение перспектив использования осадков сточных вод длительного срока хранения на примере ОСВ г. Сергиев Посад Московской обл.

Задачи исследования:

1. Определить состав, качество ОСВ и компостов на их основе по агрохимическим, санитарно-эпидемиологическим и токсикологическим показателям.
2. Оценить возможность использования осадков и компостов в качестве нетрадиционных органических удобрений в условиях городских почв.

3. Изучить влияние реагентных и безреагентных ОСВ и компостов при внесении на урбаноземе на развитие газонных трав и технических культур в условиях вегетационных и микрополевых опытов.
4. Определить содержание биоэлементов, тяжелых металлов и мышьяка в биомассе сельскохозяйственных растений с учетом суммарного поступления из почвы, осадков и компостов.
5. Исследовать динамику основных агрохимических показателей дерново-подзолистых почв и урбанозема в системе почва-ОСВ при оптимальных гидротермических условиях.
6. Провести эколого-агрохимическую оценку ОСВ длительного срока хранения на иловых картах г. Сергиев Посад для последующей реутилизации их в агрикультуре и дорожном строительстве.

Положения, выносимые на защиту:

1. Реагентный осадок сточных вод Юж. Бутово, полученный по современной технологии очистки, является экологически безопасным эффективным органическим удобрением.
2. Сравнительное изучение агрохимических, токсикологических и санитарно-эпидемиологических свойств реагентных осадков сточных вод очистных сооружений Юж. Бутово и безреагентных осадков КСА показывает преимущество первого.
3. Принудительное термофильное компостирование безреагентных осадков с древесной щепой (2:1) снижает санитарно-эпидемиологическую нагрузку и делает компост пригодным к использованию в агроценозе.
4. Применение реагентных осадков и компостов на их основе, а также компостов на основе безреагентных осадков КСА, является экологически безопасным методом их утилизации, эффективным способом сохранения и повышения уровня плодородия почвы.
5. Осадки сточных вод длительного срока хранения на иловых картах целесообразно использовать в озеленении, рекультивации дорог и городских территорий.

Научная новизна. Впервые в отечественной практике проведена комплексная агроэкологическая оценка различных партий реагентного осадка и компоста на его основе очистных сооружений Юж. Бутово, проведено его сравнение с безреагентными ОСВ и компостами Курьяновской станции аэрации, работающей по традиционной отечественной технологии. Установлено, что при регулируемом внесении и соответствующем подборе культур, возможно получение устойчивых прибавок урожая при использовании реагентных ОСВ с высоким значением рН.

Изучено воздействие реагентных и безреагентных ОСВ г. Москвы на продуктивность райграса *Lolium perenne* L., овсяницы *Festuca rubra*, рапса *Brassica napus*, льна *Linum usitatissimum* и поступление в них макроэлементов, тяжелых металлов (ТМ) и стронция. Впервые изучена динамика рН, нитратного и аммонийного азота, подвижного фосфора, обменного калия в системе почва-ОСВ в условиях годового модельного опыта на дерново-подзолистых почвах Московского региона разного гранулометрического состава и уровня окультуренности.

Теоретическая и практическая значимость. Для оценки использования в качестве удобрения коммунально-бытовых, реагентных ОСВ очистных сооружений Юж. Бутово г. Москвы применялся комплексный подход, позволяющий учитывать состав осадка, влияние на урожай выращиваемых культур, поступление биоэлементов и ТМ в биомассу растений, а также показаны процессы трансформации основных

элементов питания растений в почве с течением времени. Определена возможность рациональной утилизации осадков длительного срока хранения г. Сергиев Посад Московской обл.

Личный вклад диссертанта в получение научных результатов, выносимых на защиту, заключался в комплексном агроэкологическом исследовании ОСВ Юж. Бутово и КСА, подготовке растительных образцов к анализу, проведении агрохимического анализа почв. С личным участием диссертанта поставлен ряд вегетационных и микрополевых опытов с внесением ОСВ и компостов. Изучена трансформация основных биогенных элементов в системе почва-удобрение в модельном опыте с реагентным осадком сточных вод. Методом жесткого биотеста проведена оценка осадков и компостов на их фитотоксичность. Выполнена статистическая обработка полученных результатов, сформулированы основные положения работы и выводы.

Апробация работы. Основные результаты работы были представлены и обсуждались на XV международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых ЛОМОНОСОВ-2008 (Москва), Научных чтениях памяти Я.В. Бочкарева «Современные энерго- и ресурсосберегающие экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства» (Рязань, 2009), Международной научно-практической конференции «Почва - удобрение - плодородие – урожай» (Минск, 2009), Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Экологические проблемы промышленных городов» (Саратов, 2009), Международной научно-практической конференции «Научные основы экологии, мелиорации и эстетики ландшафтов» (Москва, 2010), III международной научной конференции «Современные проблемы загрязнения почв» (Москва, 2010), Международной научно-практической конференции «Экологическое нормирование, сертификация и паспортизация почв как научная основа рационального землепользования» (Москва, 2010), VI съезде почвоведов им. В.В. Докучаева «Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования» (Петрозаводск – Москва, 2012), IV Международной экологической конференции «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленности и сельскохозяйственного производства» (Краснодар, 2015), V съезде почвоведов и агрохимиков «Воспроизводство плодородия почв и их охрана в условиях современного земледелия» (Минск, 2015), а также на заседании кафедры агроинформатики ф-т почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова.

Публикации. По результатам исследований опубликованы 14 печатных работ, из них 2 статьи в реферируемых изданиях, включенных в список ВАК.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, описания объектов и методов, экспериментальной части и выводов. Материалы работы изложены на 142 страницах и содержит 41 таблицу и 23 рисунка.

Список литературы включает 276 публикаций, из них 65 зарубежные.

Благодарности. Выражаю глубокую признательность за помощь и постоянную поддержку, ценные советы и консультации научному руководителю заслуженному проф., д.б.н. Е.П. Пахненко и заведующему каф. агроинформатики, проф., д.т.н. Д.М. Хомякову. Выражаю искреннюю благодарность администрации и сотрудникам МГУП «Мосводоканал» к.б.н., главному специалисту Николаеву Ю.А., к.б.н., ведущему инженеру, Грачеву В.А., Мартыновой П.С., администрации МУП «Водоканал» г. Сергиев Посад Московской обл., а также сотрудникам аккредитованной лаборатории «Роса» за консультативную помощь, ценные рекомендации при планировании экспериментов, создание доброжелательной рабочей атмосферы коллективе.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность исследуемой проблемы, ставятся цели и задачи исследования, обсуждается их научная новизна и практическая значимость.

Глава 1. Обзор литературы.

В обзоре литературы диссертационной работы на основе анализа отечественной и зарубежной литературы рассмотрены состав осадков, пути их использования, влияние на свойства почвы, урожай и качество растений (Стратегия использования..., 2002; Пахненко, 2009; Blaszczyk, 2007; Laturnus et al, 2007; Hussein, 2009), обобщен опыт по обезвреживанию и обеззараживанию осадков различными методами: компостирование, применение реагентов и др. (Основные направления..., 1990; Афанасьев, Мерзлая, 2001; Viau, 2011; Aubain et al, 2002; Global atlas..., 2008).

На основании анализа литературы установлено, что за последние 20 лет отмечено улучшение качества ОСВ, снижение в них опасных токсикантов (ТМ, ПАУ и др.) за счет сокращения техногенной нагрузки и применения новых технологий очистки (Седых и др., 2000; Стратегия использования ..., 2002; Мерзлая, Афанасьев, Веселов, 2015). Следует обратить внимание, что в целом, осадки сточных вод отличаются высоким содержанием органического вещества - до 38,7%, азота 0,9-3,85%, фосфора - 0,88-5,63%, калия 0,13-0,72% на сухое вещество; их применение обеспечивает возврат органического вещества и других элементов питания в биологический круговорот (Еськов и др., 2004; Пахненко, 2013; Васбиева, 2015).

Анализ результатов полевых многолетних, вегетационных, кратковременных и модельных опытов показал, что осадки и компосты на их основе:

- оказывают позитивное влияние на качество почвы: улучшают физические свойства (снижают плотность, объемную массу; увеличивают агрегированность), особенно, на песчаных слабокультурных, эродированных и деградированных почвах (Рэуце, Кырстя, 1986; Чекаев, 2010; Степанова и др., 2012; Saviozzi et al, 1999); способствуют снижению гидролитической кислотности, повышению суммы обменных катионов и емкости катионного обмена (Гостищев, 2001; Кутукова, Плеханова, 2002; Дорошкевич, Убугунов, 2002; Анциферова, 2003; Куликова, 2007). Они являются источниками органического вещества, доступного азота, фосфора и микроэлементов для растений (Толстопятова, 2001; Селивановская и др., 2001; Андропова, 2002; Титова, Варламова 2006; Johansson et al, 1999).
- обеспечивают прибавку урожая и улучшают качество сельскохозяйственных растений (Захаренко, 2004; Hussein, 2009; Sabey, Hart, 1975; Giordana et al, 1975; Miller et al, 1995; Saviozzi et al, 1999). Осадки оказывают позитивное влияние на древесные растения и декоративные кустарники, успешно используются в лесопитомниках (Маврина, 2001; Романов и др., 2010; Архангельский и др., 2012; Залесов и др., 2015);
- их внесение характеризуется значительным последствием (Мерзлая, 2004; Таран, Майдебур, 2009);
- при регламентированном внесении осадки обеспечивают высокий агрономический эффект и снижают накопление ТМ и других опасных токсикантов в биомассе растений и почве (Гостищев, 2001; Бадмаев и др., 2009; Плеханова, 2009; Johansson et al, 1999; Mårtensson, Witter, 1990; Goyal et al, 2008).

Глава 2. Объекты и методы исследований.

Впервые в отечественной практике в сотрудничестве с МГУП «Мосводоканал» было проведено комплексное исследование реагентных осадков сточных вод новых очистных сооружений Юж. Бутово (табл. 1). Мощность очистных сооружений – 80 тыс.м³ городских сточных вод в сутки. В технологическом процессе их работы применяется обработка ОСВ негашеной известью, а также *впервые в РФ включена технология биологического удаления соединений азота и фосфора*. Для сравнения были взяты безреагентные осадки крупнейшей в Европе Курьяновской станции аэрации (КСА), производительностью 3,1млн.м³ в сутки, работающей по классической технологической схеме (Мерзлая, 1995; Ванюшина и др., 2004; Плеханова, 2009).

Таблица 1.

Показатели осадков сточных вод Южное Бутово (Юж. Бутово) и Курьяновской станции аэрации (КСА).

Показатель	Юж. Бутово	КСА	ПДК (ГОСТ Р 17.4.3.07-2001)
Влажность, %	63-72	72	не норм.
Органическое вещ-во, %	39-50	53	≥20
рН Н ₂ О/КСl	9,2-11,9	7,2	5,5-8,5
<i>Валовое содержание биогенных элементов в сухом веществе</i>			
N-общий, %	3,0-4,2	3,4	≥0,6
P ₂ O ₅ , %	3,8-5,2	6,3	≥1,5
K ₂ O, %	0,2-0,4	0,4	не норм.

Компостирование осадков сточных вод КСА в термофильном режиме с периодической принудительной аэрацией проводили в «контейнере – минибурте» V=450л, наполнитель - щепа лиственных пород в соотношении осадок:щепа – 2:1; C:N=20-35. Температура процесса – 55-65°C, что соответствует температуре обеззараживания компоста. Длительность компостирования - 30 дней, 14 из которых пришлось на термофильную стадию, а 16 – на стадию остывания и дозревания компоста.

Компостирование ОСВ Юж. Бутово проводили в буртах на открытом воздухе, смесь ОСВ:опилки в соотношении 2:1 накрывали пленкой и крышкой для создания анаэробных условий и защиты от атмосферных осадков. Срок компостирования 1 год.

Почвы для проведения микрополевых и вегетационных опытов были взяты на территории КСА г. Москва, Юго-Восточный Административный округ. Морфологическое изучение разреза, последующий анализ и знакомство с литературой показало, что данные почвы можно отнести к урбанозему и агроурбанозему (Строганова, Мягкова, 1997; Герасимова и др., 2003). Вегетационные опыты с овсяницей красной проводили на моренном суглинке строительных отвалов (котлованов) также с территории КСА. В модельном опыте с ОСВ Юж. Бутово использовали дерново-подзолистую среднеокультуренную, дерново-подзолистую слабоокультуренную почвы (Московская область, Сергиево-Посадский р-н) и городскую почву (слабонарушенный урбанозем, г. Москва, Северо-Западный район).

Возможность рационального применения осадков и компостов на их основе в агрикультуре изучали в условиях микрополевых, вегетационных и модельных опытах; высевали райграс многолетний *Lolium perenne* L., овсяницу красную *Festuca rubra*, рапс яровой *Brassica napus* и лен масличный *Linum usitatissimum* L.

Закладку, проведение опытов, отбор образцов и их аналитическую обработку осуществляли по классическим методам (Агрохимические методы..., 1976; Практикум по агрохимии, 2001). Вегетационные опыты проводили в фитотроне, который надежно обеспечивал регулирование $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ и светового потока (цикл свет/темнота 14/10ч). Вес воздушно-сухой почвы в сосуде 14 кг. Полив проводили регулярно, поддерживая влажность почвы 60% от ППВ. Срок вегетации - 2,5, 3,5 мес. для райграса и овсяницы соответственно. Повторность опытов 5-кратная. Микрополевые опыты проводили на территории опытного участка КСА, вносили 15кг/м^2 осадков Юж. Бутово и 20кг/м^2 компост КСА. Площадь делянки 10м^2 . Срок вегетации растений - 3,5 мес, повторность опыта 3-кратная.

Влияние осадка Юж. Бутово на агрохимические свойства дерново-подзолистых почв и урбанозема изучали в условиях годичного модельного эксперимента.

Методы экспериментальных определений. При определении агрохимических свойств почв, компостов и осадков руководствовались общепринятыми методами агрохимических исследований «Практикум по агрохимии», 2001, «Агрохимический анализ почвы, растений и удобрений», 1998. Исследования проводили совместно и на базе аккредитованного аналитического центра «Роса», г. Москва

Влажность почвы, осадка и компоста определяли гравиметрическим методом, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O/KCl}}$ – потенциометрически, содержание азота общего – титриметрически после отгонки аммиака по методу Кьельдаля, калий общий – методом пламенной фотометрии, фосфор общий – методом фотометрии по фосфорно-молибденовому комплексу, содержание органического вещества – по Тюрину. Подвижные формы биогенных элементов определяли: содержание нитратов - ионометрическим методом, аммонийный азот - фотометрическим методом в водной вытяжке, подвижный фосфор - спектральным методом (ГОСТы 26717-85; 26951-86; 27753.8-88; ПНДФ 16.2.2:2.3.71-2011).

Валовое содержание тяжелых металлов в осадках, компостах и почвах определяли методом масс спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP, ICP-MS). Подвижные формы тяжелых металлов определяли в ацетатно-аммонийном буфере $\text{pH} 4,8$; кислоторастворимые формы - в 1М HNO_3 методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии (МУ МСХ ЦИНАО, 1992; ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98).

Санитарно-эпидемиологические показатели осадков и компостов: наличие бактерий группы кишечной палочки, сальмонелл, термотолерантных колиформ, гелиминтологические и вирусологические показатели определяли методом микроскопирования насыщенных растворов согласно МУК 4.2.2661-10.

Полициклические ароматические углеводороды определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в градиентном режиме, в качестве подвижной фазы использовали градиент ацетонитрил+вода (бидистиллят) (ЕРА 8310).

Фитотоксичность осадков Юж. Бутово определяли методом жесткого биотеста по модифицированному методу Цуккони с тест-культурой – кресс-салат. (Zukkoní, 1981; Ванюшина и др., 2004). Фитотоксичность осадков длительного срока хранения - по методике, приведенной в СанПиН 2.1.7.573-96, в качестве тест-культуры использовали редис розово-красный.

Учет урожая проводили поделяночно вручную. Отбор образцов, пробоподготовку и химический анализ биомассы растений на содержание макроэлементов, тяжелых металлов и особо опасных токсикантов проводили в соответствии с методическими указаниями ЦИНАО (1992).

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ MS EXEL и “Statistica 6.0”.

Глава 3. Результаты и обсуждения.

3.1 Свойства осадков сточных вод и компостов на их основе очистных сооружений Южное Бутово и Курьяновской станции аэрации.

В работе проводили комплексное агроэкологическое исследование осадков сточных вод и компостов на его основе Юж.Бутово (рис. 1). Как вариант сравнения, использовали осадок КСА (Плеханова, 2001; Афанасьев, Мерзлая, 2002; Вайсфельд, Кремер, 2002; Кутукова, 2002; Минеев и др., 2003) .



Рис. 1 Очистные сооружения Юж. Бутово и Курьяновская станция аэрации.

Осадок сточных вод Юж. Бутово - реагентный, обработан негашеной известью, характер сточных вод, его формирующих, преимущественно коммунально-бытовой, в то время как осадок КСА - безреагентный, смешанный, сформирован коммунально-бытовыми и промышленными сточными водами, поэтому свойства представленных осадков заметно отличаются. Основные показатели осадков Юж. Бутово и компостов на их основе на протяжении исследования анализировали периодически по годам (табл. 2).

Таблица 2.

*Показатели осадков сточных вод и компостов Юж. Бутово и КСА. **

Показатель	Юж. Бутово					КСА		ПДК (ГОСТ Р 17.4.3.07- 2001)
	Осадок				Компост	Осадок	Компост	
	I	II	III	IV				
Влажность, %	68	71	63	72	72	72	74	Не норм
pH _{H2O/KCl}	11,2	9,2	11,9	8,8	8,5	7,2	6,7	5,5-8,5
Содержание в сухом веществе								
Органическое вещество, %	39	50	42	47	36	53	46	≥20
N _{общ} , %	3,0	4,2	3,8	3,6	2,2	3,4	2,5	≥0,6
P ₂ O ₅ , %	4,0	5,4	3,8	5,2	4,3	6,3	6,5	≥1,5
K ₂ O, %	0,3	0,4	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	Не норм

*математическая обработка табл.2-4, 6,8 приведена в диссертации

Осадок Юж. Бутово, в связи с обработкой его негашеной известью, имеет pH=8,8-11,9, что позволяет использовать его как органо-известковое удобрение на

кислых дерново-подзолистых почвах. Кроме этого, при $pH > 10$ происходит деформация и гибель яиц гельминтов, осадки теряют запах, в них прекращается развитие санитарно-опасных микроорганизмов: кишечной палочки и энтерококков. В щелочной среде гуматы кальция связывают подвижные формы тяжелых металлов в комплексы, что снижает их количество в системе почва-осадок-растение (Пилюгина и др., 1981; Захаров, 2004; Гуляева и др., 2012).

Исследуемые осадки имеют высокое содержание органического вещества, превосходящее норматив в 2-3 раза: Юж. Бутово 39-50%, КСА – 53%. Содержание азота и фосфора в осадках сточных вод превышает их содержание в традиционных органических удобрениях – коровьем и конском навозе, и составляет для осадка Юж. Бутово $N_{\text{общ}}=3,0-4,2\%$, $P_{\text{общ}}=3,8-5,4\%$; КСА - $N_{\text{общ}}=3,4\%$, $P_{\text{общ}}=6,3\%$. Содержание кальция в осадках и компостах Юж. Бутово и КСА относительно стабильно $\approx 0,4\%$.

При компостировании осадка Юж. Бутово, значение pH снизилось до 8,5 ед., произошла частичная минерализация органического вещества, его содержание в компосте составила $\approx 36\%$ для Юж. Бутово и до $\approx 46\%$ для КСА; количество азота в компосте Юж. Бутово – 2,2%, в компосте КСА – 2,5%.

Осадок Юж. Бутово содержит 150-180 г/кг кальция в валовой и 45-85 г/кг в подвижной форме, что в среднем 3 раза больше, чем в осадке КСА (табл. 3). Исследования показывают, что в год внесения осадков не весь кальций переходит в почву, поэтому стрессовых ситуаций не наблюдается. Кроме того, кальций в осадке связан с органическим веществом, что обеспечивает постепенный переход его в почвенно-поглощающий комплекс по мере минерализации органического вещества (Анциферова, 2003; Гостищев, 2001).

Таблица 3.

Содержание макроэлементов и стронция в осадках сточных вод Юж. Бутово и КСА, в г/кг сухого вещества

Элемент	Валовое содержание		Кислоторастворимые формы $1n\ HNO_3$		Подвижные формы ацетатно-аммонийный буфер	
	Юж. Бутово	КСА	Юж. Бутово	КСА	Юж. Бутово	КСА
Ca	150-180	54,0	-	-	45,0-85,0	20,0
Mg	5,6-5,9	7,2	4,7-5,6	5,2	0,6-0,8	2,4
Al	2,5-4,3	43,0	0,8	41,0	0-0,02	н.п.о.*
Fe	22-35	17,0	0,02	8,2	0-0,01	н.п.о.
Sr	0,2	0,6	0,1-0,2	0,6	0,03-0,07	0,1

*н.п.о.- ниже предела обнаружения

Содержание алюминия в осадке Юж. Бутово составляет 2,5-4,3 г/кг, что в среднем в 14 раз ниже, чем в осадке КСА. Низкое содержание алюминия является позитивным фактором, особенно при внесении их на кислых, слабоокультуренных почвах.

Содержание валовых форм стабильного стронция в осадках Юж. Бутово по годам исследований не превышало 0,19 г/кг, в осадках КСА – 0,57 г/кг. Компостирование осадков практически не влияет на доступность и содержание Sr в растениях. Кислоторастворимые формы Sr составляют $>90\%$, содержание подвижных форм – низкое $\leq 0,1$ г/кг.

Валовое содержание тяжелых металлов и мышьяка в ОСВ Юж. Бутово соответствует установленным нормативам для осадков I группы, позволяющими использовать данный осадок под основные сельскохозяйственные культуры, кроме овощных, зеленых, грибов и земляники (Типовой технологический регламент..., 2000) (рис. 2).

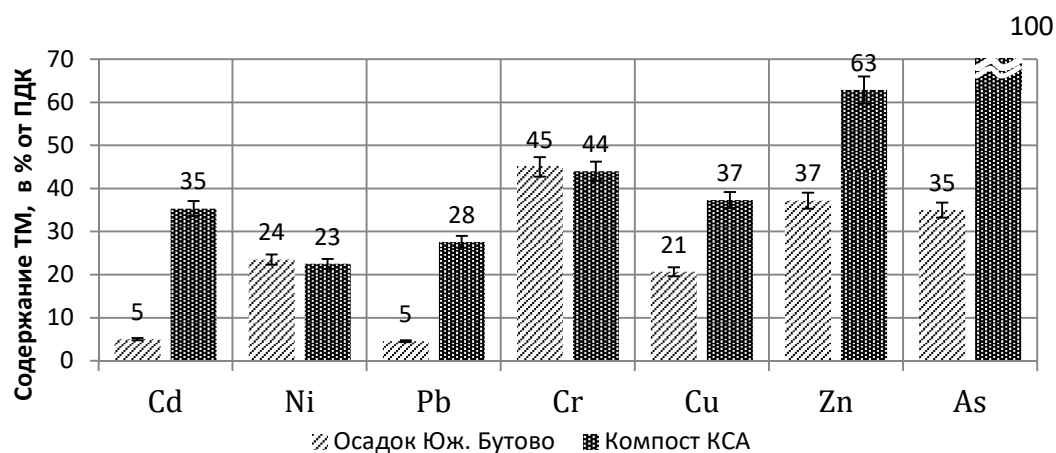


Рис. 2. Валовое содержание тяжелых металлов и мышьяка в осадках Юж.Бутово и компостах КСА, в % от ПДК для I группы осадков.

В основном тяжелые металлы в осадке сточных вод представлены кислоторастворимыми формами. Так, цинк в осадке Юж. Бутово на 80% в кислоторастворимой форме, а в осадке КСА на 100%, при этом содержание подвижных форм составляет всего 5 и 2 % соответственно, установленная закономерность отмечается для всех остальных тяжелых металлов (табл. 4).

В осадке Юж. Бутово подвижные формы кадмия, свинца и мышьяка ниже предела обнаружения; медь на 35% представлена подвижными формами, а никель на 20%. Подвижные формы других ТМ находятся в пределах 1-5%. При низком уровне этих элементов в почвах московского региона, повышается удобрительная ценность осадка (Курганова, 2002). Низкое содержание тяжелых металлов в осадке Юж. Бутово наблюдалось весь период исследования (рис. 3).

При разложении органического вещества осадков возможно увеличение доли подвижных форм кадмия в почве, но исходно низкое содержание кадмия в осадке Юж. Бутово обеспечивает безопасность его применения. Установлено, что одностороннее внесение карбонатов кальция и магния снижает подвижность металлов в почве, но их эффект значительно слабее, чем детоксикация элементов за счет суммарного внесения органических, минеральных удобрений и изменения кислотности среды. Внесение ОСВ и компостов на их основе снижает биодоступность никеля, цинка, свинца и меди, что связано с улучшением кислотно-основных свойств почвы (Овчаренко, 2005; Белецкая, Шестакова, 2009; Большева, Лопатина, 2011).

По данным НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина, содержание гигиенически значимых неорганических веществ в осадках КСА за последние 10 лет снизилось в 5-10 раз. Удельная активность природных радионуклидов не превышала за многолетний период 25 Бк/кг осадка (Ушаков, 2009), что значительно ниже нормативных значений для минеральных удобрений и агрохимикатов – $1 \cdot 10^3$ Бк/кг.

Таблица 4.

Содержание тяжелых металлов и мышьяка в осадках и компостах очистных сооружений Юж. Бутово и КСА, в мг/кг сухого вещ-ва

Элемент	Валовое содержание				Кислоторастворимые формы $I_n HNO_3$				Подвижные формы ацетатно-аммонийный буфер				ПДК ГОСТ Р 17.4.3.07- 2001	
	Юж. Бутово		КСА		Юж. Бутово		КСА		Юж. Бутово		КСА		I	II
	осадок	компост	осадок	компост	осадок	компост	осадок	компост	осадок	компост	осадок	компост		
Cd	0,8	0,8	6,0	5,3	0,4	0,7	4,6	5,4	0	0,1	0,3	0,7	15	30
Ni	47,0	39,0	40,0	45,0	33,0	35,0	30,0	33,0	9,8	5,0	2,3	1,8	200	400
Pb	11,5	11,5	61,0	69,0	5,4	9,6	30,0	40,0	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	250	500
Cr	225,0	335,0	160,0	220,0	180,0	250,0	110,0	150,0	0,4	1,5	н.п.о.	н.п.о.	500	1000
Cu	155,0	145,0	280,0	280,0	110,0	110,0	150,0	210,0	53,0	9,9	3,3	4,8	750	1500
Zn	650,0	750,0	970,0	1100,0	490,0	730,0	910,0	1100,0	28,0	15,0	13,0	19,0	1750	3500
Mn	360,0	340,0	1900,0	1100,0	240,0	280,0	1800,0	1000,0	4,4	21,0	170,0	8,5	-	-
As	3,5	4,2	14,0	10,0	1,4	2,1	10,0	7,8	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	10	20

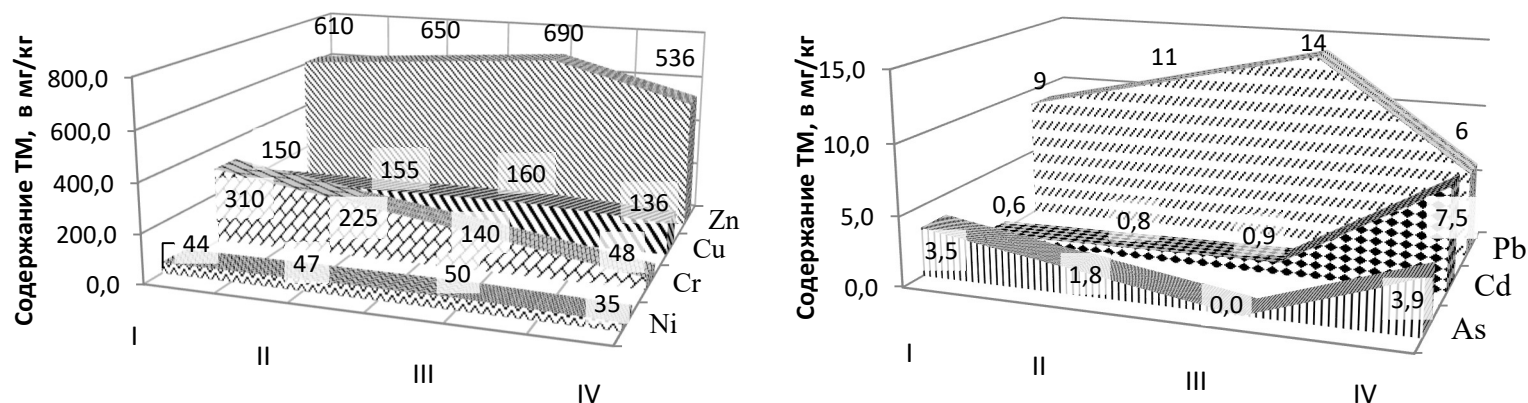


Рис. 3. Динамика валового содержания тяжелых металлов и мышьяка в осадках Юж. Бутово по годам исследования, в мг/кг сухого вещества

Санитарно-эпидемиологические показатели осадков определяли по содержанию бактерий группы кишечной палочки, термотолерантных колиформ, сальмонелл, яиц гельминтов и цитопатогенные энтеровирусов. Отдельные партии осадка КСА до стадии сбраживания в метантенках не соответствовали санитарным требованиям, но их свойства стабилизировались в процессе выдерживания осадков на иловых полях и в процессе принудительного термофильного компостирования (табл. 5).

Таблица 5.

*Результаты санитарно-эпидемиологической экспертизы осадков и компостов
Юж. Бутово и КСА.*

Показатели	Юж. Бутово Осадок	КСА		СанПиН 2.1.7.573-96
		Осадок	Компост	
Бактериологические показатели, клеток/г				
БГКП ¹⁾	38	55*10 ⁴	46	10 ²
Колиформы термотолерантные,	5	29*10 ³	4,3	не норм.
Стрептококки фекальные	<8	44*10 ³	<8	не норм.
Сальмонеллы	отс.	обнаружены ²⁾	отс.	отсутствие
Гельминтологические показатели, шт/г				
Яйца гельминтов жизнеспособные	отс.	отс.		отсутствие
Вирусологические показатели, экз/г				
Цитопатогенные энтеровирусы	отс.	отс.		отсутствие

Примечание : ¹⁾ БГКП – бактерии группы кишечной палочки

²⁾ Обнаружены *S.typhimurium*, *S.agona*, *S.saint-paul*

Анализ результатов санитарно-эпидемиологической экспертизы показал, что ОСВ Юж. Бутово и компост КСА являются санитарно-эпидемиологически безопасными, что связано с использованием негашеной извести при обработке осадка Юж. Бутово и уничтожением инфекционных структур в процессе принудительного термофильного компостирования осадка КСА (Саидаминов, 1993; Духина, 2003, Кофман, 2013).

Осадок Юж. Бутово анализировали на содержание органических загрязнителей (полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), С1-пестициды), что особенно актуально в условиях мегаполисов. ПАУ являются одним из наиболее распространенных, токсичных и устойчивых к разложению суперэкоотоксикантов, поступающих в окружающую среду. В табл. 6 показано содержание 11 основных, присутствующих в почвах г. Москвы ПАУ: 6 легких (3-4 ядерных) и 5 тяжелых (5-6 ядерных). Легкие ПАУ в основном имеют биогенное происхождение, тогда как тяжелые ПАУ - индикаторы техногенного загрязнения (Андрюков и др., 1982; Геннадиев и др., 2004; Агапкина и др., 2007; Завгородняя, Бочаров, 2012).

Проведенный анализ показал, что содержание ПАУ в осадках Юж. Бутово находилось в пределах установленных нормативов (нормируется по содержанию бензапирена), С1-пестициды в осадке были ниже предела обнаружения. В компостах ПАУ прочно сорбировались при введении наполнителей (опилок, щепы и т.д.) в компостную смесь.

Таблица 6.

*Содержание полициклических ароматических углеводородов в осадках
Юж. Бутово, в мкг/кг сухого ОСВ.*

Табл. 1. Содержание ПАУ в образцах донных осадков					
№	Соединение	Содержание, мкг/кг	№	Соединение	Содержание, мкг/кг
Легкие ПАУ			Тяжелые ПАУ		
1	Фенантрен	13,6	7	Бензо(б)флуорантен	4,6
2	Антрацен	6,9	8	Бензо(к)флуорантен	нет
3	Флуорантен	нет	9	Бензо(а)пирен*	1,4
4	Пирен	нет	10	Дибенз(аh)антрацен	нет
5	Бензо(а)антрацен	6,8	11	Бензо(ghi)перилен	нет
6	Хризен	3,4	Суммарное загрязнение		36,7

Примечание: *ПДК бензо(а)пирена 20 мкг/кг

3.2 Агрохимические и токсикологические свойства почв, использованных в микрополевых, вегетационных и модельных опытах.

Агрохимические свойства урбанозема и агроурбанозема, использованных в опыте, типичны для почв данного региона. Содержание валовых форм Al и Fe достаточно высокое – 7-10 г/кг и 10-14 г/кг соответственно, кислоторастворимых форм - не более 19%, а подвижные формы Fe и Al составляли < 1%. Почвы содержали большое количество валовых форм Ca - 10-21 г/кг и Mg - 1,6-1,7 г/кг, около 50% соединений кальция были подвижными. Максимальное валовое содержание тяжелых металлов в урбаноземе наблюдалось для Zn = 98 - 152 мг/кг; Cd = 1,2 - 1,5 мг/кг; As = 6,6 мг/кг.

Моренный суглинок строительных отвалов, использованный в вегетационном опыте с овсяницей красной, практически не содержал биогенных элементов, анализировался только на наличие тяжелых металлов. Валовые формы кадмия, свинца, хрома, меди и мышьяка в нем находились ниже предела обнаружения. Количество никеля, цинка и марганца не превышало предельно допустимых концентраций.

Агрохимические свойства почв, использованных в модельном опыте приведены в разделе 3.5

3.3 Влияние осадков Юж. Бутово и компостов КСА на продуктивность растений в условиях вегетационных и микрополевых опытов.

Одним из путей утилизации осадков является применение их в качестве удобрения. Наиболее целесообразным в условиях мегаполиса - применение ОСВ в зеленом строительстве и рекультивации городских территорий (Стратегия использования..., 2002; Дегтярева, Газизов, 2015; Weniger, 1996;).

Влияние осадка, компоста Юж. Бутово и компоста КСА на развитие овсяницы красной (*Festuca rubra*) изучали на моренном суглинке строительных отвалов. Вносили осадок Юж. Бутово в дозе 10%, компост Юж. Бутово и компост КСА в дозе 20% от веса почвы. Моренный суглинок строительных отвалов с территории КСА имел крайне низкое содержание биогенных элементов. Анализ на содержание ТМ показал отсутствие в субстрате валовых форм кадмия, свинца, хрома, меди и мышьяка, при этом содержание никеля, цинка и марганца не превышало 6,5 мг/кг почвы. Фенологические наблюдения

показали, что при нормальной густоте стояния растений высота травостоя по вариантам опыта в процессе вегетации изменялась от 30 до 40 см. При внесении осадка Юж. Бутово наблюдалось раннее цветение овсяницы (табл.7).

Таблица 7.

Влияние осадков и компостов Юж. Бутово и КСА на продуктивность овсяницы и райграса.

№	Вариант опыта	Биомасса, г сухой массы /сосуд	Средняя высота, см	K _{кущ}	Прибавка уро- жая	
					г/сосуд	%
Овсяница красная (Festuca rubra); почва - моренный суглинок						
1	Контроль	37,2±1,52	28,5±1,43	3	-	-
2	10% осадок Юж. Бутово	59,7±2,84	38,5±1,93	4	22,5	60
3	20% компост Юж. Бутово	62,7±3,03	38,5±1,92	4	25,5	69
4	20% компост КСА	85,5±4,25	32,5±1,56	5	48,3	130
Райграс многолетний (Lolium perenne L.); почва - урбанозем						
1	Контроль	34,5±1,48	3,15±0,13	1,5	-	-
2	5 % компост КСА	69,3±3,60	5,62±0,28	2	34,8	101
3	10 % — —	126,9±6,31	10,23±0,52	3	92,4	268
4	20 % — — в почву	179,1±7,74	15,02±0,73	5	144,6	419
5	20% — — поверх.	188,7±8,07	13,57±0,64	7	154,2	447

Внесение осадка Юж. Бутово обеспечило прибавку биомассы - 60%, а компоста - 69% к контролю. Максимальная прибавка биомассы 130% к контролю показала, что для формирования газонной культуры лучшим является вариант с внесением компоста КСА. Различия и более высокая эффективность компоста КСА связана с оптимальным нейтральным значением pH, меньшей концентрацией щелочных катионов и биоэлементов, а также физиологическими особенностями овсяницы.

Влияние компоста КСА изучали так же в вегетационном опыте с райграсом многолетним (*Lolium perenne L.*) на урбаноземе. На урбаноземе вносили компост в дозах 5,10,20% от веса почвы в сосуде. Дозу компоста 20% - двумя способами: непосредственно в почву и поверхностно, без перемешивания. Фенологические наблюдения показали, что семена райграса наклюнулись и начали прорастать на третий день после посева. Внесение компоста непосредственно в почву и поверхностно инициировало интенсивность прорастания. Лучшим был вариант опыта с поверхностным внесением компоста.

Определение высоты и густоты стояния растений через 2,5 мес. вегетации показало, что внесение компоста в дозе 5% увеличивает вегетативный рост и K_{кущ} в 1,8 и 1,3 раза соответственно. При внесении 20% компоста в почву высота растений увеличивалась в 4,8 раз, а K_{кущ} в 3,3 раза. Эта же доза компоста, внесенная поверхностно способствовала увеличению K_{кущ} в 4,7раз, а высоты - в 3,8раза.

Поверхностное внесение компоста позволяет получить более мощную дернину у газонных культур. Биомасса райграса при внесении дозы компоста от 5% до 20% возрастала линейно, прибавка составила от 101% до 447% к контролю. Наблюдения за состоянием почвы в процессе вегетации растений показали, что внесение компоста в соотношении 5:1 улучшает физические свойства почвы, предотвращая образование почвенной корки.

Влияние осадка Юж. Бутово и компоста КСА на продуктивность рапса ярового (*Brassica napus*) изучали в условиях микрополевого опыта на агроурбаноземе. В вариантах с внесением осадка Юж. Бутово на стадии всходов рапс испытывал определенную депрес-

сию ростовых процессов, связанную с высокой концентрацией биоэлементов, но в процессе вегетации растения интенсивно поглощали элементы питания и к фазе цветения обладали хорошо развитой биомассой. Наибольшую прибавку зеленой массы рапса к контролю, обеспечило внесение 15 кг/м² осадка Юж. Бутово - 102% , в то время как 20кг/м² компоста КСА только 55%. Экспериментально установлено, что рапс усваивает из почвы и удобрений большое количество биоэлементов и интенсивно поглощает кальций и магний, устойчив к определенному уровню содержания тяжелых металлов, что отражает высокие физиологические потребности рапса (Ващенко, 2005; Сискевич, Никонова, 2008; Федотов и др., 2008). *Оценка семенной продукции рапса* показала, что прибавка семян составила 158% к контролю для осадка и 62% для компоста КСА, различия показателей обусловлены физиологическими особенностями рапса в процессе вегетации.

При тех же агроклиматических условиях высевали лен масличный (*Linum usitatissimum*). Выпадение растений льна наблюдалось на стадии всходов. Урожай семян льна при внесении осадка не превышал показателей на контроле.

Проверка осадка и компоста на Юж. Бутово на фитотоксичность с использованием жесткого биотеста - семян кресс-салата как индикаторной культуры, сроком инкубации – 48 часов, определением всхожести и длины корней (МР 2.1.7.2297-07; Zukkoni, 1981) показала, что высокая концентрация биогенных элементов в осадке замедляет нарастание корней (на 23%) на стадии проростков. Лучшие результаты были получены при внесении компоста, что объясняется не отсутствием токсикантов, а снижением концентрации растворимых форм макро- и микроэлементов. При использовании ОСВ и компостов необходим расчет доз с учетом их фитотоксичности и физиологической потребности растений в биоэлементах.

3.4 Содержание макроэлементов, тяжелых металлов и стронция в растениях при внесении осадков и компостов.

Анализ наземной биомассы райграсса, овсяницы и рапса на содержание биогенных элементов, тяжелых металлов и особо опасных токсикантов показал что, количество мышьяка, ртути, сурьмы, урана ниже предела обнаружения в биомассе названных растений.

Внесение компоста, содержащего большое количество кальция и магния, вызывало накопление этих двух элементов в наземной биомассе и снижало количество их антагонистов: алюминия и железа (табл.8).

Кальций - элемент формирования биомассы – поглощается сильнее по мере увеличения дозы, что свидетельствует о его подвижности и усвоении из почвенной среды. Концентрация Са в райграссе на контроле составило 13 г/кг, при внесении 20% компоста КСА – 22 г/кг сух.веса. Внесение реагентных осадков и компостов Юж. Бутово увеличило содержание Са в овсянице в 2,6 раз, безреагентного компоста КСА – в 2 раза. При значительной прибавке биомассы, содержание Са в рапсе снижается с 31 г/кг на контроле до 25-28 г/кг при внесении осадка и компоста, что связано с физиологической особенностью данного растения – высоким потреблением кальция из почвы. Аналогичная ситуация наблюдается для магния. Однако при внесении осадка Юж. Бутово его количество снижается, что связано с прибавкой урожая и с явлением «биологического разбавления».

Алюминий токсичен для многих растений; избыток соединений Fe может негативно влиять на свойства почвы, однако они необходимы растениям (Авдонин, 1982; Орлов и др., 2005). Содержание Al и Fe в растениях на контроле выше, чем в вариантах с внесением осадка и компостов, что связано со снижением содержания этого элемента в почвосмесях и увеличением биомассы растений. Однако, после внесения компоста Юж. Бутово, при низкой продуктивности овсяницы наблюдалось повышение содержания Al с 1,4 мг/100г на контроле до 1,7 мг/100г; Fe – с 2,0 мг/100г до 2,5 мг/100г соответственно.

Таблица 8.

Влияние дозы и способа внесения осадков и компостов Юж. Бутово и КСА на содержание макроэлементов, тяжелых металлов и стронция в биомассе растений, в мг/100г сух. веса.

Элемент	Райграс (урбанозем)					Рапс (агроурбанозем)			Овсяница (моренный суглинок)			
	контроль	Компост КСА				контроль	15 кг/м ² осадок Юж. Бутово	20 кг/м ² компост КСА	контроль	10 % осадок Юж. Бу- тово	20 % компост Юж. Бу- тово	20% компост КСА
		5 %	10%	20% в почву	20% поверх.							
Макроэлементы и стронций, в мг/кг сухого веса												
Ca	130,0	160,0	180,0	230,0	220,0	310,0	250,0	280,0	50,0	130,0	130,0	100,0
Mg	42,0	64,0	50,0	52,0	48,0	38,0	35,0	40,0	17,0	27,0	28,0	28,0
Al	1,5	1,0	0,7	0,5	0,7	0,9	0,7	0,4	1,4	0,9	1,7	0,3
Fe	2,9	2,8	1,5	1,5	1,5	1,6	1,4	1,2	2,0	1,7	2,5	1,0
Mn	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	1,8	1,6	1,5	0,7
Sr	0,4	1,1	0,6	0,8	0,8	1,1	0,7	0,7	0,2	0,3	0,4	0,6
Тяжелые металлы, в мг/100г сухого веса												
Cd	0,08	0,08	0,09	0,10	0,08	0,14	0,14	0,09	0,08	0,03	0,04	0,10
Cu	2,60	1,60	1,70	1,70	2,00	1,50	0,75	0,60	1,20	1,00	1,40	1,30
Ni	0,26	0,22	0,21	0,24	0,22	0,47	0,30	0,45	1,00	0,80	0,84	0,83
Pb	0,10	0,12	0,05	0,07	0,07	0,10	0,04	0,09	0,04	0,04	0,06	0,04
Cr	0,10	0,07	0,06	0,07	0,07	0,08	0,05	0,05	0,07	0,04	0,04	0,04
Zn	5,60	5,70	5,90	7,80	7,10	15,00	12,00	15,00	3,30	3,20	3,50	5,20

*курсивом указаны максимальные значения

Содержание тяжелых металлов в сухой массе растений при внесении осадков и компостов Юж. Бутово при нормально-развитой биомассе во всех вариантах опыта не превышало показателей на контроле. Внесение компоста КСА также не вызвало существенного увеличения концентраций ТМ в биомассе растений. Сравнительный анализ макроэлементов и ТМ в биомассе райграса от способа внесения осадка (поверхностно или в почву) выявил устойчивое сходство показателей по всем 12 элементам, что объясняется их высокой биодоступностью из осадка и оптимальной агротехникой выращивания райграса.

Кадмий поступает в почву по мере разложения органического вещества, поэтому отмечалось увеличение его подвижных форм с внесением компоста. Это, вероятно, связано с конкуренцией за сорбционные места между Cd и Ca при деструкции органического вещества компоста. При внесении осадка Юж. Бутово содержание кадмия в биомассе райграса было значительно ниже контрольных значений. Вследствие высокого содержания и большого разнообразия функциональных групп, органическое вещество осадка и компостов обладает защитными свойствами, связывая загрязняющие вещества в малоподвижные комплексы (Андропова, 2002; Орлов, 1996; Hsieh V., 1981).

При внесении компоста КСА в дозах >5% в биомассе райграса заметно снижалось содержание свинца. Позитивный эффект компоста отчасти связан с «эффектом ростового разбавления», а так же снижением подвижности Pb в почве в присутствии активной органики, увеличением емкости катионного обмена за счет присутствия в компосте Ca и Mg, а также сдвигом pH почвы в щелочной интервал (Овчаренко, 1997; Егоров, Госсе, 2008).

В биомассе овсяницы наблюдалось повышение содержания Cu, Pb, Zn по отношению к контролю. Важно отметить, что Cu и Zn являются дефицитными элементами в почвах Московского и ряда других регионов РФ, особенно при снижении уровня применения минеральных и органических удобрений (Меленцова, Лукин, 2006).

Расчеты показывают, что содержание Sr в газонных травах при внесении компостов увеличивалось, а при выращивании рапса снижалось с 1,1 мг/100г на контроле до 0,7 мг/кг на компосте КСА и осадке Юж. Бутово. Данный эффект связан с тем, что рапс потребляет большое количество Ca, что препятствует поступлению в растения Sr. Это также подтверждается результатами анализа биомассы овсяницы: растения на варианте с внесением осадка и компоста Юж. Бутово содержали в 1,7 раз меньше Sr, чем с внесением компоста КСА. Важно отметить, что радиоактивные изотопы стронция в ОСВ г. Москвы отсутствуют (Ушаков, 2009, Пушкарева, Маковский, 2008).

Установлено, что рапс поглощает из почвы и осадков больше тяжелых металлов, чем газонные травы. Это свойство можно использовать при рекультивации загрязненных земель, что не ограничивает использование рапса для перспективного направления - получения биотоплива и технического масла (Сискевич, Никонова, 2008).

3.5. Агрохимические свойства дерново-подзолистых почв и урбанозема в системе почва-осадок Юж. Бутово

Влияние осадка Юж. Бутово на агрохимические свойства почвы изучали в условиях модельного опыта в системе почва - удобрение без растений при оптимальных гидротермических условиях на дерново-подзолистой среднеоккультуренной, дерново-подзолистой слабооккультуренной почвах (Московская область, Сергиево-Посадский р-н) и слабонарушенном урбаноземе, г. Москва, Северо-Западный район). Осадок Юж. Бутово вносили из расчета 10т/га, что соответствует зональным рекомендациям для почв Московского региона. Для сравнения использовали внесение минеральных удобрений в стандартной дозе 0,1г д.в. /кг почвы в виде аммиачной селитры, суперфосфата двойного и калия хлористого. Образцы почвы помещали в стеклянные сосуды емкостью 5 кг, поддерживали $t=20^{\circ}\text{C}$,

влажность 60% от ППВ, срок инкубирования - 12 мес. Основные агрохимические показатели почвы определяли с интервалом 3 мес, повторность опыта 5-ти кратная.

Динамика pH почвы. В опыте использовали почвы сельхозугодий Московской области Сергиево-Посадского района с нейтральной реакцией среды 6,3-6,8 и сильноокислую городскую почву – слабонарушенный урбанозем с реакцией среды 4,3 (табл.9).

В контрольном варианте на всех почвах, без внесения удобрений, pH оставалось на уровне исходных показателей в течение всего опыта, незначительные изменения в пределах 3-9%, мы считаем, были связаны с позитивным влиянием температуры и влажности.

При оптимальных гидротермических условиях нейтрализующий эффект реагентного осадка реализовывался за счет щелочного компонента, в том числе окиси кальция и магния как в условиях нейтральных почв, так и при внесении в кислый урбанозем (pH 4,3) в первые 30 дней опыта (рис.4). Процесс стабилизировался в течение шести месяцев и устойчиво сохранялся на высоком уровне pH 7,6;7,8; 8,3 для урбанозема, дерново-подзолистых среднеоккультуренной и слабооккультуренной почв соответственно на протяжении годичного эксперимента (табл.9).

Таблица 9.

Влияние осадков сточных вод Юж. Бутово на pH дерново-подзолистых почв разной степени окультуренности ($HSP_{0,05}=\pm 0,03$).

Вариант	Почва									
	<i>Дерново-подзолистая слабооккультуренная $pH_{исх}=6,8$</i>					<i>Дерново-подзолистая среднеоккультуренная $pH_{исх}=6,3$</i>				
	Месяцы инкубации									
	1	3	6	9	12	1	3	6	9	12
Контроль	6,9	6,9	6,9	7,0	7,1	6,3	6,3	6,5	6,3	6,2
ОСВ	8,6	8,5	8,5	8,4	8,3	8,2	8,0	7,9	7,8	7,8
NPK	6,9	7,1	7,1	7,0	7,1	6,3	6,4	6,3	6,2	6,1

При внесении минеральных удобрений (NPK) наблюдали слабый эффект подщелачивания почвы, который был связан с влиянием NH_4 в составе селитры и реализовывался повышением значений на среднеоккультуренной почве с pH 6,8 до 7,1; на слабооккультуренной - с pH 6,3 до 6,4, что отражает устойчивость почвенно-поглощающего комплекса. На урбаноземе подщелачивающий эффект был связан с разложением селитры, влиянием NH_4 , а также разложением суперфосфата в течение года и составлял с pH 4,3 до pH 5,4.

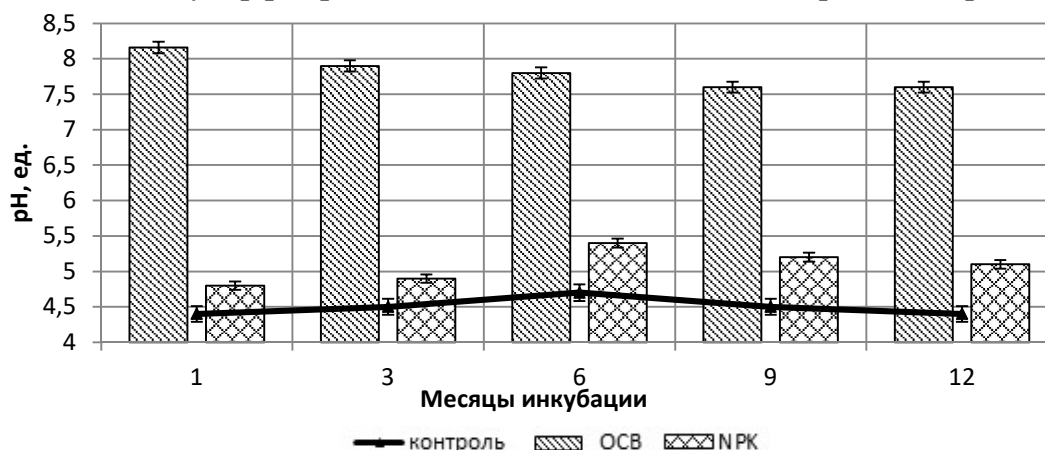


Рис.4 Влияние осадков сточных вод Юж. Бутово на pH слабонарушенного урбанозема ($pH_{исх}=4,3$).

Физико-химическое равновесие между ППК и почвенным раствором устанавливалось через 9 месяцев инкубирования и значение pH сохранялось до окончания опыта.

Динамика азота. Азот является одним из наиболее важных элементов питания растений. В первый месяц взаимодействия происходила активная минерализация азота почвы и внесенных удобрений, о чем свидетельствовал рост содержания аммонийного азота (табл.10). Установлено, что аммонификация как первичный процесс деструкции органического вещества, протекает в основном при участии неспоровых бактерий рода *Pseudomonas*. Наибольшую скорость процесса из органических удобрений обеспечивают навоз на соломенной подстилке и качественные компосты на основе ОСВ (Дурихина, 2007; Мосина, Мерзлая, 2010; Kurakov et al., 1997).

Таблица 10.

Содержание аммонийного и нитратного азота в дерново-подзолистой слабо-окультуренной почве при внесении осадка Юж.Бутово и NPK (мг/100г почвы).

Месяцы инкубации Вариант	1	3	6	9	12
<i>Исходный показатель $N_{амм}=2,5$ мг/100г ($HCP_{0,05}=\pm 0,02-0,1$)</i>					
контроль	2,3	1,1	0,8	0,6	0,5
ОСВ	13,0	8,6	6,0	5,0	2,0
NPK	16,0	15,0	8,0	5,4	1,9
<i>Исходный показатель $N_{нитр}=11$ мг/100г ($HCP_{0,05}=\pm 0,5-1,2$)</i>					
контроль	12,1	13,2	14,8	12,0	11,8
ОСВ	21,0	33,4	47,9	38,2	35,0
NPK	23,0	30,0	44,7	27,4	21,1

Внесение реagentных ОСВ на дерново-подзолистой среднеокультуренной почве повысило содержание **аммонийного азота** в 2,1 раза, на дерново-подзолистой слабоокультуренной - 5,2 раза, на урбаноземе в 1,6 раз по отношению к исходной почве в первый месяц инкубации.

Внесение минеральных удобрений на нейтральных дерново-подзолистых почвах при оптимальных условиях влажности и температуры индуцировало образование аммония особенно активно в первый месяц взаимодействия, на почве с низким исходным содержанием с 2,5 до 16мг/100г почвы; на более окультуренной почве с 7,0 до 22 мг/100г почвы. При этом, на почве контроля показатели сохраняются практически неизменными.

Процесс образования аммония стабилизировался на уровне 6-8 мг/100г почвы через 6 месяцев взаимодействия и постепенно снизился к концу опыта до 2-3 мг/100г. Снижение содержания аммонийного азота на шестой месяц эксперимента обусловлено его фиксацией почвенными коллоидами, иммобилизацией микроорганизмами и закреплением в микробной биомассе в отсутствии растений (Умаров и др., 2007; Кидин и др., 2008).

На слабоокультуренной почве без внесения удобрений содержание нитратов постепенно увеличивается к шестому месяцу с 11 до 14,8 мг/100г., т.е. на $\approx 30\%$, за счет естественной биоты, оптимизации влажности и температуры. Возможности данной почвы в процессе нитрификации активируются в ходе эксперимента примерно в том же временном интервале, достигая максимальных величин через полгода взаимодействия в системе почва-удобрение: 47,9 мг/100г при внесении осадка и 44,7мг/100г при внесении NPK, что в четыре раза превышает начальное содержание нитратов. Финальная оценка показывает, что нитратный пул почвы поддерживается на более высоком уровне при внесении осадка – 35,0 мг/100г, чем при внесении NPK-21,1 мг/100г, в результате участия активной органики

осадка в процессе нитрификации. Рост содержания нитратного азота сопровождается снижением аммонийного азота, что свидетельствует об интенсивном протекании процесса нитрификации, низком уровне фиксации, что благоприятно для питания растений.

Среднеокультуренная почва изначально имела более высокие показатели нитрификации, чем слабоокультуренная и урбанозем. Индуцирование процесса за счет оптимизации гидротермических условий заметного влияния на накопление нитратов не оказало, через 6 месяцев увеличение по отношению к исходному составило всего 4,1 мг/100г, через 12 мес., как и на слабоокультуренной почве, система вернулась к исходному показателю. Несмотря на высокую нитрификационную способность исследуемой почвы, *дополнительное внесение азота органического и минерального* обеспечивает резкое повышение содержания нитратов в течение первого месяца опыта, особенно при внесении осадка.

Пролонгированная наработка нитратов осуществлялась устойчиво и с высокими показателями нитрификации в течение всех месяцев наблюдения, максимальная величина 87,1 мг соответствовала шестому месяцу определения. Во втором полугодии содержание нитратов в системе почва-осадок сохранялось на уровне 84-78 мг/100г. Вероятно, что на нейтральной и более окультуренной почве биологическая активность увеличивалась за счет суммарного взаимодействия микробиоты осадков и почвы, которая обеспечивала саморегуляцию микробиоценоза и сохраняла его устойчивость (Селивановская и др., 2001; Степанова и др., 2012).

Исследование нитрификации на *урбаноземе* при исходном значении pH_{KCl} почвы=4,3 показало, что процесс трансформации органического вещества почвы, а также почвы+ОСВ осуществлялся с разной интенсивностью. Увеличение доли спорообразующих бактерий с более мощным ферментативным аппаратом, таких как *Bac. mesentericus*, *Bac. subtilis*, *Bac. megatherium* обеспечивает более активную деструкцию органического вещества как исходной почвы, так и ее сочетания с осадком и НРК (Мосина, Мерзлая, 2010).

На контроле, за счет естественной микрофлоры, содержание нитратов в почве увеличилось на 40% через три месяца и поэтапно снижалось практически до исходного уровня в течении года, что свидетельствует о включении процесса устойчивой саморегуляции почвы. *Внесение осадка* реализовало нитрификационную способность урбанозема, особенно, в первые три месяца; через месяц инкубации накопление нитратов по отношению к контролю увеличилось более чем в 2 раза, через три месяца в 1,5 раза. Через десять месяцев наблюдалось выравнивание показателей нитрификации по отношению к исходной почве, что, вероятно, связано с накоплением микробных метаболитов в ограниченном объеме почвы и более высокой скоростью переработки активной органики.

Внесение *минеральных удобрений* на *урбаноземе* в режиме модели обеспечивало сдвиг pH_{KCl} по этапам определения с 4,1 до 5,4, что несомненно позитивно влияло на процесс нитрификации, особенно, на начальных этапах определения. Самым высоким, по отношению к контролю, содержание нитратов было обнаружено через 1мес. взаимодействия 36,4 мг/100г, что превышало их содержание в исходной почве более чем в два раза.

Динамика доступного фосфора на контроле на разных почвах отличалась: если на дерново-подзолистой среднеокультуренной почве снижение его количества составило <5,0%, то на слабоокультуренной почве доступность фосфора снизилась в 2,1 раза, а на урбаноземе - в 3,4 раза, что, вероятно, связано с увеличением фосфатной емкости исследуемых почв (рис. 5).

Внесение реагентного осадка обеспечивало приращение доступного фосфора по этапам исследования в интервале величин от 2,8 до 29,3 мг/100г почвы. Через год содержание $P_{\text{дост}}$ по отношению к контролю было в 2,3 раза больше на дерново-подзолистой слабоокультуренной почве, в 1,2 раза на среднеокультуренной.

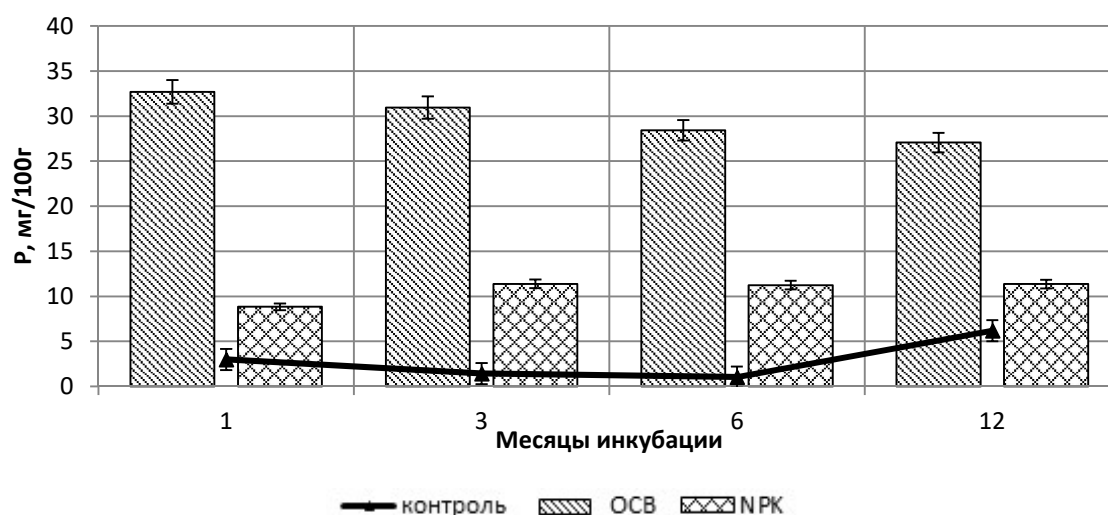


Рис. 5. Влияние осадков Юж. Бутово на содержание доступного фосфора в слабонарушенном урбаноземе ($P_{исх}=3,4$ мг/100 г).

Слабонарушенный урбанозем имел высокий показатель кислотности и очень низкое исходное содержание $P_{дост.}$ При внесении осадка в таких контрастных условиях позитивная динамика приращения доступного фосфора устойчиво сохранялась в течение года, при этом его содержание по отношению к исходному значению увеличилось в 8 раз.

Внесение минерального фосфора в составе НРК повышало фосфатный уровень почв, но в меньшей степени, чем осадок. В среднем, приращение доступного фосфора от внесения НРК составляло на данных почвах $\approx 4,9 \pm 0,3$ мг/100г почвы.

Динамика обменного калия. Осадки и компосты позитивно влияют на уровень азотного и фосфорного питания, но содержат минимальное количество калия по сравнению с навозом КРС и биоудобрениями на основе птичьего помета - омул, пудрет, экуд (Дурынина и др., 2001, Кутьева и др, 2002). Однако, активная органика биокомпостов экранирует почвенные коллоиды и препятствует переходу калия почвенного раствора в необменное состояние (Алексеев, Валиев, 1992; Соколова и др., 1999).

Оценка полученных результатов на трех почвах разного уровня плодородия показывает, что без внесения осадка и минеральных удобрений содержание калия в течение года сохраняется достаточно стабильным. Однако, на слабокультуренной почве при нейтральном значении рН, после 3-х месячного срока взаимодействия, обменный калий переходит в необменную форму; его содержание снижается с 12,8 до 7,3 мг/100г к концу опыта.

Внесение осадка на слабокультуренной почве обеспечивает в течение 12 месяцев устойчивое сохранение исходного показателя по обменному калию с небольшим увеличением к финалу на среднекультуренной почве и урбаноземе $\approx$ в 1,6 раз, что, вероятно, является результатом высвобождения калия из ППК под действием активной органики осадка.

В первые месяцы инкубации при внесении НРК наблюдается более значимый рост содержания обменного калия $\approx$ в 1,8-2,4 раза в зависимости от почвы. В течении года при внесении минеральных удобрений происходит активная фиксация К почвенными коллоидами, особенно в отсутствии растений, и к 12 месяцу опыта содержание обменного калия на дерново-подзолистых почвах при внесении НРК и осадка практически выравнивается.

3.6 Анализ осадков сточных вод длительного срока хранения г.Сергиев Посад (Московская обл.) для использования их в рекультивации отвалов и дорог.

На очистных сооружениях канализации (ОСК) г. Сергиев Посад поступают хозяйственные и промышленные сточные воды ≈ 80 тыс. м³/сут. Их исследование в настоящее

время связано с реконструкцией городской дороги, строительством объездной автодороги «Западный объезд» и планируемым закрытием полигона ТБО «Парфеново». Были взяты образцы ОСВ длительного срока хранения и различной технической переработки: осадки, подсушенные на иловых картах и складированные на временных площадках; осадки из первичных отстойников, которые образуются в весенний и летний период соответственно (смесь сырого осадка и активного ила); песок из песколовков подсушенный.

Анализ показал, что осадки с иловых карт и из первичных отстойников по основным агрохимическим показателям соответствуют установленным нормативам: pH_{H_2O} 6,6-7,2, содержание органического вещества 43-68%, отношение C:N 7,6-8,1, суммарное содержание фосфора 2,9-3,7%, который представлен, в основном, слаборастворимыми минеральными формами, и количественно превышает норматив $\approx$ в 2 раза. Песок из песколовков имеет pH -6.8, отличается низким содержанием органического вещества $\approx$ 10% (табл. 11).

Таблица 11.

Агроэкологическая характеристика ОСВ длительного срока хранения на иловых картах г. Сергиев Посад Московской области.

Образец Показатель	Осадок с иловых карт	Осадок с временных площадок	Осадок первичных отстойников		Песок песколовков	ПДК, ГОСТ Р 17.4.3.07-2001
			(весна)	(лето)		
Влажность, %	65,0	-	30,0	-	21,0	Не норм.
pH _{H2O}	7,7	-	6,6	-	6,8	5,5-8,5
Содержание в сухом веществе						
Органическое в-во, %	43,0	-	68,0	-	10,0	20
Но _{бщ} , %	3,3	-	4,9	-	0,4	>0,6
N-NH ₄ , %	0,2	-	0,3	-	0,01	Не норм.
C:N	7,6	-	8,1	-	16,1	Не норм.
P ₂ O ₅ , %	3,7	-	2,9	-	0,4	>1,5
K ₂ O, %	0,5	-	0,5	-	0,2	Не норм.
Валовое содержание тяжелых металлов и марганца, в мг/кг сухого вещества						
Cd	15	9	35	3	2	15-30
Ni	57	50	92	35	17	200-400
Pb	230	590	600	74	85	250-500
Cr	640	226	1000	280	115	500-1000
Cu	1650	490	2600	380	205	750-1500
Zn	960	1080	1640	580	520	1750-3500
Mn	130	510	180	80	69	Не норм.
Особо опасные токсиканты, мг/кг сухого вещества						
Hg	5,1	1,74	2,06	6,7	1,2	7,5-15
As	— — Отсутствует					10-20
Радиоактивность, Бк/кг (Фоновое значение для почв Московской области = 18 Бк/кг)						
¹³⁷ Cs	9,3	-	-	-	10,8	Не норм.

Низкое содержание особо опасных токсикантов, таких как ртуть и мышьяк не ограничивает использование этих осадков в агрикультуре: содержание ртути в песке 1,2 мг/кг,

в осадках не более 5,1 мг/кг, что в 3 раза меньше установленных ПДК. Концентрация мышьяка в осадках ниже предела обнаружения.

Оценка радиоактивного фона осадков показали, что удельная активность Cs^{137} составляет 9,3-10,8 Бк/кг, т.е. в 2 раза ниже фоновых значений для почв Московской обл. =18 Бк/кг. Полученные результаты подтверждаются масштабными и многолетними исследованиями радиационного фона осадков, которые были проведены для крупной Курьяновской станции аэрации в течение первого десятилетия нашего века (Ушаков, 2009). Оказалось, что радиационная безопасность осадков устойчиво обеспечивается в широком диапазоне видов, сроков, технологий получения и это прежде всего определяется высоким содержанием в них качественного органического материала.

Доказано экспериментально на большом фактическом материале, что цезий радиоактивный закрепляется в почве активнее при внесении всех видов удобрений. В системе почва-удобрение значительно снижает подвижность главного радионуклида ^{137}Cs в присутствии калия – его главного антагониста, а также при повышении концентрации кальция в почве (Илахун и др., 2008; Федоркова, 2013; Agarkina, 2002).

Обеззараживание осадков осуществляется различными способами: термофильным сбраживанием, пастеризацией, обработкой известью, аммиаком и другими химическими реагентами, а так же компостированием, выдержкой в буртах, сохранением на иловых картах (Основные направления..., 1990; Strauch, 1991; Хенце и др. 2004).

На ОСК г. Сергиев Посад в основной технологической схеме обработка осадков не предусмотрена, на иловые карты поступает нативный осадок. В процессе длительного хранения на иловых картах и в отвалах происходит его обеззараживание за счет активной микробиоты. По санитарно-бактериологическим показателям все указанные образцы, в т. ч. песок из песколовок, соответствуют санитарным требованиям. В образцах не обнаружены бактерии группы кишечной палочки, патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, яйца гельминтов жизнеспособные.

Фитотоксичность осадков с иловых карт и песка ОСК г.Сергиев Посад проверяли в водных вытяжках в соотношении осадок (песок): вода-1:20 с учетом существующих методик (Ванюшина, и др., 2004; Ананьев, Давыдов, 2009; Убугунов и др., 2005). Количество осадка рассчитывали по содержанию сухого вещества. Реальное разбавление при внесении осадков в почву значительно выше. В качестве тест культуры использовали редис розовокрасный с белым кончиком (*Raphanus sativus* L.). Все семена проросли за 72 ч., визуальной разницы между контрольным и опытными вариантами при биотестировании образцов не наблюдалось, длина корней составляла 98 и 106% от контроля.

ВЫВОДЫ

1. Осадки сточных вод очистных сооружений Юж.Бутово являются термофильно сброженными, реагентными, имеют pH_{H_2O} 8,8-11,9, содержание органического вещества 39-50%, общего азота 3,6-4,2%, общего фосфора 3,8-5,4%, содержание кальция $\approx 15\%$.

2. Оценка элементного состава осадков показала, что содержание валовых форм тяжелых металлов было ниже установленных ПДК (ГОСТ Р 17.4.3.07-2001). Наиболее высокое содержание отмечено (в мг/кг) для хрома, цинка, меди: $Cr=225(0,4 \text{ ПДК})$, $Zn=650(0,4 \text{ ПДК})$, $Cu=155(0,2 \text{ ПДК})$. Подвижные формы алюминия, железа, кадмия, свинца и мышьяка в осадках не обнаружены, что связано с введением новой технологии при их очистке. За период исследования содержание ТМ в осадках и их подвижность отличались высокой стабильностью.

3. Сравнительный анализ осадков Юж. Бутово и Курьяновской станции аэрации показал, что различия по основным агрохимическим показателям были в пределах установленных нормативов, и те и другие, как нетрадиционные органические удобрения пригодны для внесения в почву под зерновые, зернобобовые и технические культуры. Содержание кальция в осадках Юж. Бутово было в 3 раза больше, алюминия валового в 10 раз меньше, суммарное содержание ТМ на 40% меньше. Осадок КСА отличался более высоким содержанием валовых форм кадмия, свинца, меди, цинка и мышьяка.

4. Экспертиза санитарно-эпидемиологических и токсикологических свойств осадков показала, что содержание бактерий группы кишечной палочки (*Escherichia coli*) составляет 0,4 ПДК. Сальмонеллы (*Salmonella*), жизнеспособные яйца гельминтов и цитопатогенные энтеровирусы в осадке Юж. Бутово отсутствуют. При этом, в отдельных партиях осадков КСА выявлено повышенное содержание бактерий группы кишечной палочки и сальмонеллы, что связано особенностями технологических процессов. Нормализацию и обеззараживание осадков осуществляли приемом термофильного компостирования.

5. Биотехнологический прием принудительного термофильного компостирования при оптимальном гидротермическом режиме осадков и древесной щепы в соотношении 2:1 обеспечивает удвоение органической массы с сохранением или оптимизацией агрохимических параметров, а также полное обеззараживание от патогенной микрофлоры при работе с осадками Курьяновской станции аэрации, это делает полученный компост безопасным и пригодным для внесения в почву.

6. Установлено, что содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в реагентных осадках Юж. Бутово было значительно ниже установленных нормативов. Суммарное содержание легких и тяжелых ПАУ в осадках составило 36,7 мкг/кг сухого веса. При этом, среди них обнаружены легкие ПАУ: фенантрен, антрацен, хризен, бензо(а)антрацен; среди тяжелых – бензо(б)флуорантен и безнзо(а)пирен, последний, в количестве – 1,4 мкг/кг осадка при ПДК=20 мкг/кг. В компостах ПАУ не обнаружены, т.к. прочно сорбируются при введении в них наполнителей: опилок, древесной щепы и т.д. Спестициды в осадках Юж. Бутово отсутствовали.

7. Микрополевые опыты показали, что внесение ОСВ Юж. Бутово в дозе 15 кг/м² увеличивает продуктивность рапса на 102 % к контролю, компоста КСА в дозе 20 кг/м² – на 55%. Преимущество ОСВ Юж. Бутово при выращивании рапса подтверждалось увеличением семенной продукции на 158% для осадка против 62% для компоста. В вегетационных опытах с райграсом и овсяницей красной установлено, что для формирования газонной культуры лучшим является компост КСА. Различия в продуктивности связаны с разной чувствительностью растений к величине pH, устойчивостью к определенному уровню макро и микроэлементов в процессе вегетации и различиями в физиологических потребностях. Анализ вегетативной массы овсяницы, рапса и райграса при внесении осадков на дерново-подзолистых почвах и урбаноземе показал более низкие уровни содержания основных ТМ по отношению к контролю, вероятно, за счет «ростового разбавления». В биомассе растений ниже предела определения наиболее опасные органические загрязнители мышьяк, ртуть, сурьма, уран.

8. Сравнительная оценка осадка Юж. Бутово и минеральных удобрений (NPK) в условиях модели «почва-удобрение» при оптимальных гидротермических условиях показала высокий нейтрализующий эффект реагентного осадка. Содержание аммонийного азота увеличилось на дерново-подзолистой среднеоккультуренной почве в 2,1 раза, на слабооккультуренной – в 5,2 раза, на урбаноземе в 1,6 раз. Нитратный пул составил при внесении осадка на слабооккультуренной почве 35 мг/100г, при внесении NPK – 21,1 мг/100г, на урбаноземе накопление нитратов через месяц инкубации увеличилось в 2,2 раза по

сравнению с контролем. Внесение реагентного осадка обеспечивало приращение доступного фосфора в интервале величин от 2,8 до 29,3 мг/100 г на всех почвах, содержание фосфора в урбаноземе увеличилось в 8 раз; внесение минерального фосфора в составе НРК повысило его содержание только на 4,9 мг/100г почвы.

9. Комплексная оценка осадков сточных вод длительного срока хранения на иловых площадках г. Сергиев Посад Московской обл. показала, что по содержанию органического вещества, наличию макроэлементов, по санитарно-бактериологическим показателям и результатам фитотоксикологической экспертизы осадки можно использовать в качестве нетрадиционного органического удобрения. Расчет класса опасности, выполненный по действующей и проектной методике показал, что расчетные индексы находятся в диапазонах, соответствующих 4 классу опасности, т.е. их можно отнести к малоопасным отходам.

10. Оценка радиоактивного фона осадков длительного срока хранения показала, что удельная активность ^{137}Cs составила 9,3 Бк/кг, что в 2 раза ниже фоновых значений по Московской области. Установлено и согласуется с результатами многолетних исследований на традиционных очистных сооружениях г. Москвы, что радиационная безопасность осадков устойчиво сохраняется в широком диапазоне видов, сроков, технологий получения, что, в основном, определяется высоким содержанием в них качественного органического материала.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ.

В изданиях, рекомендованных ВАК

1. Е.П. Пахненко, **Е.А. Гунина**, Ю.А. Николаев, В.А. Грачев Критерии безопасного использования осадков сточных вод на примере новой и традиционной технологии их переработки //Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. - 2012. - № 4. - С. 36-41.
2. **Гунина Е.А.**, Пахненко Е.П., Грачев В.А., Николаев Ю.А. Эффективность применения осадков сточных вод новых и традиционных очистных сооружений г. Москвы//Труды Кубанского государственного аграрного университета. - 2012. - №1(34). – С. 54-57.
3. **Голубева Е.А.**, Выборова О.Н. Влияние компостов на основе осадка сточных вод на развитие растений и накопление в них тяжелых металлов //Тезисы докладов XV международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых ЛОМОНОСОВ-2008, секция «почвоведение». - 8-12 апреля 2008. – С.21-22.
4. **Гунина Е.А.**, Пахненко Е.П., Грачев В.А., Николаев Ю.А. Рекультивация строительных отвалов с использованием осадков сточных вод //Сборник научных трудов «Экологические проблемы промышленных городов» часть 1. – 2009 – Саратов. - С.22-25.
5. **Гунина Е.А.**, Пахненко Е.П., Грачев В.А., Николаев Ю.А. Осадок сточных вод очистных сооружений «Южное Бутово»: экологическое значение, питательная ценность и безопасность для окружающей среды// Материалы научных чтений памяти Я.В. Бочкарева 8-й выпуск «современные энерго- и ресурсосберегающие экологиче-

- ски устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства». – 2009. – Рязань. - С. 286-289.
6. **Голубева Е.А.**, Пахненко Е. П., Грачёв В.А., Николаев Ю.А. Экологическая оценка применения осадков сточных вод мегаполисов как удобрения в агроценозе // Почва - удобрение - плодородие - урожай : материалы Международной научно-практической конференции. - Национальная академия наук Беларуси, Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию, Институт почвоведения и агрохимии, Белорусское общество почвоведов: Минск, 16-18 февраля 2009. - С. 149-151.
 7. Пахненко Е.П., **Гунина Е.А.**, Николаев Ю.А. Применение осадков сточных вод новой станции аэрации Южное Бутово в озеленении// Научные основы экологии, мелиорации и эстетики ландшафтов: Материалы конференции. - Московский государственный университет, факультет почвоведения: Москва, 17-21 мая, 2010г. – С. 328-335.
 8. Пахненко Е.П., **Гунина Е.А.**, Николаев Ю.А. Агроэкологическая оценка осадков сточных вод Южного Бутово для использования в агрикультуре //Сборник материалов III международной научной конференции “Современные проблемы загрязнения почв» – М, МГУ , 24-28 мая 2010г. – С. 411-414
 9. Пахненко Е.П., **Гунина Е.А.** Экологическое нормирование осадков сточных вод для применения их в агрикультуре// Материалы докладов международной научно-практической конференции «Экологическое нормирование, сертификация и паспортизация почв как научная основа рационального землепользования» - Москва, 30 сентября-01 октября 2010. – С. 129-132.
 10. Пахненко Е., **Гунина Е.**, Николаев Ю., Грачев В. Отходы как удобрение. Осадок сточных вод Москвы используется в «зеленом строительстве» и земледелии//ЖКХ: технологии и оборудование. - 2009. - №6 - С.42-44.
 11. **Гунина Е.А.**, Пахненко Е.П., Грачев В.А., Николаев Ю.А. Технология, свойства, применение в агрикультуре коммунально-бытовых осадков новой станции аэрации г. Москвы/Экологический вестник Северного Кавказа. – 2001. - том 7, №4. - С. 85-89.
 12. **Гунина Е.А.**, Пахненко Е.П. Применение осадков сточных вод для рекультивации нарушенных городских земель//Материалы докладов VI съезда почвоведов им. В.В. Докучаева. Всероссийская с межд. участием научн. конф. «Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования. Кн. 3. - Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 13-18 августа 2012.– С.530-531.
 13. Пахненко Е.П., **Гунина Е.А.** Реагентные осадки сточных вод новых очистных сооружений Южного Бутово г. Москва, влияние на агрохимические показатели дерново-подзолистых почв и урбанозема// Сборник докладов IV международной экологической конференции на тему: «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленности и сельскохозяйственного производства. Ч.II. - Кубанский госагроуниверситет: Краснодар, 24-25 марта 2015. – С.111-118.
 14. Пахненко Е.П., **Гунина Е.А.** Рекультивация городских территорий с использованием осадков сточных вод длительного срока хранения// Воспроизводство плодородия почв и их охрана в условиях современного земледелия: материалы Междунар. Науч.-практ.конф. и V съезда почвоведов и агрохимиков. Ч.2. - Минск:ИВЦ Минфина, 22-26 июня 2015.- С.334-337.