

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»  
Факультет почвоведения  
Кафедра агроинформатики

*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

Диссертация на соискание ученой степени кандидата  
биологических наук

Научный руководитель:  
доктор биологических наук,  
профессор Е.П. Пахненко

Москва – 2017

## Оглавление

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>3</b>
<b>ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>10</b>
1.1 Состав и свойства осадков сточных вод .....	10
1.2 Санитарно-паразитологические показатели осадков, методы их обеззараживания.....	16
1.3 Компостирование осадков сточных вод .....	19
1.4 Влияние осадков сточных вод на свойства почвы .....	21
1.5 Основные методы утилизации ОСВ .....	25
<b>ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ.....</b>	<b>36</b>
2.1 Осадки сточных вод очистных сооружений г. Москвы.....	36
2.2 Состав компоста и технология его получения.....	39
2.3 Почвы, использованные в микрополевых, вегетационных и модельных опытах.....	41
2.4 Методика постановки и проведения опытов .....	43
2.5 Объекты вегетационных и микрополевых опытов .....	45
2.6 Методы экспериментальных определений .....	48
<b>ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ. ....</b>	<b>50</b>
3.1 Свойства осадков сточных вод и компостов на их основе очистных сооружений Южное Бутово и Курьяновской станции аэрации. ....	50
3.2 Агрохимические и токсикологические свойства почв, использованных в микрополевых, вегетационных и модельных опытах.....	72
3.3 Влияние осадков Юж. Бутово и компостов КСА на продуктивность растений в условиях вегетационных и микрополевых опытов .....	80
3.4 Содержание макроэлементов, тяжелых металлов и стронция в растениях при внесении осадков и компостов .....	87
3.5 Агрохимические свойства дерново-подзолистых почв и урбанозема в системе почва-осадок Юж. Бутово .....	91
3.6 Анализ осадков сточных вод длительного срока хранения г. Сергиев Посад (Московская обл.) для использования их в рекультивации отвалов и дорог .....	103
<b>ВЫВОДЫ.....</b>	<b>114</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>118</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**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. Для их складирования (депонирования) заняты значительные площади, а экологически безопасная переработка и хранение требуют привлечения значительных материально-технических ресурсов. 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; Евилевич, 1988; Giordana et al, 1975; Copolla et al, 1983; Hsieh et al, 1981), тогда как первые в России очистные сооружения – Люблинские поля орошения были образованы в 1897г (Вильямс, 1948). 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).

Многолетние опыты показывают, что применение традиционных органических удобрений, таких как жидкий навоз и навозные стоки, особенно в Нечерноземной зоне, часто нерентабельно и экономически неоправданно. Поэтому, в современных условиях, особенно актуальным становится применение ОСВ, что решает сразу 2 проблемы: сокращение площадей, выводимых под утилизацию осадков, и снижение расходов на транспортировку удобрений. Исследования подтверждают высокую эффективность применения ОСВ в виде компостов с органическими и минеральными удобрениями, а также инертными наполнителями (Сидоренко, 2009; Пахненко, 2009,2010; Ксенофонов, 2011; Касатиков, Шабардина, 2014; Jedrczak, 2007;). Осадки, прошедшие обработку реагентами (негашёной известью), успешно используются в качестве органо-известкового удобрения (Афанасьев, Мерзлая, 2002). Оценка урожая растений по результатам многолетних опытов показала, что продуктивность обеспечивается не только прямым действием, но и последствием осадков в агроценозе (Таран, Майдебур, 2009).

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.

**Соответствие диссертации паспорту научных специальностей.** В соответствии с формулой специальности 06.01.04 «Агрохимия», рассматривающей проблемы разработки методов и средств рационального применения удобрений как основы получения высоких урожаев культурных растений, экологически чистой продукции и повышения плодородия почв в диссертационной работе исследовано применение осадков сточных вод как нетрадиционного удобрения в агроценозе, изучен их состав и критерии экологической безопасности. В работе приведены данные по влиянию внесения ОСВ и компостов на их основе на продуктивность газонных трав и технических культур.

**Личный вклад диссертанта** в получение научных результатов, выносимых на защиту, заключался в комплексном агроэкологическом исследова-

нии 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), Всероссийской научной конференции с международным участием 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), Международной научно-

практической конференции и 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 в коллективе.

# ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

## 1.1 Состав и свойства осадков сточных вод

Обработка осадков, выделяемых в процессах очистки сточных вод, проводится с целью получения конечного продукта, наносящего минимальный ущерб окружающей среде или пригодного для утилизации в производстве. Эта цель достигается осуществлением трех основных процессов в различных технологических последовательностях: обезвоживанием - обеспечивающим минимальный объем осадков; стабилизацией - придающей осадкам способность не выделять вредные продукты разложения при длительном хранении; обеззараживанием - делающим осадок безопасным по санитарно-бактериологическим показателям. Конечным результатом технологических процессов является утилизация осадка. В случаях, когда утилизация по каким-либо техническим, экологическим или экономическим причинам невозможна, осадки сточных вод ликвидируются (сжигание, депонирование). Принципиальная схема процессов обработки осадков дана на рис.1.

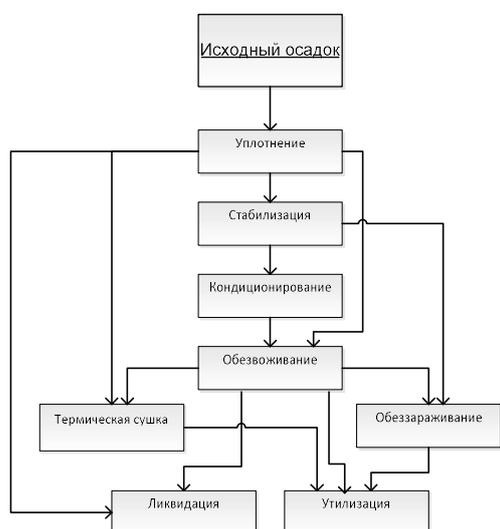


Рис. 1. - Схема процессов обработки осадков сточных вод в современных условиях (Яковлев, Воронов, 2004)

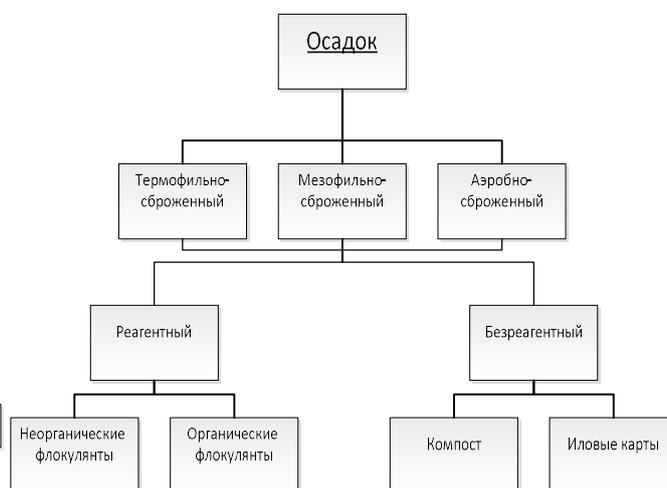


Рис. 2. - Классификация осадков городских сточных вод по РФ (Справочная книга по производству и применению, 2001)

В зависимости от технологии переработки, осадки делятся на следующие типы: термофильно-сброженный, мезофильно-сброженный, аэробно-стабилизированный. Каждый тип осадков делится на два вида: реагентные и безреагентные. По введению флокулянтов реагентные осадки разделяются на реагентные с введением неорганических и органических флокулянтов. Безреагентные осадки отличаются по способу хранения и утилизации (рис.2).

В Российской Федерации существует два основных документа, предъявляющих требования к составу осадков сточных вод: ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 «Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений» и СанПиН 2.1.7.573-96 «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения». Для использования ОСВ в промышленных масштабах разработаны «Типовой технологически регламент использования осадков сточных вод в качестве удобрения», в 2002 году разработан региональный технологический регламент для Алтайского края (Овцов и др., 2002). В 2011 г. опубликованы нормативы, регламентирующие практическое использование ОСВ: ГОСТ Р 54534-2011 «Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при использовании для рекультивации нарушенных земель», ГОСТ Р 54535-2011 «Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при размещении и использовании на полигонах».

Указанными нормативными документами оговорена возможность использования в сельскохозяйственной практике осадков сточных вод, содержащих органическое вещество  $>20\%$ ; общего азота и фосфора  $>0,6$  и  $>1,5\%$  соответственно. Проведенный анализ по городам и странам показывает, что в основном осадки сточных вод содержат органического вещества заметно больше, около  $50\%$ ; содержание общего азота составляет  $2,0-2,5\%$ , это в  $3-3,5$  раза больше установленного норматива. Кроме того, ОСВ богаты фосфором, его содержание в среднем в  $2-3$  раза выше, чем требует ГОСТ. Некоторый дисбаланс наблюдается по содержанию калия, поэтому применение ОСВ в

сельском хозяйстве требует внесения дополнительных калийных удобрений.

Содержание калия в осадках не нормируется (табл.1).

**Таблица 1. Состав ОСВ некоторых населенных пунктов РФ и ряда зарубежных стран после очистки**

Показатели осадков	ГОСТ Р 17.4.3.07 - 2001	г. Москва, Курьяновская СА, 2012 <sup>6</sup>	г. Москва, ОС Юж. Бутово, 2010 <sup>6</sup>	г. Пермь, 2012 <sup>2</sup>	г. Энгельс, 2011 <sup>3</sup>	г. Владимир, 2010 <sup>4</sup>	Германия, 2012 <sup>1</sup>	Великобритания, 2009 <sup>5</sup>
Влажность, %	н/н*	72	71,8	-	35-40	69,1	-	-
Органическое в-во, %	≥20	47	47	58-64	15	45,4	47	-
Азот общ.,%	≥0,6	3,4	3,8	5,2-5,7	2,5	2,3	4,3	2,8
Фосфор общ.,%	≥1,5	6,3	3,8	5,0-5,5	4,2	4,05	3,7	2,2
Калий общ.,%	н/н	0,38	0,2	-	1,25	0,53	-	-
pH <sub>KCl/H<sub>2</sub>O</sub>	5,5-8,5	6,9	8,8-11,9	5-6,9	-	7,6	-	-
Тяжелые металлы, валовое содержание в мг/кг на сухое вещество								
Cd	30	6	14	5,8-50	Не превышают ПДК	3,6	0,97	1,3
Ni	400	40	25	80-500		29	25	19
Pb	500	61	6,4	40-160		32	34	72
Cr	1000	160	160	54-1000		246	33	55
Cu	1500	280	280	94-1000		13	292	192
Zn	3500	970	970	290-1470		397	762	444
<p>*- н/н –не нормируется                      1- Klärschlamm-Statistic,2012                      2- Гуляева и др., 2012                      3- Пындак, 2011                      4- Пескарев, 2010                      5-Annex to Final...,2012                      6-Гунина, 2012</p>								

Состав осадков сточных вод непостоянен. Он варьирует в зависимости от ряда условий, географических и региональных, сезонных, типа сточных вод, формирующих осадок (промышленных и коммунально-бытовых) и ста-

дии обработки, с которой он взят. В сыром осадке обычно содержится около 3,2% общего и 0,07% подвижного азота (в расчете на сухую массу), в сброженных осадках соответственно 3,1 и 0,3%, в подсушенных на иловых площадках – 2,3 и 0,5%, в термически высушенных – 1,7 и 0,8%. (Яковлев, Воронов, 2004; Васбиева, 2015). Так, осадок первичных отстойников г.Перми содержит органическое вещество 60-64%, а активный ил – 58%. Кроме того, при использовании термической сушки и механического обезвоживания, значительно снижается содержание общего азота и калия (Гуляева, 2012).

Важным показателем для внесения осадков сточных вод служит pH. При внесении осадков сточных вод на почвах с  $\text{pH} < 5,5$  они должны быть предварительно известкованы. При внесении реagentных осадков, которые прошли предварительную обработку известью, целесообразно рассчитать количество  $\text{CaCO}_3$ , которое поступает в почву вместе с внесением ОСВ. Во всех агрохимических зонах такие осадки вносят под озимые, а также технические культуры (кроме льна и картофеля), которые потребляют много кальция (Стратегия использования..., 2002). ОСВ, как и навоз, содержат биофильные микроэлементы, необходимые для роста и развития растений: медь, цинк, марганец, кобальт, молибден, а также токсичные элементы - кадмий, свинец, ртуть и т.д., которые поступают в большем количестве с кормами, особенно в стойловый период (Еськов и др., 2004). По эффективности многие виды ОСВ не уступают традиционным органическим и минеральным удобрениям (Мерзлая, 2003; Отаббонг и др., 2001; Зотов, Суслов, 2010).

За рубежом существует целый ряд документов, регламентирующих условия применения ОСВ в качестве удобрения: в США - Правила применения твердых веществ биологического происхождения в земледелии; в странах Евросоюза Директива 86/278/ЕЕС «Защита почвы при использовании осадков сточных вод в сельском хозяйстве вод»; кроме того, в отдельных странах приняты региональные стандарты, регулирующие применение ОСВ в сельском хозяйстве. Так, в Великобритании действуют следующие доку-

менты UK Sludge Regulations- 1989, Code of good Agricultural practice for the use of sludge in Agriculture, UK Code(s) of good agricultural practice –Soil, Air and Water (PEPFA codes in Scotland), Safe sludge matrix и др. В европейских малоземельных странах, в условиях недостатка органических удобрений, основные требования, регулирующие применение ОСВ в сельском хозяйстве, предъявляются к содержанию веществ, способных оказать негативное влияние на почву: тяжелые металлы, стойкие органические загрязнители, патогенные микроорганизмы. ПДК в разных странах неодинаковы, определяются способностью почв к самоочистке и дозой внесения осадков. Установленные ПДК корректируются во времени по данным, которые получены в опытах и практике использования осадков в агрикультуре (O'Connor et al., 2001; Final Implementation Report..., 2012; Donatello, Cheeseman, 2013).

**Таблица 2.** Требования к содержанию ТМ, ртути и мышьяка в осадках сточных вод, используемых в качестве удобрения, мг/кг сухого вещества

Страна	Pb	Cd	Ni	Cr	Zn	Cu	Hg	As
Россия								
I группа	250	15	200	500	1750	750	7.5	10
II группа	500	30	400	1000	3500	1500	15	20
Украина	750	30	200	750	2500	1500	15	-
Страны	750-	20-	300-		2500-	1000-		
ЕС*	1200	40	400	-	4000	1750	16-25	-
США**	840	85	420	3000	7500	4300	57	75

\*Директива 86/278/ЕЕС

\*\*Part 503 Biosolids Rule US EPA

В Российской Федерации содержание ТМ в осадках нормируется по I-ой и II-ой группам (табл. 2). Осадки I группы имеют более жесткие ограничения, чем осадки II-ой группы, нормативы для которой легко рассчитываются: как содержание элемента в I-ой группе  $\times 2$ . Нормативы РФ по содержанию ТМ II группы в основном соответствуют международным стандартам. Осадки первой группы пригодны для внесения по все виды сельско-

хозяйственных культур, кроме грибов, овощей, зеленых и земляники. Осадки второй группы используются под зерновые, зернобобовые, зернофуражные, технические и кормовые (кроме корнеклубнеплодов) культуры. Осадки обеих групп используются в промышленном цветоводстве, зеленом строительстве, в лесных и декоративных питомниках, для биологической и технической рекультивации нарушенных земель и полигонов твердых бытовых отходов (ТБО) (Типовой технологический регламент..., 2000; ГОСТ Р 54534-2011).

Важно учитывать непостоянство состава осадков во времени, связанное с совершенствованием технологий очистки сточных вод или по другим причинам. Систематический анализ химического состава ОСВ Курьяновской и Люберецкой станций аэрации по содержанию более чем 20 элементов, проведенный Всероссийским научно-исследовательским институтом удобрений и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова и Институтом геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского, показал, что за последнее десятилетие произошло значительное снижение их концентраций. Содержание тяжелых металлов в ОСВ г. Москвы в 1996-2003гг. было существенно ниже нормативных значений 1989г., где наблюдалось превышение ПДК по всем элементам, кроме ртути (ГОСТ Р 17.4.3.07-2001, Седых и др. 2000) (табл. 3).

**Таблица 3.** *Изменение среднего содержания потенциально опасных элементов в сброженных осадках станций аэрации г.Москвы, в мг/кг (Седых и др., 2000)*

Элемент	Годы исследований									ПДК* I-II группы
	1989	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2003	
Cd	70	25±7	17 7	20	15	10	10	9,7	10	15-30
Zn	4100	1044±420	886±230	1200	1064	1100	800	1200	1670	1750-3500
Cu	1800	562±260	497±176	680	524	400	400	439	430	750-1500
Cr	3200	759±484	526±140	600	498	375	300	304	380	50-1000
Ni	570	149±48	92±32	100	101	75	80	64	104	200-400
Pb	250	-	66±14	60	50	40	40	35	36	250-500
Hg	2	-	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	-	7,5-15
As	25	-	-	8	6	4	4	3	-	10-20

\* ГОСТ Р 17.4.3.07-2001

## 1.2 Санитарно-паразитологические показатели осадков, методы их обеззараживания

Важной характеристикой осадков сточных вод является содержание в них патогенных микроорганизмов. Являясь органическими отходами жизнедеятельности, они содержат большое количество микроорганизмов, которые могут сохранять свою жизнеспособность продолжительное время (от нескольких месяцев до нескольких лет). Патогенные для человека микроорганизмы в ОСВ представлены бактериями: *Salmonella sp.*, *Brucella*, *Esherichia coli*, *Enterobacteria sp.*, *Staphylococcus Sterptococcus faecalis*; гельминтами: *Ascaris lumbricoides*, *hilmintic parasites*; вирусами: *Hepatitis virus*, *Corsicule virus* и другими. Они вызывают такие болезни, как кишечные инфекции, сальмонеллез, гельминтоз, гепатит А и другие. Также ОСВ могут содержать различные патогенные грибы, такие как *Bipolaris sorokiniana*, *Botrytis cinerea*, которые являются возбудителями болезней, как у растений, так и у человека (Чичева, 1979; Марфенина, 1999; Хотько, Дмитриев, 2002; Jedrczak , 2007, Blaszczyk , 2007). Кроме того, в разных странах мира в ОСВ обнаруживаются *Fecal coliforms*, *E. Coli*, *Yersinia spp.*, *Legionella pneumophila*, *Campylobacter spp.*, *Arcobacter butzeri*, *Enterococcus spp.*, *Listeria spp.*, *Clostridium spp.*, а также энтеровирусы, полиомавирусы, реовирусы, аденовирусы, норовирусы и др. (Strauch, 1991; Kaźmierczuk, Kalisz, 2008; Popova et al., 2014).

В Российской Федерации санитарно-паразитологические показатели нормируются СанПиН 2.1.7.573-96, они основаны на определении содержания возбудителей особо опасных болезней в единице массы или объёма осадка. Например, самый важный показатель – бактерии группы кишечной палочки (БГКП) – рассчитывается по количеству клеток в 1 грамме осадка (табл. 4). В США ужесточаются требования к применению ОСВ с учетом анализа рисков воздействия патогенов на здоровье человека, осадки делят на 2 группы (EPA, 2004; Problem Formulation, 2011; Viau et al., 2011).

**Таблица 4. Санитарно-бактериологические и санитарно-паразитологические показатели осадков сточных вод.**

Показатель	Нормативы для группы осадка		Методы определения
	I	II	
Бактерии группы кишечной палочки, (БГКП), экз/кг осадка фактической влажности.	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест, МУ. 1.7.730-99. Минздрав России, 1999.
Патогенные организмы, в том числе сальмонеллы.	отсутствие	отсутствие	
Яйца гельминтов, цисты кишечных патогенных простейших экземпляров.	отсутствие	отсутствие	Методы санитарно-паразитологических исследований. Методические указания МУК.4.2.796-99. Минздрав России, 99

Важность нормирования содержания патогенов в ОСВ подчеркивается так же Европейским Сообществом (табл. 5). Основным нормируемым патогеном является сальмонелла, кроме того, в разных странах нормируется содержание стрептококка, энтеровирусов, яиц гельминтов, энтеробактерий и др. (Andersen, 2002; da Silva et al, 2007; Global atlas..., 2008).

**Таблица 5. Санитарно-эпидемиологические требования к осадкам сточных вод в разных странах.**

Страна	Salmonella	Другие патогены
Дания	Не найдено	<i>Faecal streptococci</i> : <100/г
Финляндия (539/2006)	8 НВЧ/ 10г сухого вещества	<i>Enterovirus</i> : 3 MPCN /10г сухого вещества <i>Helminths aggs</i> 3/10г сухого вещества
Италия	Не определяется в 25г	<i>Escherichia coli</i> <1000 КОЕ
Люксембург	-	<i>Enterobacteria</i> : 100/г, отсутствие яиц червей, вероятно различных
Польша	Не используются в сельском хозяйстве, если содержат сальмонеллу	

Важно отметить изменение биоразнообразия почвы при внесении ОСВ. Установлено, что внесение осадков КСА на дерново-подзолистых почвах в дозах, рекомендованных ГОСТ Р 17.4.3.07-2001, не приводило к изменению численности и структуры комплекса сапротрофных бактерий (Дурихина, 2005). Эксперименты с осадками очистных сооружений пос. Павловка (Оренбургской обл.) показали, что органическое вещество ОСВ являлось благоприятным субстратом для развития *Actinomyces*, почвенных дрожжей *Luzomyces*, и представителей родов *Mucor*, *Aspergillus*, *Penicillium*. Увеличивалось видовое разнообразие почвенной фауны, что подтверждалось расчетными индексами Макинтоша и Шенона (Филиппова, 2010).

Все технологии обеззараживания осадков сточных вод, которые существуют в мировой практике, можно разделить на:

**Физические методы**: нагрев, пастеризация, стерилизация, облучение инфракрасными, а также  $\gamma$ - и  $\beta$ -лучами (Туровский, 2008; Обработка, обеззараживание..., 2012; Курносова, Давыдова, 2013; Trump et al, 1984 ).

**Химические методы**, основанные на использовании химических реагентов, которые нарушают свойства и состав среды обитания, снижают жизнеспособность патогенной микрофлоры, нарушают процессы токсино- и спорообразования и приводят их к гибели (негашеная известь, аминокислотные композиции и др.) (Гуляева и др., 2012 ; Губанов и др., 2009).

**Биохимические или биотермические методы** (компостирование) – это ряд биохимических процессов, при которых органическая часть осадков преобразуется в стабильный гумусоподобный продукт. Предварительная обработка ОСВ в анаэробном и аэробном режимах позволяет гомогенизировать продукт, сохранить все питательные вещества, полезную живую микрофлору, которая выступает активными антагонистами патогенной микрофлоры (De Bertoldi et al., 1983; Hamer, Mason, 1987; Andersson, Domsch, 1989).

Важным фактором оздоровления агроценоза при использовании осадков сточных вод выступают **культуры-фитосанитары**. Механизмы воздей-

ствия фитосанитарных культур на почвенные патогенны рассматриваются как их способность стимулировать в микробном пуле гиперпаразитов, прямых антагонистов и антагонистов-сапротрофов (Dumontet et al., 1999). Корневые экссудаты сельскохозяйственных растений оказывают прямое ингибирующее, стимулирующее и абортивное действие на патогенные грибы в почве. Их влияние зависит от вида растения и фазы развития, так корневые экссудаты тимopheевки, трехреберника, пастушьей сумки полностью подавляют генеративные функции возбудителя белой гнили (*Sclerotinia sclerotirum*). Прекрасным фитосанитаром при чередовании культур в севообороте является овёс (Feachem, 1983). Для фитоочистки почв в агроценозе используют: амарант, донники, редьку масличную, люцерну, тимopheевку луговую, крапиву, горчицу, коноплю, козлятник восточный, мальву, возможно использование кукурузы и подсолнечника (Тарасов, 2003). В осадках, обработанных бобовыми культурами, жизнеспособные яйца гельминтов отсутствуют (Бояркин, 2005).

### **1.3 Компостирование осадков сточных вод**

Компостирование - биохимический процесс, при котором органическая часть осадка частично минерализуется и за счет работы микробиоты формирует новые гумусоподобные вещества. Оно решает несколько задач: утилизацию, наиболее экономичную в отношении осадков сточных вод, увеличение количества органического вещества в агроценозе, активацию инертной органики: древесной коры и торфа, сапропеля; снижение концентрации вещества, особенно ТМ и токсинов (Сидоренко, Черданцев, 2001).

Анализ литературных данных показывает, что при наличии разнообразных методов подготовки ОСВ для внесения в почву, в условиях РФ лучшим является приготовление компостов на их основе (Основные направления..., 1990; Стратегия использования..., 2002; Пахненко, 2012). Этот прием сочетает экологическую безопасность, устойчивые удобритель-

ные свойства, увеличение органической массы, возможность сочетания ОСВ с минеральными удобрениями и известью, что решает проблему несбалансированности химического состава ряда осадков. Компостирование можно признать «медленным» способом утилизации, однако, такой прием как выдерживание ОСВ на иловых площадках, по современным требованиям, предусматривает еще более длительные сроки (Рекомендации по применению..., 1984).

Интенсивность процесса компостирования и скорость окисления во многом зависят от соотношения углерода и азота. Оптимальным соотношением для основных групп микроорганизмов признано 20-30:1. Основные источники азота в компосте: белки, аминокислоты, азотистые основания. При недостатке их компостная смесь активируется внесением мочевины, солей аммония, поэтому применяется обеззараживание ОСВ введением хлористого аммония и безводного аммиака. Микробное сообщество с повышенным употреблением азота слабо минерализует органический субстрат, поэтому регулирование отношения углерода к азоту определяет скорость минерализации. На практике это реализуется введением в ОСВ наполнителей – опилок, древесных отходов, торфа, ТБО, подстилочного навоза. Поскольку все наполнители обладают высокой адсорбционной способностью, снижается влажность ОСВ, что приводит к улучшению физических свойств, снижению концентрации поллютантов в компосте, что расширяет возможности его использования (Умаров, 1986; Boyle, Paul, 1989; Burt et al, 1990; Grigatti et al., 2004).

В исследованиях с ОСВ г. Серпухов установлено, что предварительная обработка компостов реагентами на аминокислотной основе и биопрепаратами (комплексами микроорганизмов) позволяет добиться их обеззараживания и детоксикации (Губанов, Бояркин, 2008). По данным американских исследователей, наиболее эффективная инактивация патогенов достигается путем сочетания процесса компостирования и мезофильного сбраживания (Viau, 2011). Исследования польских ученых показали, что при увеличении темпе-

ратуры компостирования сокращается время компостирования, необходимое для деструкции патогенных микроорганизмов (Jedrzcak, 2007).

В процессе трансформации осадков сточных вод могут иметь место не большие потери биофильных элементов, в частности фосфора и калия, при этом установлен значительный рост содержание аммиачного азота (Цуркан и др., 1989). Некоторые авторы отмечают несбалансированность питательных веществ в компостах при использовании их в качестве удобрений. В этой связи считают целесообразным добавление к ним серы и других элементов (Отаббонг, 2001). Весьма перспективно применение при компостировании ОСВ микробиологических препаратов, способствующих интенсификации биотермических процессов (Хакимов, Севастьянов, 2004).

#### ***1.4 Влияние осадков сточных вод на свойства почвы***

Действие ОСВ на свойства почвы обусловлено качественным и количественным составом органического вещества и зольной части осадков, свойствами ингредиентов, используемых при их производстве. Основные позитивные факторы влияния ОСВ на свойства почвы: обогащение её органическим веществом, элементами питания растений (азот, фосфор, калий) и микроэлементами (цинк, медь, кобальт, хром, молибден и др.), улучшение водно-физических свойств, повышение ферментативной активности, выделение  $\text{CO}_2$ , а так же увеличение численности и активности полезных микроорганизмов. Кроме этого, следует учитывать, что при внесении осадков, в зависимости от технологии их получения, климатических условий, свойства почвы, в агроценозе возможно проявление негативных факторов. Среди них основные: несбалансированный химический состав осадка, наличие в его составе тяжелых металлов и патогенов, а также органических загрязнителей (ПАУ, С1-пестицидов) (Касатиков, 1989; Stamatiadis et al., 1999).

Осадки сточных вод содержат в своем составе большое количество органического вещества, поэтому при их внесении происходит увеличение со-

держания гумуса в почве. В зависимости от дозы осадка (от 20 до 100 т/га) количество гумуса увеличивается в среднем на 0,2-0,6% (Гольдфарб и др., 1983; Стучков, 1996; Чекаев, 2010; Saviozzi et al., 1999). При внесении обезвоженных ОСВ на аллювиальных почвах (*Eutric Fluvisol*) установлено увеличение содержания органического вещества и биогенных элементов (NPK) от 11 до 70% (Suhadolc et al., 2010). Показано, что органическое вещество осадка сточных вод, внесенного в почву, разлагается в первый год внесения на 20-35% (Clapp et al., 1986; Putham, 1989). Нестабилизированный свежий ОСВ, представленный легкоминерализующимися соединениями, неспособен поддерживать в течение длительного времени стабильное гумусное состояние почвы и обеспечивать положительный баланс органического углерода (Андропова, 2002). В условиях оптимального увлажнения и температуры  $C_{орг}$  легко минерализуется. Соединения органического вещества после длительного вылеживания ОСВ в буртах более стабильны и оказывают длительное воздействие на содержание  $C_{орг}$  в почве (Кононов, Лагутина, 1995).

Осадки сточных вод рассматриваются как один из основных источников поступления азота в почву (Лучицкая, Севастьянов, 2007; Witter, Lopez-Real, 1987; Ottman et al., 1989, Rosenani, 2004). Содержание общего азота изменяется от 40 до 46 кг/т. При этом, небольшая его часть находится в форме, доступной для растений (Покровская, Касатиков, 1987; Орлов и др., 1996; Jezierska-Tys, Frac, 2009). Наличие в ОСВ значительного количества доступного для растений фосфора определяет его активное действие на фосфорный режим почв. В процессе минерализации увеличивается степень подвижности фосфатов, что особенно проявляется при внесении высоких доз осадков (Горшкова и др., 1998). Содержание калия в осадках намного меньше, чем в навозе, его большая часть находится в жидкой фазе ила и может вымываться при хранении, потери могут достигать 50-80%, поэтому их применение практически не влияет на изменение обеспеченности почв калием (Касатиков, Шабардина, 2008).

Осадки сточных вод обладают заметным прямым и длительным последствием. Эффект от прямого действия тем значительнее, чем менее плодородна почва. Последствие осадка в некоторых случаях оказывается эффективнее прямого действия. Длительность последствия зависит и от гранулометрического состава почвы. Так, на глинистой и суглинистой почве высокие дозы осадка (80 т/га) оказывают значительное действие в течение 3-5 лет. На песчаных и супесчаных почвах, вследствие высокой аэрации и более быстрого разложения осадка, его последствие менее продолжительно (Гольдфарб и др., 1983). Внесение ОСВ г. Рыбинска под вико-овсяную смесь в дозе 30, 60, 90 т/га показало, что последствие его на второй год выше действия. На 3-ий и 4-ый годы положительное действие на урожай вики яровой установлено для более высоких доз осадков (Таран, Майдебура, 2009).

Внесение осадков сточных вод, а как следствие органического вещества, катионов кальция и магния, илистой массы улучшает фильтрационную способность, влагоемкость и структурность почвы, снижает ее плотность, повышают водоудерживающую способность, водопроницаемость почвы и увеличивают накопление продуктивной влаги, улучшают микроагрегатный состав почвы (Денисов и др., 2007; Белюченко, Гукалов, 2011, Angin, Yağanoğlu, 2011). На почвах легкого гранулометрического состава стандартные дозы внесения ОСВ оказывают слабое влияние на физические свойства почвы и агрохимические показатели (Убугунов и др., 2001). Однако, исследования ряда ученых показали, что при внесении ОСВ на выщелоченном черноземе наблюдается снижение плотности почвы увеличение содержания агрономически ценных агрегатов (Немцев и др., 2011); на песчаных и известковых почвах Саудовской Аравии с увеличением дозы вносимых ОСВ с 0 до 125 т/га происходит рост предельной полевой влагоемкости, пористости, а также снижение объемной плотности (Hussein, 2009).

Внесение осадков сточных вод, особенно реагентных, способствует увеличению рН водной и солевой вытяжки и снижению величины гидролити-

ческой кислотности. При внесении в почву ОСВ в дозе 10 т/га достигается заметная, иногда полная нейтрализация почвенной кислотности (Рэуце, Кыр-стя, 1986; Полухин, Большова, 2002). Различные физико-химические свойства осадков наиболее сильно проявляются в их действии на обменные свойства почвенного поглощающего комплекса. Наблюдается увеличение содержания обменных катионов, повышается степень насыщенности почв основаниями. При внесении ОСВ на песчаных и известковых почвах повышается электрическая проводимость, содержание  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , анионов  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , доступного фосфора, доступных форм микроэлементов Fe, Mn, Cu, Zn, а также тяжелых металлов (Стучков, 1996; Дышлок, Чаусова, 2012).

Сверхнормативное содержание тяжелых металлов в ОСВ могут оказать негативное влияние на рост растений, микробную биомассу, микробиологические процессы, в частности, активность почвенных ферментов уреазы и дегидрогеназы (Chander et al., 1995). Однако, в условиях Центрально-Черноземного региона, экспериментально установлено, что способность почв к связыванию ТМ возрастает с ростом количества органического вещества, а также, при переходе реакции среды раствора в нейтральный и щелочной интервал. Таким образом, на нейтральных и щелочных почвах возможно использование осадка без дополнительной обработки, при внесении в почву обезвреживание будет происходить путем комплексообразования тяжелых металлов с аминокислотами, содержащимися в самих осадках (Булгакова и др., 2010). При регламентированном внесении, осадки сточных вод обеспечивают высокий агрономический эффект, снижают накопление ТМ и других опасных токсикантов в биомассе растений и почве (Афанасьев, Мерзлая, 2001; Гостищев, 2001; Бадмаев и др., 2009; Плеханова, 2009; Johansson et al., 1999; Mårtensson, Witter, 1990; Almeida et al., 2000; Goyal et al., 2008)

## **1.5 Основные методы утилизации ОСВ**

В настоящее время можно утверждать, что проблемы обработки и утилизации осадков сточных вод составляют основную технологическую и экономическую сложность в процессе очистки сточных вод. В Российской Федерации ежегодно образуется порядка 2 млн. тонн ОСВ по сухому весу (при исходной влажности 98% их масса составляет порядка 100 млн тонн). Например, только в Московской области накоплено более 120 млн тонн неутилизированных ОСВ и ежегодно эта цифра увеличивается на 14-20 млн. тонн (Чеботарев, 1997; Хомяков, 1991; Aubain et al., 2002; Гальченко, Чердакова, 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 США – 41% (Renner, 2000). Страны Европы можно разделить по утилизации осадков так: преимущественно в сельском хозяйстве ОСВ используют Кипр -84%, Испания – 83%, Ирландия и Англия – 68% , Болгария – 56%; компостируют Эстония – 80%, Словакия – 65%, Финляндия – 81%; сжигают Голландия – 100%, Швейцария – 90%, Словения – 62%, Бельгия – 52%; складировуют Мальта и Исландия – 100%, Греция - 98% (Donatello, Cheeseman, 2013) .

Основными определяющими факторами утилизации являются следующие: наличие свободных территорий для складирования и хранения; экономические ресурсы, необходимые для капитального строительства и эксплуатации очистных сооружений; альтернативные экологические технологии утилизации ОСВ, которые отличаются высокой наукоёмкостью (Бернадинер и др., 2000; Губанов, Бояркин, 2013; Храменков и др., 2012).

Одним из первых этапов переработки ОСВ с целью более полного использования органического вещества и уменьшения загрязнения природной среды является анаэробное сбраживание сырых осадков и избыточных илов в

метатенках (или анаэробных биофильтрах). При этом идет получение биогаза, состоящего в среднем на 65% из метана, 33% углекислого газа и 2% водорода, азота, сероводорода и кислорода, который может эффективно использоваться для выработки электроэнергии, что реализовано на крупных очистных сооружениях России и в ряде зарубежных стран (Дурихина, Курганова, 2003). На следующих этапах возможно дальнейшее использование илов очистных сооружений в зависимости от содержания в них органических и минеральных компонентов и класса опасности: 1 – чрезвычайно опасные; 2 – высоко опасные; 3 – умеренно опасные; 4 – малоопасные. Малоопасные осадки сточных вод с большим содержанием углерода, азота, фосфора, калия могут быть направлены на использование в сельском хозяйстве в качестве удобрений и даже белково-витаминной подкормки животных и птиц. Умеренно опасные осадки сточных вод - на использование в строительной индустрии, металлургическом производстве (минеральная часть), а также для получения технического жира, различных смазок (органическая часть) и других ценных химических продуктов. Другие шламы подлежат обезвреживанию, подготовке (обезвоживание, термическая обработка) и захоронению на полигонах токсичных промышленных отходов. Для илов, загрязненных тяжелыми металлами, нефтепродуктами, предлагаются комплексные технологии по очистке с получением товарных продуктов. Однако, в настоящее время в РФ основная масса осадков сточных вод складировается на иловых площадках, отвалах и т.д. Условия складирования и хранения осадков, как правило, не исключают загрязнения ими поверхностных и подземных вод, почв, растительности (Анализ существующего ..., 1989; Овцов, 2002; Давыдов, Воробьева, 2008; Берлякова и др., 2010; Дрегуло, Панова, 2012).

К основным методам утилизации осадков сточных вод относятся:

Сжигание – процесс окисления органической част осадков при высокой температуре до нетоксичных газов (СО, водяные пары, азот) и выделения

минеральной части в виде расплава или золы. Целесообразно в тех случаях, когда осадки не могут быть использованы в качестве органических удобрений. Такая система утилизации существует в Выборгском районе Ленинградской обл., что связано с высокой плотностью населения и негативными климатическими условиями: большое количество атмосферных осадков, близкое залегание грунтовых вод, высокая влажность ОСВ (Гумен и др., 1998; Кармазинов, Пробирский, 2001). Процесс сжигания сопровождается выделением токсичных пылегазовых выбросов, содержащих оксиды серы (IV и VI), хлора и хлорсодержащих соединений, диоксинов, что приводит к необходимости создания комплексной многоступенчатой системы фильтров. В процессе пиролиза образуется твердый осадок – пирокарбон или органо-минеральная композиция, которые можно использовать в качестве топлива, а также доступного сорбционного материала. Органо-минеральная композиция может быть использована для рекультивации и детоксикации отработанных и законсервированных иловых карт и илонакопителей (Гуляева и др., 2012).

Низкотемпературный пиролиз осадков реализуется в Японии, Италии, разрабатывается учеными Германии и других стран. Основной продукт - «сырая нефть». В отличие от сжигания при высокой температуре, наблюдается меньшая загрязненность атмосферы, вовлекаются в переработку и многие газообразные продукты процесса, используются некоторые компоненты осадков (силикатные продукты и соли меди). Указанные вещества играют роль катализаторов в процессе перегонки, поэтому их дополнительное внесение при пиролизе не требуется (De Bertoldi et al., 1983, Solmaz, 1998).

В Российской Федерации низкотемпературное сжигание в псевдоожиженном слое катализатора был апробирован на осадках сточных вод «Омскводоканал» г. Омск, Курьяновской станции аэрации г. Москва и АП «Горводоканал» г. Новосибирск (Симонов и др., 2010).

Захоронение на специально оборудованных площадках в ракетных шахтах, на заброшенных карьерах и полигонах твердых бытовых отходов. В

зависимости от выбранного способа, потребуется решение проблемы газовой-деления с толщии захороненных осадков, а также мероприятия, предотвращающие проникновение загрязняющих веществ нисходящими или боковыми токами в грунтовые или глубинные воды.

Формирование ландшафтных и парковых объектов в гидротехнических сооружениях котлованного типа и депонирование в виде насыпных холмов, формирующих ландшафтный дизайн. После рекультивации занимаемой территории, она становится пригодной для строительства жилищно-бытового комплекса и объектов зеленого строительства (Вайсфельд, Кремер, 2002).

Утилизация в дорожном строительстве. Осадкам сточных вод в результате технологических операций: сушки, измельчения и просева придают свойства, позволяющие использовать их в качестве компонента (наполнителя) асфальтобетонных смесей (Дрозд, Бреус, 2009).

Использование осадков сточных вод в агроценозе и зеленом строительстве и лесоразведении. Установлено, что допустимо вносить осадки под все сельскохозяйственные культуры. С экономических позиций, их целесообразно применять под зерновые и кормовые культуры, так как зерновые меньше поглощают тяжелые металлы, а содержание их в кормовых снижается за счет переработки кормов. При внесении осадка сточных вод г. Благовещенска под сою в дозе 2,4 и 6 кг/м<sup>2</sup> урожайность культуры увеличивалась, при этом содержание белка, масла и углеводов в семенах не изменялось (Иванченко и др., 2010). Исследования по влиянию ОСВ МУП «Владимирводоканал» на содержание ТМ в зерне ячменя и зеленой массе горчицы белой показали, что содержание большинства элементов в растениях не превышает максимально допустимого уровня для кормов. Позитивный эффект по снижению ТМ в растительной продукции наблюдался при использовании приемов вермикомпостирования и известкования (Пескарев, 2010).

Поскольку содержание фосфора в осадках сточных вод многократно превышает содержание калия, наибольшие различия в дозах наблюдаются

между данными минеральными удобрениями. В связи с этим на почвах, высокообеспеченных доступным фосфором, можно обойтись без их внесения, а на среднеобеспеченных – применять его в рядки. Напротив, дозы калийных удобрений при всех уровнях обеспеченности почвы превышают дозы азотных и фосфорных удобрений (Минеев и др., 2003, Мерзлая и др., 2015).

Установлено, что качество осадков имеет меньшее значение, если они применяются под технические культуры. Так, под лен можно вносить все виды осадков, за исключением тех, которые предварительно обработаны негашеной известью. Это повышает продуктивность культуры и позитивно влияет на технологические показатели соломки. Внесение минеральных удобрений на фоне осадков является обязательным приемом (Толстопятова, 2001; Тишков, Бушнев, 2012). Совместное внесение 15 т/га ОСВ и расчетной дозы минеральных удобрений способствует улучшению посевных качеств семян конопли, тогда как применение осадка в чистом виде отрицательно сказывается на них, кроме того снижается содержание в семенах жира и общего белка (Александрова, 2011). В г.Новосибирск осадки применяли для выращивания рапса на зеленую массу в дозе 20т/га в чистом виде, а также с добавлением микробиологического препарата БакСиб. В результате исследования было установлено позитивное влияние на продуктивность растений рапса ярового без снижения качества (Кусакина, 2012).

Под овощные культуры можно использовать только осадки I группы. Возрастающие дозы ОСВ г. Улан-Удэ вносили под редис, салат и свеклу, что способствовало повышению урожайности, благоприятно влияло на качественный состав их товарной части, отвечающей санитарно-гигиеническим требованиям по содержанию нитратов и накоплению тяжелых металлов (Убугунов и др., 2005; Бадмаев и др., 2009). Кроме того, в разных регионах России и зарубежных странах применение ОСВ при выращивании картофеля, зерновых, кукурузы, подсолнечника на силос, кормовой свеклы, огурцов, люцерны позволяло повысить урожайность и получить качественную кор-

мовую продукцию (Захаренко, 2004; Sabey, Hart, 1975; Giordana et al, 1975; Miller et al, 1995; Saviozzi et al, 1999; Hussein, 2009). Бытовые осадки сточных вод очистных сооружений Южно-Уральского филиала ООО «Газпром-энерго», имеющие низкие концентрации тяжелых металлов (Cr, Ni, As, Cd, Hg – отсутствовали), вносили в дозах 40,60,80 т/га, выращивали перцы (*Capsicum annum*), как наиболее чувствительные к накоплению тяжелых металлов, и баклажаны (*Solanum melongena*), отзывчивые на минеральные удобрения. Результаты исследования показали отсутствие в плодах накопления и тяжелых металлов, и нитратов. Оптимальная доза для изучаемых растений была установлена – 60т/га (Филиппова, Мелько, 2006).

Компосты на основе осадков в настоящее время используют в цветоводстве, озеленении, при устройстве спортивных площадок, формировании газонов и получении газонной культуры (Титова, Варламова 2006; Куликова, 2007; Johansson et al, 1999). В соответствии с СанПиН 2.1.5730-96, доза внесения осадков сточных вод не должна превышать 30 т/га по сухому веществу для удобрений земельных угодий, не загрязненных тяжелыми металлами, которые отводятся под посадки древесно-кустарниковых насаждений, разбивки парковых ансамблей, долголетних луговых угодий.

Исследования по использованию осадка сточных вод г. Орел в цветоводстве для выращивания хризантем, гладиолусов, тюльпанов и астр показали позитивное влияние на приживаемость, улучшение их биометрических показателей и содержания хлорофилла, растения раньше зацветали, улучшались декоративные и товарные показатели (Догадина, 2004).

Осадки сточных вод вносят в условиях зрелого леса для увеличения прироста, в условиях лесных питомников для наращивания биомассы (Романов, 1997; Маврина, 2001; Архангельский и др. , 2012; Залесов и др.,2015). Внесение ОСВ Софринских очистных сооружений (Московская обл.) в почву лесных питомников показали их высокое мелиорирующее действие. Количество водопрочных агрегатов возрастало на 15-50%. Положительное после-

действие осадков прослеживалось в течение трех лет и нарастало с увеличением дозы осадка с 15 до 160 т/га (Анциферова, 2003).

При лесомелиорации необходимо учитывать также и изменение агрохимических свойств почвы: рН, степени насыщенности основаниями, емкости катионного обмена, содержание тяжелых металлов. Важно, что внесение осадков в лесных питомниках существенно отличается по экологическому принципу от внесения под полевые культуры. При выкопке саженцев поглощенные тяжелые металлы и биогенно значимые вещества сохраняются в надземной и подземной частях растений и удаляются из биоценозов. Таким образом, древесные растения снижают концентрацию тяжелых металлов в почве (Кутукова, 2001). Нормативные требования для компостов в лесных питомниках более высокие по отношению к тем, которые применяются к ОСВ: ниже содержание влаги - 60-70%, в 2,5 раза выше содержание органического вещества – 50-60%, допускается внесение компостов с умеренным и низким содержанием фосфора. С учетом физиологической потребности саженцев отношение N: P: K составляет 4: 1,5: 1,0. В качестве наполнителей исполнителей используется гидролизный лигнин, коровьи отходы и сапропели (Романов и др., 2001). По оценкам специалистов наиболее отзывчивыми видами на внесение осадков являются лиственница сибирская, кизильник блестящий, береза повислая, спирея калинолистная. Эти растения имеют высокую толерантность к негативным компонентам осадков, в том числе к тяжелым металлам, обеспечивают максимальную скорость биологической самоочистки агролесоценоза за счет вовлечения и инактивации ряда компонентов ОСВ в биогеохимический круговорот (Пилюгина, 1981).

Допустимые дозы внесения осадков сточных вод по ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 рассчитываются для определенного участка по валовому содержанию тяжелых металлов и мышьяка, как в осадке, так и в почве (фоновое загрязнение). При содержании в почве любого из указанных компонентов элементов-

загрязнителей в концентрации  $>0,8$  ПДК внесение осадков под сельскохозяйственные культуры запрещается. Кроме того, учитывают содержание доступного азота и скорость минерализации осадка. Различают суммарную дозу ( $D_{\text{общ}}$ ) сухого вещества осадка, которая может быть внесена на данной территории без нарушения экологического равновесия в системе почва – осадок – растение – сельскохозяйственная продукция и разовую дозу вещества ( $D_{\text{уд}}$ ), которую можно внести без ущерба для почвы и растений.

Расчет общей суммарной дозы сух. вещества проводится по формуле:

$$D_{\text{общ}} = \frac{0,8(\text{ПДК} - \Phi) \times M}{C}, \text{ (т/га)}$$

Расчет разовой дозы сухого вещества проводится по формуле:

$$D_{\text{уд}} = \frac{0,1 \text{ ПДК} \times M}{C}, \text{ (т/га)}$$

где ПДК – предельно допустимая концентрация элемента-загрязнителя в почве (мг/кг);  $\Phi$  – фоновое содержание этого элемента в почве (мг/кг);  $C$  – концентрация загрязнителя (элемента или вещества) в осадке (мг/кг сухого вещества);  $M$  – масса пахотного или рекультивируемого слоя почвы или грунта на сухое вещество в т/га.

Разовая доза внесения ОСВ ограничивается также уровнем внесения азота в почву. Не допускается внесение с осадком азота минерального или легкоминерализуемого в количестве, которое превышает вынос азота с урожаем данной культуры. Избыточное количество азота приводит к ряду негативных последствий: изменению структуры урожая, увеличивая нетоварную долю продукции, накоплению нитратов и нитритов в растениях, загрязнению поверхностных и грунтовых вод. Экспериментально установлено, что существует ПДК и для фосфора в почве. Эта величина составляет 2000 мг/кг почвы. Такое явление редко встречается в условиях агроценоза, однако, известны случаи, когда эта цифра была много больше. Избыток фосфора в почвах в последние годы встречается на прифермских полях, которые удобряются жидкими навозными стоками. При высокой концентрации доступного фосфора в почве, поглощение его растениями увеличивается, наступает

открытая или явная депрессия ростовых процессов. Расчет доз осадков по калию не производится в связи с незначительным содержанием его в осадках, что отмечено в отечественной и зарубежной практике (Пахненко, 2013).

При совместном применении осадков с минеральными или любыми органическими удобрениями учитывается общее поступление в почву основных элементов питания растений. Компенсация осадков сточных вод минеральными удобрениями проводится с учетом потребности сельскохозяйственной культуры, уровня плодородия почв, на которых они применяются, особенностями севооборота. В последние годы в связи с изменением состава осадков сточных вод и высокими экономическими затратами на минеральные удобрения в основном используют компенсацию ОСВ только калийными удобрениями (Экологически безопасные методы..., 2000).

Таким образом, анализа литературы показал, что за последние 20 лет в отечественной практике отмечено улучшение качества осадков сточных вод, снижение в них опасных токсикантов (тяжелых металлов, органических загрязнителей и др.) за счет сокращения техногенной нагрузки и применения новых технологий очистки (Седых и др., 2000; Стратегия использования ..., 2002; Мерзлая и др. 2015). В целом, осадки 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 слабокультуренных, эродированных и деградированных почвах (Рэуце, Кырстя, 1986; Чекаев, 2010; Степанова и др., 2015).

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 и др., 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: урожай картофеля возрастает на 20-100 ц/га, озимых зерновых на 6-14 ц/га, кукурузы и подсолнечника на силос на 73-113 ц/га, кормовой свеклы на 87-132 ц/га (Захаренко, 2004). Прибавка урожая огурцов составляет 23-69 % на песчаных и от 19 до 86 % на карбонатных почвах (Hussein, 2009). Внесение осадков позволяет получить качественную кормовую продукцию, в том числе, люцерну (Sabey, Hart, 1975; Miller et al, 1995), кукурузу и пшеницу (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, так, при выращивании ежи сборной на дерново-подзолистых почвах осадок КСА в дозе 10 т/га обеспечил в год действия прибавку 107%, в первый год последствия - 68%, во второй год последствия – 15%, в третий год – 4% (Мерзлая, 2004); при выращивании вико-овсяной смеси на осадках г. Рыбинска последствие превышало действие  $\approx$  в 2 раза (Таран, Майдебур, 2009);

- при регламентированном внесении, осадки обеспечивают высокий агрономический эффект, снижают накопление тяжелых металлов и других опасных токсикантов в биомассе растений и почве (Романенко, Воробьева, 1995; Гостищев, 2001; Бадмаев и др., 2009; Плеханова, 2009; Mårtensson, Witter, 1990; Goyal et al., 2008).

- применение осадков сточных вод не приводит к повышению радиоактивного фона почвы, в многолетних опытах установлено, что удельная активность природных радионуклидов не превышала 25Бк/кг осадка, что значительно ниже значений, установленных СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» для минеральных удобрений и агрохимикатов –  $1 \cdot 10^3$  Бк/кг (Ушаков, 2009).

## ГЛАВА 2. Объекты и методы

### 2.1 *Осадки сточных вод очистных сооружений г. Москвы*

*Впервые в отечественной практике* было проведено комплексное исследование реагентных осадков сточных вод новых очистных сооружений района г. Москвы Южное Бутово. Работу проводили в период 2007-2015 гг. в сотрудничестве с АО «Мосводоканал».

Очистные сооружения «Южное Бутово» были построены по проекту ГУП «МосводоканалНИИпроект» в содружестве с немецкой фирмой "Хелтер" в 1998 году. Их производительность – 80 тыс. м<sup>3</sup>/сут. В технологическом процессе их работы применяется обработка осадков сточных вод негашеной известью, а также *впервые в РФ включена технология биологического удаления соединений азота и фосфора*. Технологическая схема очистки воды и используемое на станции оборудование позволяет осуществлять отвод очищенных сточных вод в соответствии с современными экологическими требованиями в водоем с небольшой обводненностью (рис. 3). Реагентные осадки плохо разлагаются в почве и положительный эффект дают в основном на второй-третий год после внесения. На кислых почвах реагентные осадки могут быть использованы как органо-известковое удобрение (Технологический регламент ..., 2000; Мерзлая, 2004). Такое мнение о реагентных осадках является общим. Поскольку осадки и почва – сложные объекты исследования и характеризуется непостоянным составом, разные партии осадка должны проверяться в конкретных условиях по ряду параметров. Основные из них: качество осадка, свойства исходной почвы, физиологические потребности растений. На очистные сооружения Юж. Бутово поступают преимущественно коммунально-бытовые сточные воды.

Для сравнения были взяты безреагентные осадки крупнейшей в Европе Курьяновской станции аэрации (КСА), производительностью 3,1млн.м<sup>3</sup> в сутки, работающей по классической технологической схеме. Кроме того, в

образовании их стоков участвует значительное количество промышленных сточных вод. Для опытов использовали партию термофильно-сброженного, безреагентного, обезвоженного осадка с иловой площадки (табл. 6).

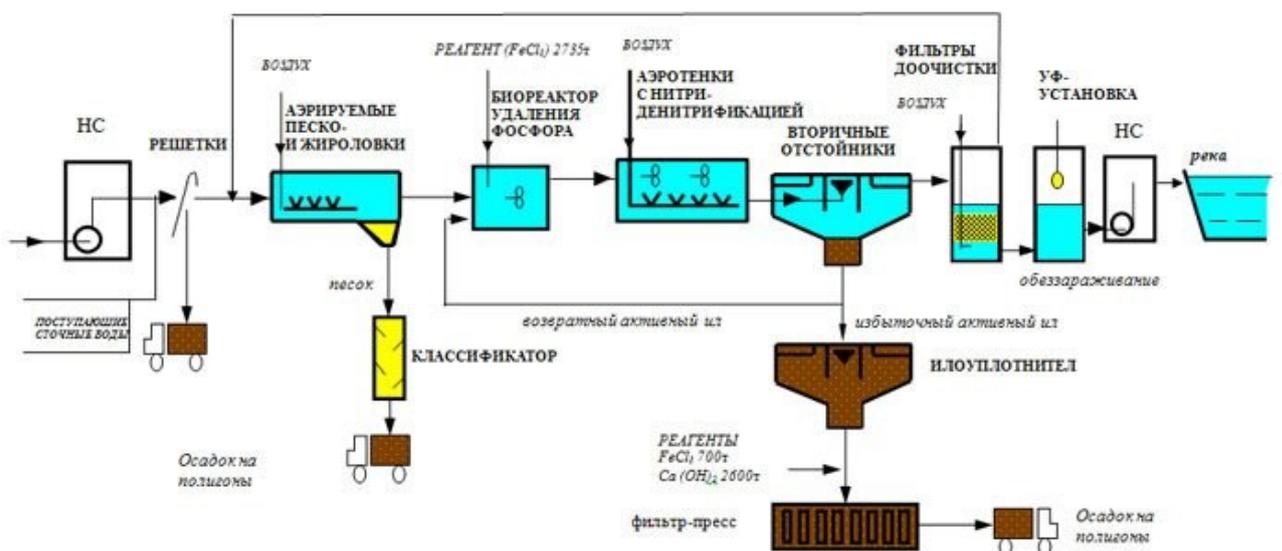


Рис. 3 Технологическая схема очистных сооружений Юж. Бутово г. Москва

Осадки КСА активно используются для исследований при непосредственном внесении в почву и в виде компостов, однако, их состав непостоянен во времени, что связано с интенсивностью промышленных стоков и изменяется при совершенствовании технологии, при закрытии предприятий. Снижение промышленного потенциала в последние десятилетия по регионам Москвы и Санкт-Петербурга привело к многократному снижению содержания ТМ в осадках. Такие данные были получены при проведении анализов и сравнении данных новых и старых осадков на иловых картах. Срок хранения осадков составил около 10 лет (Стратегия использования..., 2002; Плеханова, 2001; Ванюшина и др., 2004; Бурякова, 2006; Козлов и др., 2008 и др.).

**Таблица 6.** 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	$\geq 20$
pH $H_2O/KCl$	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	$\geq 0,6$
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	3,8-5,2	6,3	$\geq 1,5$
K <sub>2</sub> O, %	0,2-0,4	0,4	не норм.

## 2.2 Состав компоста и технология его получения

Принудительное термофильное компостирование осадков сточных вод Курьяновской станции аэрации проводили в «контейнере – минибурте» V=450л, в термофильном режиме с периодической принудительной аэрацией. Влажность компостируемой смеси - 60-65%. Конструктивно контейнер сделан в виде слегка усеченного сверху куба с крышкой сверху, отверстиями для вентиляции, дверками для выгрузки компоста. Контейнер был установлен на деревянном поддоне с отверстиями для вентиляции (рис. 4). В процессе компостирования постоянно фиксировали температура внутри бурта и непосредственно в пристеночном пространстве. Компостирование проводили в термофильном режиме с периодической принудительной аэрацией с расходом воздуха 0,7 л/мин с интервалом в 5 минут. 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. Постоянно осуществлялся контроль за концентрацией кислорода в компостной смеси. Уровень содержания кислорода >10%, углекислого газа <8-9%.



Рис. 4. - Общий вид «контейнера-минибурта»

В качестве наполнителя для компостирования в минибурте использовали щепу лиственных пород размером 5-10 см, так как в ходе предваритель-

ных экспериментов было установлено, что такие размеры обеспечивают наилучшие условия протекания процесса компостирования. Состав компостов: ОСВ + щепа = 2:1; С:N=20-35.

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 (табл. 7). При компостировании осадка Юж. Бутово, значение рН снизилось до 8,5 ед., происходила частичная минерализация органического вещества, его содержание в компосте составило  $\approx 36\%$  для Юж.Бутово и до  $\approx 46\%$  для КСА, количество азота в компосте Юж. Бутово составило 2,2 %, в компосте КСА – 2,5%.

**Таблица 7.** Основные агрохимические показатели компостов Юж. Бутово и КСА.

Показатель	Юж. Бутово	КСА	ПДК (ГОСТ Р 17.4.3.07-2001)
Влажность, %	40-52	74	не норм.
Органическое вещество, %	36-49	46	$\geq 20$
рН <sub>КС1</sub>	8,5-8,7	6,7	5,5-8,5
<i>Валовое содержание биогенных элементов в сухом веществе, в %</i>			
N <sub>общ</sub>	2,2	2,5	$\geq 0,6$
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4,3	6,5	$\geq 1,5$
K <sub>2</sub> O	0,3	0,4	не норм.

### 2.3 Почвы, использованные в микролевых, вегетационных и модельных опытах.

Почвы для вегетационных опытов были взяты на территории Курьяновской станции аэрации: г. Москва, Юго-Восточный Административный округ, 1 км от р. Москва на восток, 2,1 км от проспекта Андропова, 1,4 км от ЖД на запад, 2,2 км от Каширского шоссе на север. Место расположения представлено на карто-схеме (рис.5). Морфологическое изучение разреза и последующий анализ почвы, знакомство с литературой показало, что данную почву можно отнести к урбанозему (Строганова, Мягкова, 1997) (табл. 8).

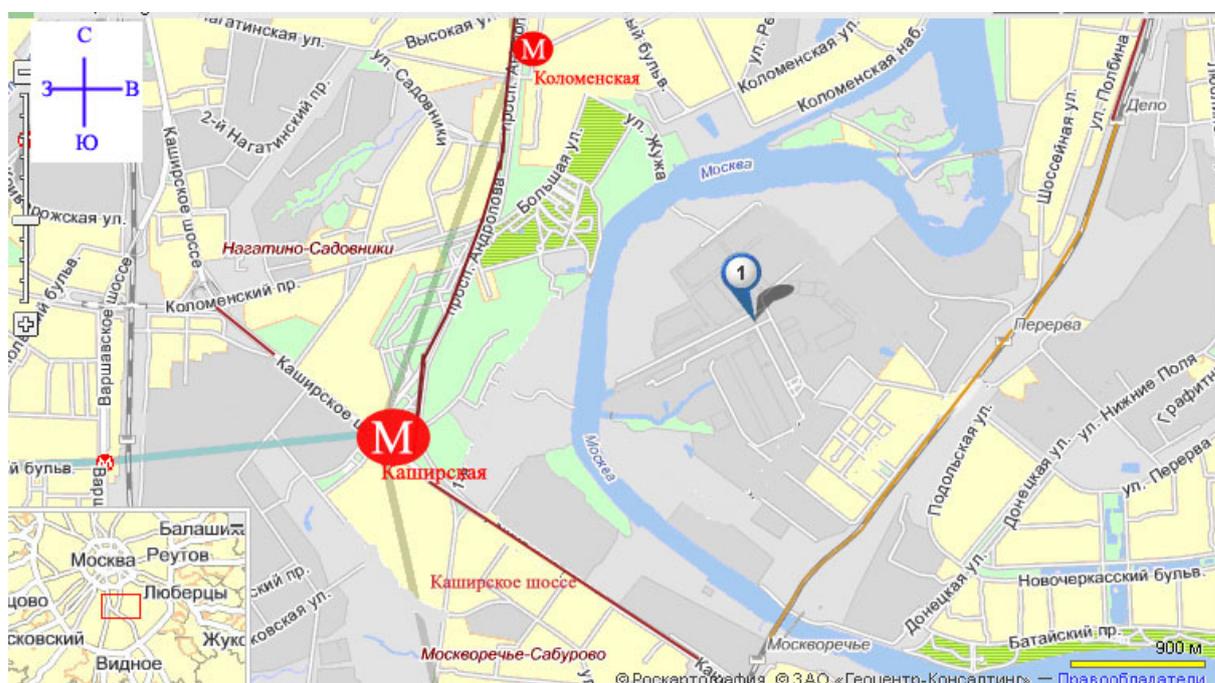


Рис. 5. - Карта - схема места расположения опытного участка

#### Описание разреза почвы на территории КСА:

Растительность мятлик луговой, горец птичий, пырей ползучий.

U1 0-20 см Цвет – буровато-серый, структура комковато - порошистая, легкий суглинок, близкий к супеси, сложение рыхлое, влажноватый, обильные мелкие корни, редкие включения строительного мусора, граница волнистая, переход резкий по цвету и плотности.

U2 20-52 см Цвет коричневато-бурый, структура мелко-глыбистая, средний суглинок, сложение плотное, влажноватый, отдельные корни, вклю-

чения строительного мусора (битый кирпич, железные обломки), переход постепенный по количеству мусора и плотности.

У3 52-65 см Цвет буровато - коричневый, опесчаненный средний суглинок.

Участок проведения микрополевых опытов располагался на той же территории и имел аналогичные генетические горизонты, однако, в виду регулярного формирования на нем декоративных газонов имел увеличенную мощность гумусного горизонта ~35см. Таким образом, почвы эти почвы можно отнести к агроурбанозему (Герасимова и др., 2003).

Моренный суглинок строительных отвалов, использованный в вегетационном опыте с овсяницей красной, был взят из строительных 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).

**Таблица 8.** *Агрохимическая характеристика почв, использованных в микрополевых, вегетационных и модельных опытах*

Почва	рН <sub>Н2О/КCl</sub>	Орг. вещ-во, %	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
			мг/100г почвы			
<i>Урбанозем</i> г. Москва, Юго-Восточный округ	7,3	2-5	12	-	27	3
<i>Агроурбанозем</i> г. Москва, Юго-Восточный округ	7,6	3-7	12	-	28	2,8
<i>Дерново-подзолистая слабо-окульт., Моск. обл. Сергиево-Посадский р-н.</i>	6,8	2-4	11	2,5	26	12,8
<i>Дерново-подзолистая среднеокульт., Моск. обл. Сергиево-Посадский р-н.</i>	6,3	3-4	33	7	8	15,9
<i>Слабонарушенный урбанозем,</i> г. Москва, Северо-Западный округ	4,3	3-5	17	11	3,4	15,3

## 2.4 Методика постановки и проведения опытов

Закладку, проведение опытов, отбор образцов и их аналитическую обработку осуществляли по классическим методам (Агрохимические методы..., 1975; Практикум по агрохимии, 2001). Повторность вегетационных опытов пятикратная, микрополевых – трехкратная.

**Таблица 9.** Схемы микрополевых и вегетационных опытов по изучению возможности применения ОСВ и компостов на их основе в агрикультуре

Тип опыта	Почва	Вид удобрения и доза внесения	Доза %; кг/м <sup>2</sup>	С/Х культура	Срок вегетации, суток
вегетационный	Урбанозем	Компост КСА	5, 10, 20 % 20(поверхностно)	Райграс многолетний <i>Lolium perenne</i>	75
	Моренный суглинок строительных отвалов	ОСВ Юж. Бутово	10%	Овсяница красная <i>Festuca rubra</i>	115
		Компост Юж. Бутово	20%		
		Компост КСА	20%		
микрополевой	Агроурбанозем	ОСВ Юж. Бутово	15 кг/м <sup>2</sup>	Рапс яровой <i>Brassica napus</i>	75
		Компост КСА	15 кг/м <sup>2</sup>		
	Агроурбанозем	ОСВ и Компост Юж. Бутово	10%	Рапс яровой <i>Brassica napus</i> Лен <i>Linum usitatissimum L.</i>	75

Вегетационные опыты проводили в фитотроне, который надежно обеспечивал регулирование температуры, влажности и светового потока. Фитотрон был оборудован лампами SYLVANIA GRO-LUX F36/GRO-T8 (Германия), в нем поддерживалась температура 20±2°C, цикл свет/темнота 14/10 часов. Емкость сосудов – 14 кг воздушно-сухой почвы. После заполнения со-

судов и уплотнения почвы семена овсяницы и райграса высевались в две борозды на глубину 0,5–1,0 см по всей длине ящика; почва разрыхлялась минигольчатой бороной. Срок вегетации составил 2,5 - 3,5 мес. Полив проводили регулярно для поддержания влажности почвы 60% от ППВ.

Влияние осадка и 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.

Влияние компоста КСА изучали в вегетационном опыте с райграсом многолетним (*Lolium perenne L.*) на урбаноземе: вносили компост в дозах 5,10,20% от веса почвы в сосуде. Дозу осадка 20% вносили двумя способами: в почву и поверхностно, без перемешивания.

Влияние осадка Юж. Бутово и компоста КСА на продуктивность вегетативной массы и семенную продукцию рапса ярового (*Brassica napus*) изучали в условиях микрополевого опыта на агроурбаноземе. Микрополевые опыты проводили на делянках  $S=10\text{м}^2$ , вносили  $15\text{кг}/\text{м}^2$  осадка Юж. Бутово и  $20\text{ кг}/\text{м}^2$  компоста КСА. Срок вегетации 3,5 мес. В микрополевом опыте выращивали лен (*Linum usitatissimum L.*) в качестве индикаторной культуры, чувствительной к щелочному компоненту.

Влияние осадка Юж. Бутово на агрохимические свойства почвы изучали в условиях модельного опыта на 3 почвах: дерново-подзолистой среднеокультуренной, дерново-подзолистой слабоокультуренной почвы (Московская область, Сергиево-Посадский р-н) и городской почвы (слабонарушенного урбанозема, 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. Почвенные образцы в воздушно-сухом состоянии, согласно методике, просеивали через сито D=2 мм, что снимало влияние почвенной структуры. ОСВ вносили в воздушно-сухом состоянии, также просеянным через сито. Срок инкубирования - 1 год, определяли основные показатели почвенного плодородия с интервалом 3 месяца, повторность аналитических определений трехкратная.

## 2.5 *Объекты вегетационных и микрополевых опытов*

**В вегетационных опытах** высевали: райграс многолетний, овсяницу красную. Эти культуры широко используются в зеленом строительстве как газонные травы.

Овсяница красная (*Festuca rubra L.*) - низовое многолетнее растение, образует большое количество отпрысковых побегов и сильноразветвленную корневую систему, которая густо пронизывает и скрепляет почву. Образует прочную, упругую дернину. Травостой темно-зеленый, густой и ровный (рис.7). Самостоятельно заполняет выпады на газонах (рис. 8). Хорошо переносит частое скашивание, быстро восстанавливается после механических повреждений. Обладает высокой морозостойкостью, хорошо растет на ярко освещенном месте и в тени. Продолжительность вегетации в травостое при высоком уровне агротехники до 10 лет. Используется для создания газонов различного назначения (Боговая, 1990).

Райграс многолетний (*Lolium perenne L.*) - низовой рыхлокустовой многолетний злак высотой 15-65 см. Образует большое количество прикорневых листьев. Соцветие – колос. Активно используется в городском хозяйстве для создания газонов и как декоративные культуры в ландшафтном дизайне (рис.6, 8). Основное достоинство райграса заключается в том, что он является корневищным растением, переносит сильное уплотнение почвы, что имеет важное значение при формировании газонов и залужении откосов железных дорог и транспортных магистралей (Князева, 2001).



Рис. 6 - Райграс многолетний

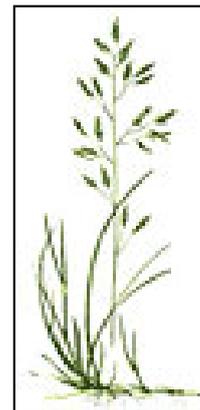


Рис. 7 - Овсяница красная



Рис. 8. - Газон из злаковых трав, парк Царицыно (Райграс многолетний: овсяница красная: мятлик луговой - 1:1:2)

**В микрополевых опытах высевали:** яровой рапс (*Brassica napus L.*) – однолетнее травянистое растение, как и другие капустные, средообразующая культура, улучшает структуру почвы и фитосанитарное состояние поля, повышает ее плодородие (рис. 9). Корневые выделения рапса способны переводить трудноусвояемые формы фосфора в легко усваиваемые, делая их доступным и для последующих культур. Рапс чувствителен к кислотности почвы, а также культура интенсивного типа минерального питания, которая

на формирование единицы урожая требует питательных веществ в 1,5-2 раза больше, чем зерновые культуры, является холодостойким, малотребовательным, нежаростойким растением, предъявляет повышенные требования к условиям увлажнения (Перспективная ресурсосберегающая технология..., 2008). Рапс может использоваться в качестве фитомелиоранта, поскольку при уборке в фазе бутонизации накапливает значительное количество ТМ в зеленой массе, однако при исследовании семян в фазе полной спелости превышения ПДК не наблюдалось, что позволяет использовать его в качестве биотоплива (Сискевич, Никонова, 2008). Кроме того, рапс характеризуется растущим спросом на внешнем рынке, поскольку является важным источником продовольственного и технического растительного масла, кормового жмыха и шрота, сырьем для производства биотоплива и биосмазки (Ващенко, 2005; Федотов, 2008).



Рис. 9 – Рапс масличный (яровой)

Лен масличный (*Linum usitatissimum* L.) выращивался в опыте в качестве индикаторной культуры на присутствие щелочного компонента. Это ценная техническая культура многостороннего использования. В настоящее время в России наблюдается увеличение площади посева этой ценной масличной культуры (145,9 тыс. га в 2009 г. 495 тыс. га в 2011 г., прежде всего в Южном, Северо-Кавказском, Приволжском и Сибирском федеральных округах. В 2011 г. только в одной Ростовской области посеяно 129,6 тыс. га льна масличного (Тишков, Бушнев, 2012).

Лен масличный требователен к плодородию почвы в начале вегетации, когда начинает формироваться корневая система. Для его выращивания

наиболее пригодными считаются средние по гранулометрическому составу почвы. Тяжёлые заплывающие почвы, образующие корку, мало пригодны для возделывания льна. Оптимальной реакцией почвенного раствора рН на тяжёлых по гранулометрическому составу почвах считается 6,0-6,7, на более лёгких – 5,5-6,0 (Толстопятова, 2001).

## **2.6 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 (Дурынина, Егоров, 1998). Исследования проводили совместно и на базе аккредитованного аналитического центра «Роса», г. Москва.

Влажность почвы, осадка и компоста определяли гравиметрическим методом, рН  $H_2O/KCl$  – 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 спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP, ICP-MS). Подвижные формы тяжелых металлов определяли в ацетатно-аммонийном буфере рН4,8; кислоторастворимые формы - в 1М  $HNO_3$  методом пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии (МУ МСХ ЦИНАО, 1992; ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98).

Санитарно-эпидемиологических показатели осадков и компостов: наличие бактерий группы кишечной палочки, сальмонелл, термотолерантных

колиформ, гельминтологические и вирусологические показатели определяли методом микроскопирования насыщенных растворов согласно МУК 4.2.2661-10.

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

Фитотоксичность осадков Юж. Бутово определяли методом жесткого биотеста по модифицированному методу Цуккони с тест-культурой – кресс-салат (Zukkonі et al., 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 поделаячно 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.*

Большинство исследований в нашей стране посвящено осадкам сточных вод, полученных на станциях с традиционной технологией обработки сточных вод, поскольку таких очистных сооружений большинство и срок эксплуатации дольше (Анализ существующего положения..., 1989; Курганова и др., 1999; Седых и др., 2000; Плеханова, 2009). Однако, в последнее время большое распространение получили реагентные осадки сточных вод, образующиеся на очистных сооружениях с внедрением новых технологий. Но, в силу новизны этого объекта исследования, свойства таких осадков изучены не достаточно.

**Впервые в отечественной практике** в работе проводили комплексное агроэкологическое исследование осадков сточных вод и компостов на его основе Юж.Бутово. Как вариант сравнения, использовали осадок КСА (Вайсфельд, Кремер, 2002; Кутукова, Плеханова, 2002; Минеев и др., 2003) .

ОСВ Юж. Бутово обезвоженные, термофильно-сброженные, реагентные, характер сточных вод, его формирующих, преимущественно коммунально-бытовой В технологическом процессе обработки осадка на очистных сооружениях Южного Бутово предусмотрена обработка осадков известью, в результате чего рН осадка высокое, составляет 8,8-11,2, что позволяет использовать осадок в качестве органо-известкового удобрения на кислых почвах (Пилюгина и др., 1981; Маслов, Истомина, 1990; Захаров, 2004). Поскольку обследование пахотных почв Московского региона в последние годы показало, что рН почв за период 1998-2002 г.г. стабилизировалось на уровне рН 5,8, доля пахотных почв с рН >5,5 составляет 24-28%, темпы известкования исключительно низкие, то внесение таких реагентных осадков оказыва-

ется наиболее эффективным приемом повышения продуктивности севооборота (Аристархов и др., 2010). Кроме того, в некоторых областях за последние десятилетия площадь кислых почв увеличилась в несколько раз. Деградация почв являлась результатом не только слабых темпов известкования, но и внесения низких доз органических удобрений (Ефименко, Просяникова, 1999). Установлено, что нейтрализующее действие ОСВ и компостов проявляется в первый год внесения и сохраняется в течение последующих 4-5 лет (Касатиков, Шабардина, 2014). Позитивное влияние ОСВ на кислотно-основные свойства с разной интенсивностью наблюдается на всех почвах и может быть удачно использовано при внесении в почву физиологически кислых минеральных удобрений (Sims, Patrik, 1978; Guidi, Hall, 1984).

Агрохимические показатели осадка удовлетворительные, соответствуют требованиям для применения в качестве удобрений по всем показателям, кроме рН (ГОСТ 17.4.3.07-2001) (табл. 10). Основные показатели осадков и компостов Юж. Бутово на протяжении исследования анализировали периодически по годам. Важно отметить, что при обработке ОСВ известью в результате реакции выделяется большое количество тепла, которое инактивирует и деструктурирует патогенную микрофлору, при повышении рН выше 10 происходит деформация и гибель яиц гельминтов, ОСВ теряют запах, в них прекращается развитие санитарно-показательных микроорганизмов (кишечной палочки и энтерококка) (Strauch, 1991). В щелочной среде гуматы кальция связывают подвижные формы тяжелых металлов в комплексы, что снижает количество их подвижных соединений (Гуляева и др., 2012).

Одним из основных показателей, определяющим пригодность осадков для применения их в качестве удобрения, является содержание в них органического вещества. Из исследований нескольких лет видно, что осадок Юж. Бутово отличается стабильно высоким содержанием органического вещества – 39-50%, что в 2-2,5 раза больше нормативных значений. Содержание азота и фосфора в осадках сточных вод превышает их содержание в традиционных

органических удобрениях - коровьем и конском навозе и составляет:  $N_{\text{общ}}=3,0-4,2\%$ ,  $P_{\text{общ}}=3,8-5,4\%$ . Содержание калия в осадках и компостах Юж. Бутово относительно стабильно  $\approx 0,4\%$ .

**Таблица 10.** Агрохимические показатели осадков сточных вод и компоста Юж. Бутово

Показатель	Осадок по годам исследования				Компост	ПДК*
	I	II	III	IV		
Влажность, %	68±2	71±3	63±2	72±3	72±3	Не норм.
pH <sub>H2O/KCl</sub>	11,2±0,5	9,2±0,3	11,9±0,5	8,8±0,2	8,5±0,2	5,5-8,5
<i>Содержание в сухом веществе</i>						
Органическое вещество, %	39±2	50±2	42±1	47±2	36±1	≥20
N <sub>общ</sub> , %	3,0±0,15	4,2±0,2	3,8±0,2	3,6±0,18	2,2±0,1	≥0,6
P <sub>2O5</sub> , %	4,0±0,2	5,4±0,2	3,8±0,1	5,2±0,1	4,3±0,2	≥1,5
K <sub>2O</sub> , %	0,3±0,01	0,4±0,02	0,2±0,01	0,2±0,01	0,3±0,01	Не норм.

\*ГОСТ Р 17.4.3.07-2001

Осадки оказывают позитивное влияние на содержание гумуса в пахотном горизонте почвы, которое наиболее заметно на почвах тяжелого гранулометрического состава, что связано с высокой подвижностью органического вещества ОСВ и рассматриваются как один из основных источников поступления азота в почву (Алексеева, 2002; Witter, Loper-Real, 1987; Ottman et al., 1989, Rosenani, 2004). По данным 30-летнего опыта, содержание азота в почве на 31 год внесения осадков сточных вод составляло 0,28%, тогда как при внесении сульфата аммония, подстилочного навоза и соломы соответственно 0,17 %, 0,21%, 0,17% (Mårtensson, Witter, 1990). Установлено экспериментально, что при внесении ОСВ содержание доступного фосфора в почве значительно увеличивается, заметно больше, чем при внесении навоза, однако, навоз имеет преимущество при оценке калийного питания. При использовании ОСВ, для положительного баланса требуется внесение калийных удобрений (Хомяков, 2009).

Компостирование осадка сточных вод 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. Компостирование ОСВ обеспечивает экологическую безопасность, устойчивость удобрительных свойств, увеличение органической массы, возможность введения в состав компоста минеральных удобрений и извести, улучшение санитарно-эпидемиологических показателей, а также физических свойств, что облегчает внесение компостов в почву (Сидоренко, Черданцев, 2001; Козлов и др., 2008). При компостировании осадка Юж. Бутово, значение рН снижается до 8,5 ед., происходит частичная минерализация органического вещества, его содержание в компосте составляет  $\approx 36\%$ , количество азота в компосте Юж. Бутово составляет 2,2%. Поскольку все наполнители обладают высокой адсорбционной способностью, снижается влажность ОСВ, улучшаются их физические свойства, что облегчает внесение компоста в почву.

Осадок Юж. Бутово содержит 150-180 г/кг кальция в валовой и, в том числе, 45-85г/кг в подвижной форме, что в среднем 3 раза больше, чем в осадке КСА (табл. 11). 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).

Содержание кальция в осадках не нормируется. Определения показывают, что его содержание в осадках варьирует в широких пределах. Более высокое содержание кальция в ОСВ связано не только с техногенной обстановкой, но и с наличием этого элемента в почвах и включением его в биологический круговорот (Гостищев, 2001). В нашем случае, высокое содержание кальция, несомненно, связано с обработкой осадка молотой негашеной известью. Наличие соединений Са и Mg различной подвижности обеспечивает

**Таблица 11.** Содержание макроэлементов и стронция в осадках сточных вод и компосте Юж. Бутово в г/кг.

Элемент	Валовое содержание			Кислоторастворимые формы 1н HNO <sub>3</sub>			Подвижные формы ацетатно-аммонийный буфер		
	Осадок		Компост	Осадок		Компост	Осадок		Компост
	I	II		I	II		I	II	
Ca	150±7	180±8	200±9	-*	-	-	45±1,3	85±2,5	42±1,2
Mg	5,9±0,2	5,6±0,2	9,6±0,3	4,7±0,2	5,6±0,2	7,4±0,3	0,6±0,03	0,8±0,03	29±1,2
Al	4,3±0,2	2,5±0,1	4,3±0,2	0,8±0,04	0,8±0,03	1,8±0,08	н.п.о**	0,02±0,001	0,01±0,001
Fe	35±1,7	22±1,1	46±2,0	0,02±0,001	0,02±0,001	26,4±1,3	н.п.о	0,01±0,01	0,10±0,003
Sr	0,16±0,07	0,19±0,008	0,20±0,01	0,14±0,007	0,17±0,008	0,20±0,01	0,03±0,001	0,07±0,003	0,04±0,002

\*-не определялось

\*\*н.п.о. –ниже предела обнаружения

надежный мелиоративный эффект на супесчаных и суглинистых дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности (Кутукова, 2001).

Содержание алюминия в осадке Юж. Бутово составляет 2,5-4,3г/кг, что в среднем в 14 раз ниже, чем в осадке КСА (табл. 11,17). Низкое содержание алюминия является позитивным фактором, особенно, при внесении их на кислых, слабоокультуренных почвах, в условиях слабокислой и нейтральной почвенной среды алюминий практически безвреден (Авдонин, 1972). Содержание валовых форм железа в осадке - 35 г/кг, однако, подвижных форм, извлекаемых ацетатно-аммонийным буфером, не обнаружено, присутствуют только кислоторастворимые формы (рис.10). Содержание валовых форм стабильного стронция в осадках Юж. Бутово по годам исследований не превышало 0,19 г/кг. Кислоторастворимые формы стронция составляют >90%, содержание подвижных форм - низкое  $\leq 0,1$  г/кг. При компостировании увеличивается валовое содержание всех макроэлементов, что связано с наличием их в составе наполнителя - древесной щепы. Важно отметить, что содержание стронция в компосте не меняется.

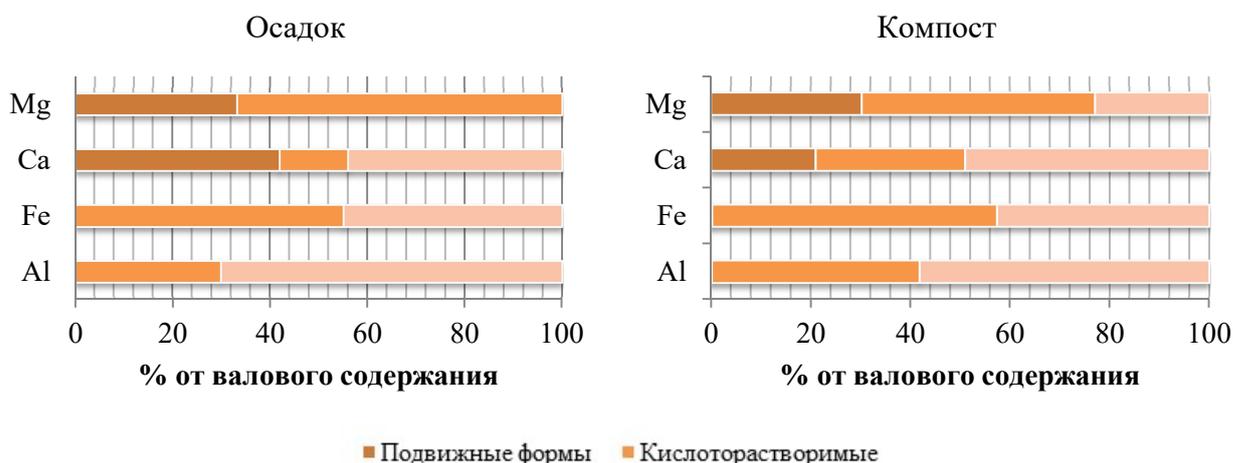


Рис.10 Распределение форм макроэлементов в ОСВ и компостах Юж. Бутово

Валовое содержание тяжелых металлов и мышьяка удовлетворяет установленным нормативам для осадков I группы за весь период исследования, что позволяет использовать данный осадок под все основные виды сель-

скохозяйственных культур (Типовой технологический регламент...,2000) (рис.11). В основном тяжелые металлы в осадке сточных вод представлены кислоторастворимыми формами. Так, цинк в осадке Юж. Бутово на 80% находится 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.12). Осадок сточных вод Юж. Бутово характеризуется низким содержанием как валовых, так и кислоторастворимых форм кадмия, содержание его подвижных форм ниже предела обнаружения, это, несомненно, крайне важно, поскольку кадмий является одним из самых опасных загрязнителей. Содержание никеля в осадке в пять раз ниже установленных ПДК, при этом на долю подвижных форм приходится  $\approx 24\%$  от валового содержания, в основном соединения никеля присутствуют в кислоторастворимой форме. Валовые формы свинца в осадке составляет 0,03ПДК, подвижные соединения свинца в осадке ниже предела обнаружения, а на долю кислоторастворимых форм приходится 60% от валового содержания. Содержание валовых форм мышьяка в осадке составляет 0,3 ПДК для более чистых осадков I группы, 40% этого количества представлено кислоторастворимыми формами. Концентрация мышьяка в подвижной форме в осадках находится ниже предела обнаружения.

Содержание марганца в осадке Юж. Бутово высокое, при этом подвижных форм марганца - 9% от валового содержания. Марганец доступен для растений в кислой среде, а в щелочной среде сохраняет растворимость марганца его способность образовывать анионные комплексы и комплексы с органическими лигандами (McKenzie, 1980). 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

**Таблица 12.** Содержание тяжелых металлов и мышьяка в осадках сточных вод и компостах Юж. Бутово в мг/кг

Элемент	Валовое содержание				Кислоторастворимые формы 1н HNO <sub>3</sub>			Подвижные формы ацетатно-аммонийный буфер			ПДК*	
	Осадок			Компост	Осадок		Компост	Осадок		Компост	I	II
	I	II	III		I	II		I	II			
Cd	0,6±0,03	0,91±0,04	14±0,5	0,66-0,9	0,35±0,01	10±0,2	0,7±0,02	н.п.о.**	0,13±0,006	0,1±0,005	15	30
Ni	44±1,8	50±2,1	25±1,2	32-36	33±1,2	17±0,7	35±1,2	9,8±0,3	8,7±0,3	5±0,25	200	400
Pb	8,9±0,3	14±0,4	6,4±0,2	7,9-12	5,4±0,2	2±0,1	9,6±0,3	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	250	500
Cr	310±12,1	140±6,2	42±1,8	240-320	180±8,2	27±1,1	250±11	0,4±0,02	1,7±0,07	1,5±0,06	500	1000
Cu	150±7,1	160±7,8	150±6,8	140-150	110±4,8	66±2,1	110±4,8	53±2,2	61±2,8	9,9±0,3	750	1500
Zn	610±28,9	690±32,1	510±24	690-720	490±24,1	400±18,9	730±32,1	28±1,1	44±1,9	15±0,3	1750	3500
Mn	320±14,1	400±18,1	410±18	231-380	240±11,7	330±12,2	280±12,1	4,4±0,2	8,5±0,3	21±0,9	-	-
As	3,5±0,1	4,7±0,2	5,4±0,1	2,2±0,1	1,4±0,04	3±0,1	2,1±0,1	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	10	20

\* ГОСТ 17.4.3.07-2001 (для валового содержания)

\*\* н.п.о. – ниже предела обнаружения

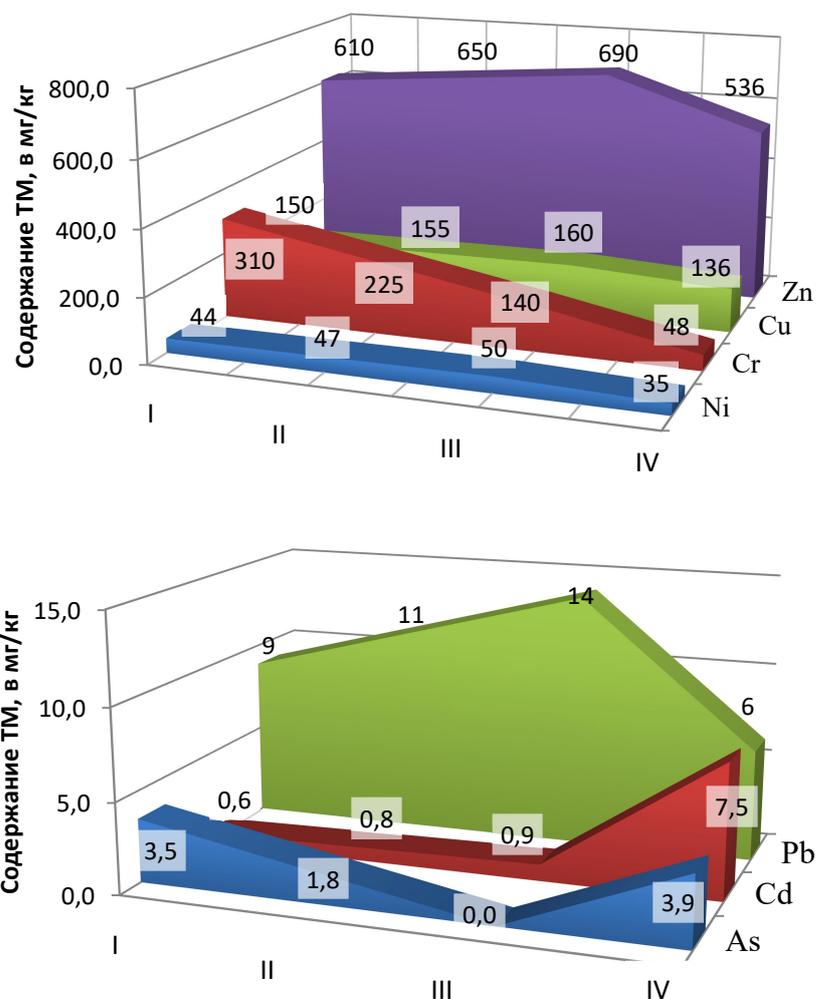


Рис. 11 - Динамика валового содержания тяжелых металлов и мышьяка в ОСВ Юж. Бутово, мг/кг

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; Большеева, Лопатина, 2011).

Осадки сточных вод, согласно расчетам индексов опасности по тяжелым металлам, на основе которых определяется класс опасности, в основном в настоящее время относятся к 4 классу, т.е. к малоопасным отходам.

В компосте на основе ОСВ Юж. Бутово содержание тяжелых металлов в среднем ниже, чем в соответствующем осадке. Однако, стоит отметить, что

при компостировании содержание кадмия и цинка в компосте возросло. Мы предполагаем, что увеличение содержания этих элементов произошло вследствие попадания этих элементов с щепой лиственных пород деревьев, произрастающих на территории города Москвы, применявшейся в ходе процесса компостирования. Важно отметить, содержание подвижных форм тяжелых металлов при компостировании снижалось за счет «эффекта разбавления».

В целом содержание тяжелых металлов и микроэлементов в компосте на основе осадка района Юж. Бутово оказалось значительно ниже, чем установленные ПДК для I и II группы осадков, поэтому компост может использоваться в качестве нетрадиционного органического удобрения в условиях агроценоза.

Анализ результатов *санитарно-эпидемиологической экспертизы* показал, что осадок и компост Юж. Бутово 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, Усмонов, 1993; Кофман, 2013) (табл. 13).

В современных условиях важно проводить анализ ОСВ на содержание таких органических загрязнителей как полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), С1-пестициды и полихлорбифенилов (ПХБ). ПАУ обладают высокой мобильностью, способностью к рассеиванию в биосфере и имеют как природное, так и техногенное происхождение. Накопление ПАУ в почвах связано с процессами трансформации органических веществ и их переносом от техногенных источников. Актуальность исследований ПАУ в почвах обусловлена повышенной опасностью и масштабностью загрязнения почвенного покрова этими соединениями (Агапкина и др., 2007; Лодыгин и др., 2008). ПАУ включены в список приоритетных загрязнителей как Европейским сообществом, так и Агентством по охране окружающей среды США.

**Таблица 13.** Санитарно-эпидемиологическая характеристика осадка и компоста Юж. Бутово

Показатели	Осадок	Компост	ГОСТ 17.4.3.07-2001	
			I	II
<i>Бактериологические показатели, клеток/г осадка</i>				
БГКП*	38	отс	100	1000
Колиформы термотолерантные	5	отс	-	
Стрептококки фекальные	<8	отс	-	
Сальмонеллы	отс.	отс	Отсутствие	
<i>Гельминтологические показатели, экз/г осадка</i>				
Яйца гельминтов жизнеспособные	отс.	отс.	Отсутствие	
<i>Вирусологические показатели, наличие/г осадка</i>				
Цитопатогенные энтеровирусы	не выделены	не выделены	-	

\*БГКП-бактерии группы кишечной палочки.

В России нормирование содержания канцерогенных ПАУ в природных объектах осуществляют по бенз(а)пирену, его предельно допустимая концентрация (ПДК) в почве составляет 20 мкг/кг (ГН 2.1.7.2041-06). В табл. 14 показано содержание 11 основных, присутствующих в почве г. Москвы ПАУ: 6 легких (3-4 ядерных) и 5 тяжелых (5-6 ядерных). Из литературных источников известно, что легкие полициклические ароматические углеводороды могут иметь биогенное происхождение, тогда как тяжелые – индикаторы техногенного загрязнения (Андрюков и др., 1982; Завгородняя, Бочаров, 2012; Геннадиев и др., 2015).

**Таблица 14.** Содержание полициклических ароматических углеводородов в осадках Юж. Бутово, в мкг/кг осадка.

№	Соединение	Содержание, мкг/кг	№	Соединение	Содержание, мкг/кг
<i>Легкие ПАУ</i>			<i>Тяжелые ПАУ</i>		
1	Фенантрен	13,6±0,2	7	Бензо(b)флуорантен	4,6±0,09
2	Антрацен	6,9±0,1	8	Бензо(k)флуорантен	нет
3	Флуорантен	нет	9	Бензо(a)пирен*	1,4±0,02
4	Пирен	нет	10	Дибенз(ah)антрацен	нет
5	Бензо(a)антрацен	6,8±0,1	11	Бензо(ghi)перилен	нет
6	Хризен	3,4±0,05	Суммарное загрязнение		36,7±0,6

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

Бенз(a)пирен является доминирующим загрязнителем атмосферного воздуха в крупных городах, о чем свидетельствуют данные Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации». Из 43 городов, в которых наблюдались превышения ПДК в воздухе, в 23 – превышения были именно по содержанию бенз(a)пирена.

Анализ осадка на органические загрязнители (полициклические ароматические углеводороды, СI-пестициды) показал, что содержание ПАУ в осадках Юж. Бутово находятся в пределах установленных нормативов.

Пестициды — химические средства, используемые для борьбы с вредителями и болезнями растений, сорняками, вредителями зерна и зернопродуктов, древесины, изделий из хлопка, шерсти, кожи, с эктопаразитами домашних животных, а также с переносчиками опасных заболеваний человека и животных. Дихлордифенилтрихлорэтан является одним из самых распространенных пестицидов современности, другое его название ДДТ. Этот

пестицид является крайне ядовитым и токсичным веществом со свойством накапливаться в организме животных, растений и человека (Лунев, 1992).

Пестицидное отравление губительно действует на многих плотоядных, особенно птиц. Например, сокол сапсан полностью исчез на востоке США в результате применения там ДДТ. Птицы особенно чувствительны к этому ядохимикату, поскольку он индуцирует гормональные изменения, влияющие на метаболизм кальция, а это приводит к истончению скорлупы откладываемых яиц, которые в большом количестве начинают биться даже при простом насиживании (Таланов, 1977; Khan, 1980). В недавних исследованиях было выявлено, что в организмах городских жителей старше 20 лет присутствует очень высокая концентрация ДДТ, что сильно подрывает их здоровье и иммунитет. Общее количество пестицидов, применённое в настоящее время на земле, насчитывает более 3 миллионов тонн, причём более 60% из них гербициды. За время интенсивного использования ДДТ, период полураспада которого около 20-ти лет, в биосферу поступило несколько млн. т. этого препарата. В биосфере пестициды, вовлекаются в различные физико-химические процессы. Они переносятся внутри различных составляющих биосферы (почва, водные системы, атмосфера) и из одной подсистемы в другую. В почве пестициды, в основном, локализуются в слое 0-30 см, а в водоемы поступают, главным образом, в результате смыва атмосферными осадками с поверхности суши. В атмосферу пестициды попадают в результате испарения и ветровой эрозии из почвы и водоемов и распространяются на более обширные территории, порождая региональное и глобальное загрязнение биосферы. Так, концентрации ДДТ в дождевой воде имеют один порядок величин в сельскохозяйственных и несельскохозяйственных районах. Согласно полученным данным, большинство проб осадка Юж. Бутово абсолютно чисты по содержанию С1-пестицидов и ПХБ, в осадке КСА содержатся производные ДДТ в небольших дозах, не превышающих ПДК для почвы (Телитченко, Остроумов, 1990, Федоров, Яблоков, 1999; Серова, 2012) (табл. 15).

**Таблица 15. Содержание Сl-пестицидов и полихлоробифенилов в объектах опыта, мг/кг**

Объект исследования	ДДД	ДДЕ	ДДТ	ПХБ-47
ОСВ Юж. Бутово	0-0,018	0-0,01	н.п.о.**	н.п.о.
ОСВ КСА	0,001-0,038	0,008-0,047	н.п.о.	н.п.о.
ПДК	0,1 суммарно*			не норм.

\* ГН 1.2.3111-13

\*\*нпо – ниже предела обнаружения

Определение токсических органических веществ в компосте Юж. Бутово, показало, что они содержатся в минимальных количествах и не могут оказать заметного влияния на экологическую ситуацию в почве. Этот эффект объясняется высокой чистотой осадка по отношению к токсикантам, и предполагаемым отсутствием их в наполнителе, каким является древесная щепа.

**Осадок сточных вод Курьяновской станции аэрации** характеризовался высоким содержанием органического вещества  $\approx 53\%$ . Содержание азота и фосфора превышало норматив для осадка, который используется на удобрение  $\approx$  в 5 раз и составляло 3,4% и 6,3% соответственно. Содержание калия не превышало 0,4 %, что свойственно для данного вида удобрения. В практике использования ОСВ недостаток калия компенсируется минеральными (калийными) удобрениями (Хомяков, 1991; Чеботарев, 1999; Стратегия использования...2002). Осадок КСА, в отличие от Юж. Бутово безреактивный, поэтому имел близкое к нейтральному значению  $pH=7,2$  (табл. 16).

Компостирование осадка КСА проводили в термофильном режиме. В качестве наполнителя использовали щепу лиственных пород (см. раздел объекты и методы). После завершения процесса компостирования агрохимические свойства полученного компоста были близки к осадку. Наблюдалась частичная потеря азота в пределах 28% в результате денитрификации.

**Таблица 16.** *Агрохимические свойства компоста на основе осадков сточных вод КСА*

Показатель	Содержание		ПДК (ГОСТ Р 17.4.3.07-2001)
	осадок	компост	
Влажность, %	72±3	74±3	Не нормируется
pH <sub>H2O</sub> , ед. рН	7,2±0,3	6,7±0,2	5.5-8.5
<i>Содержание в сухом веществе, %</i>			
Органическое вещество	53±2,5	46±2,0	≥20
Общий азот (N <sub>общ</sub> )	3,4±0,2	2,5±0,1	≥0,6
Аммонийный азот (N <sub>амм</sub> )	0,073±0,003	н.п.о.*	Не нормируется
Общий фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	6,3±0,3	6,5±0,3	≥1,5
Общий калий (K <sub>2</sub> O)	0,4±0,02	0,4±0,02	Не нормируется

\*н.п.о.- ниже предела определения

*Осадок* содержит большое количество кальция, основная часть которого представлена подвижными формами. Установлено, что подвижные формы алюминия и железа в осадке находятся ниже предела обнаружения, кислото-растворимые формы алюминия составляют 95% от валового содержания, железа – 48% от валового содержания. Алюминий становится недоступным в условиях высоких значений рН и большого количества органического вещества. Обнаружено достаточно высокое содержание в осадке КСА стронция, он присутствует как в виде валовых форм, так и в подвижной форме. Содержание подвижных форм стронция составляет 14 % от валового содержания (табл.17). По существующим нормативам содержание макроэлементов и нерадиоактивного стронция в осадке сточных вод не нормируется. В *компосте*

КСА также отсутствуют подвижные формы железа и алюминия, однако, их валовое содержание достаточно высокое. Компост содержит большое количество подвижных форм кальция и магния; отличается высоким содержанием стронция, на долю его подвижных форм приходится 17%, а основная часть стронция содержится в виде кислоторастворимых форм. При компостировании макроэлементный состав мало изменяется. Можно отметить только снижение содержания валовых и кислоторастворимых форм алюминия.

**Таблица 17.** *Содержание макроэлементов и стронция в осадках сточных вод КСА, в г/кг сухого вещества*

Элемент	Валовое содержание		Кислоторастворимые формы 1н HNO <sub>3</sub>		Подвижные формы ацетатно-аммонийный буфер	
	осадок	компост	осадок	компост	осадок	компост
Ca	43±2	37±1,8	-*	-	20±0,9	27±1,2
Mg	17±0,8	18±0,9	41±2	31±1,2	2,4±0,1	2±0,09
Al	54±2,3	52±2,2	8,2±0,3	9,2±0,4	н.п.о.**	н.п.о.
Fe	7,2±0,3	6,2±0,3	5,2±0,2	4±0,1	н.п.о.	н.п.о.
Sr	0,57±0,02	0,6±0,02	0,56±0,02	0,5±0,02	0,084±0,004	0,1±0,005

\*не определяли \*\* н.п.о. – ниже предела обнаружения

Важно отметить, что стронций, который присутствует в осадках сточных вод и компосте является нерадиоактивным, что подтверждается данными НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина. Так, содержание гигиенически значимых неорганических веществ в осадках сточных вод Курьяновской станции аэрации за последние 10 лет снизилось в 5-10 раз и было ниже ПДК. Удельная активность природных радионуклидов

не превышала за многолетний период 25 Бк/кг осадка, что значительно ниже значений, установленных СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» для минеральных удобрений и агрохимикатов –  $1 \cdot 10^3$  Бк/кг (Ушаков, 2009).

По содержанию валовых форм тяжелых металлов и мышьяка компост удовлетворяет требованиям для осадков I группы, которые можно использовать под основные сельскохозяйственные культуры, соответственно подходит и для применения в городском озеленении (табл. 18). В свою очередь, осадок КСА соответствует требованиям только для осадков II группы из-за мышьяка, количество которого в осадке составляет 14 мг/кг, при норме для I группы – 10 мг/кг. Содержание валовых форм As в компосте соответствует предельно допустимому значению для I группы, и не превышает показателей ПДК. В осадке и компосте количество валовых форм цинка  $\approx 0,6$  ПДК; самое низкое содержание наблюдается для никеля и свинца, и составляет  $\approx 0,2$  ПДК.

Осадок и компост отличаются низким содержанием подвижных форм всех ТМ; количество подвижных форм свинца, хрома и мышьяка ниже пределов обнаружения. При этом основная доля ТМ и мышьяка представлена их кислоторастворимыми формами. Так, все соединения цинка представлены кислоторастворимыми формами и только 1,7 % его является подвижным. Цинк является важным биоэлементом в жизни растений, животных и человека, регулирует работу основных дыхательных ферментов. В связи с этим, использование компоста возможно потребует дополнительного внесения цинковых удобрений.

По сравнению с компостом КСА, осадок Юж. Бутово имеет более низкое содержание тяжелых металлов, это связано с тем, что значительное количество стоков на Курьяновской станции аэрации носят промышленный характер, в то время как на Юж. Бутово - коммунально-бытовой (рис. 12).

**Таблица 18.** Содержание тяжелых металлов и мышьяка в осадках и компостах КСА, в мг/кг сухого вещ-ва

Элемент	Валовое содержание		Кислоторастворимые формы 1н HNO <sub>3</sub>		Подвижные формы ацетатно-аммонийный буфер		ПДК ГОСТ Р 17.4.3.07- 2001	
	осадок	компост	осадок	компост	осадок	компост	I	II
Cd	6±0,3	5,3±0,2	4,6±0,2	5,4±0,7	0,3±0,01	0,7±0,02	15	30
Ni	40±1,8	45±2,1	30±1,2	33±0,01	2,3±0,1	1,8±0,08	200	400
Pb	61±2,8	69±3,2	30±1,1	40±1,8	н.п.о.**	н.п.о.	250	500
Cr	160±8,0	220±10,1	110±4,9	150±7,1	н.п.о.	н.п.о.	500	1000
Cu	280±13,5	280±12,2	150±7,1	210±9,8	3,3±0,1	4,8±0,2	750	1500
Zn	970±47,2	1100±51,7	910±41,9	1100±52,1	13±0,5	19±0,8	1750	3500
Mn	1900±90,1	1100±50,1	1800±78,9	1000±49,9	170±7,2	8,5±0,3	-	-
As	14±0,6	10±0,4	10±0,4	7,8±0,2	н.п.о.	н.п.о.	10	20

\*ПДК для валового содержания ТМ

\*\* н.п.о. – ниже предела обнаружения

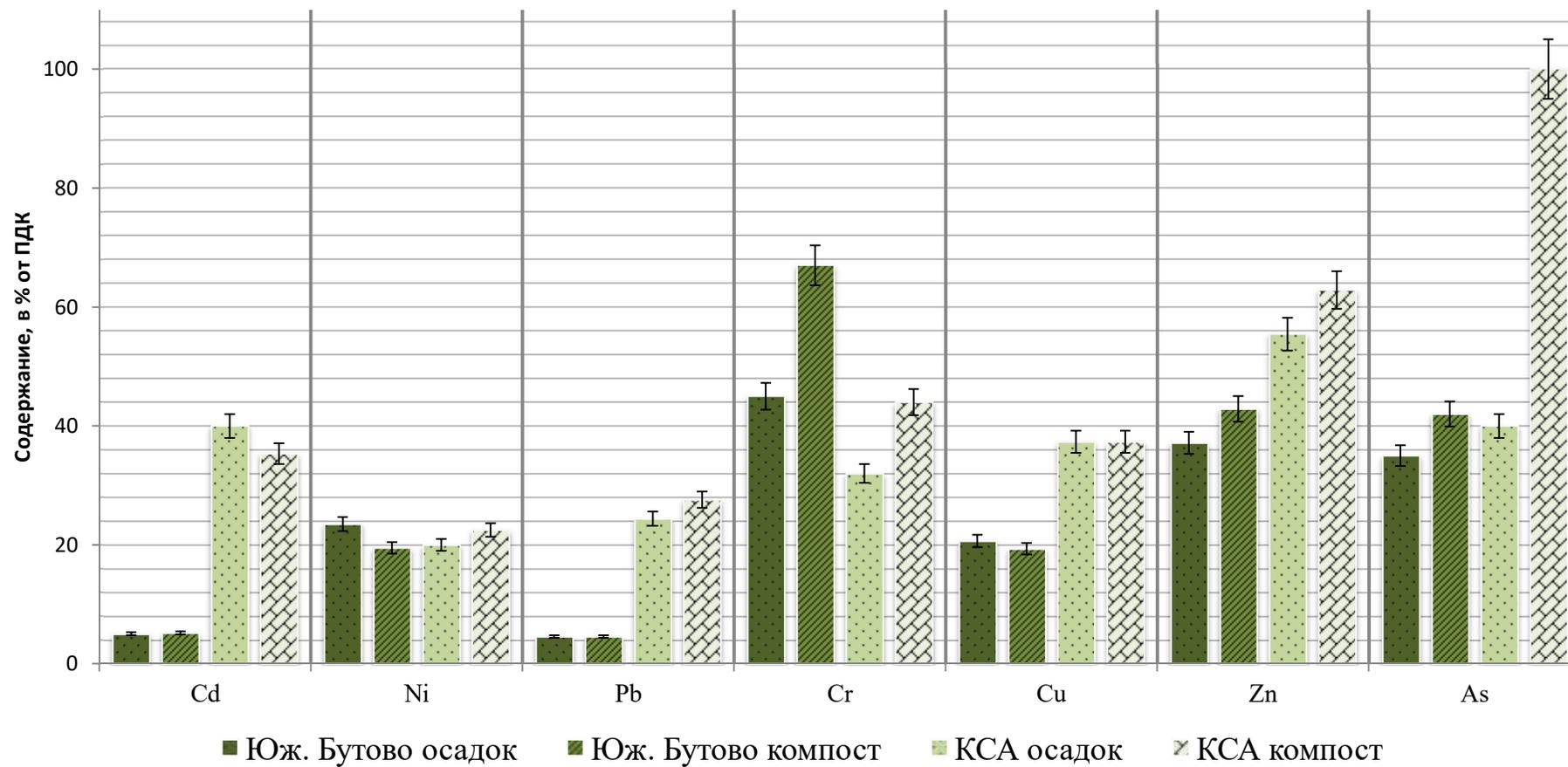


Рис. 12. - Валовое содержание тяжелых металлов в осадках и компостах очистных сооружений Юж. Бутово и КСА (в % от ПДК ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 для I группы).

Специалистами МГУП «Мосводоканал» выявлено, что качество осадка КСА по содержанию в них ТМ и As неравномерно в течение года. Существует 2 выборки качества осадков-летняя и зимняя. Границей между выборками служат середина апреля и октября. Летом осадки характеризуются большим содержанием металлов - разница между летним и зимним осадком в валовом содержании составляет 1,5-2 раза. Кроме того, были определены металлы, поступление которых на очистные сооружения обусловлено хозяйственно-бытовыми стоками: медь, алюминий, цинк, свинец. Бытовой сектор обеспечивает не менее 60-80% их поступления. Таким образом выделена часть ТМ в ОСВ, которая не может быть снижена при существующем «фоновом» загрязнении поступающих от города вод. (Щеголькова и др., 2008)

При исследовании санитарно-эпидемиологических показателей осадка КСА установлено, что содержание бактерий группы кишечной палочки превышает нормативные показатели в 550 раз, кроме того осадок обильно загрязнен фекальными стрептококками и в большом количестве, 29 тыс. клеток/г осадка, обнаружены колиформы термотолерантные, кроме того выделены сальмонеллы: *Salmonella typhimurium*, *S. agona*, *S. saint-paul*, которые по современным требованиям должны отсутствовать. Патогенный микроорганизмы *Salmonella* вызывает болезнь сальмонеллез. При этом *S. typhimurium*, характеризуется резистентностью к большинству антибиотиков, обладает повышенной термостойкостью, длительно сохраняется в окружающей среде: в воде— до 120 дней, в мясе и колбасных изделиях— от 2 до 4мес., в сырах— до 1 года, в яичном порошке — от 3 до 9 мес., в почве— до 18 мес (Новиков, Дударев, 1978; Возная, 1979; Пахненко, 2013). Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что ОСВ Курьяновской станции аэрации не соответствуют санитарно-эпидемиологическим требованиям и не могут применяться в качестве удобрения без их дополнительного обеззараживания.

*В результате принудительного термофильного компостирования санитарно-эпидемиологические показатели компоста пришли в норму, что*

позволяет использовать компост в вегетационном опыте и рекомендовать такой прием для применения в озеленении города (табл. 19).

**Таблица 19.** Санитарно-эпидемиологические показатели компоста на основе осадка КСА

Показатели	Осадок	Компост	ГОСТ 17.4.3.07-2001	
			I	II
<b>Бактериологические показатели, клеток/г осадка</b>				
БГКП <sup>1)</sup> , клеток/г осадка	550000	46	100	1000
Колиформы термотолерантные, клеток/г осадка	29000	4,3	-	
Стрептококки фекальные, клеток/г осадка	44000	<8	-	
Сальмонеллы, наличие/г осадка	Обнаружены <sup>2)</sup>	Отсутствуют	Отсутствие	
<b>Гельминтологические показатели, шт/г осадка</b>				
Яйца гельминтов жизнеспособные, экз/г осадка	Отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствие	
<b>Вирусологические показатели, экз/г осадка</b>				
Цитопатогенные энтеровирусы, наличие/г осадка	Отсутствуют	Отсутствуют	-	

Примечание : <sup>1)</sup> БГКП – бактерии группы кишечной палочки

<sup>2)</sup> Обнаружены *S.typhimurium*, *S.agona*, *S.saint-paul*

Из литературных источников известно и подтверждено экспериментально, что компостирование осадка в контролируемых термофильных условиях приводит, к его устойчивому обеззараживанию (Кутьева, 2002; Яковлев, Воронов, 2004; Касатиков, Шабардина, 2008; Маркин, 2011), поэтому мы считали целесообразным вегетационном опыте использовать компост, а не нативный осадок КСА.

Анализ осадка и компоста на содержание ПАУ и С1-пестицидов и полихлорбифенилов показал, что в отдельных партиях осадка возможны превышения концентраций бенз(а)пирена, по остальным веществам превышений обнаружено не было. В осадках и компостах Курьяновской станции аэрации содержание производных ДДТ было чуть выше по сравнению с осадками и компостами Юж. Бутово (табл.15).

Таким образом, установлено, что осадки сточных вод очистных сооружений Юж.Бутово -термофильно сброженные, реагентные, имеют  $pH_{H_2O} = 8,8-11,9$  и высокие удобрительные свойства. Оценка элементного состава осадков показала, что содержание валовых форм тяжелых металлов было ниже ПДК (ГОСТ Р 17.4.3.07-2001), это позволяет использовать данный осадок практически под все виды сельскохозяйственной культур. Количество подвижных форм алюминия, железа, кадмия, свинца и мышьяка в осадках ниже предела обнаружения. За период исследования содержание ТМ в осадках и их подвижность отличались высокой стабильностью. Сравнительный анализ осадков Юж. Бутово и КСА 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. Однако, суммарное содержание ТМ в осадке Юж. Бутово было на  $\approx 40\%$  меньше. 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. Установлено, что содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в реагентных осадках Юж. Бутово бы-

ло значительно ниже существующих нормативов. В компостах ПАУ не обнаружены, т.к. прочно сорбируются при введении в них наполнителей: опилок, древесной щепы и т.д. Сl-пестициды в осадках Юж. Бутово отсутствовали.

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

Из литературных источников известно, что почвы городов отличаются от зональных более высоким значением рН, высоким содержанием кальция, магния, азота, фосфора и калия, присутствием серы и хлора в поверхностном горизонте (Прокофьева, Строганова, 2003) (табл. 20).

**Таблица 20.** Сравнительная характеристика свойств поверхностных горизонтов урбаноземов г.Москвы и дерново-подзолистых почв Подмосковья (Строганова, Агаркова, 1992)

Показатель	Урбанозем КСА	Агроурбанозем КСА	Урбанозем (по лит. данным)	Дерново- подзолистые почвы
С орг.,%	2-5	3-7	2-7	2-4
рН <sub>вод</sub>	7,3±0,2	7,6±0,3	6,5-9,0	4,5-6,5
<i>Содержание в мг-экв/100г почвы</i>				
Ca <sup>2</sup>	50±2,1	58±2,2	5-100	5-10
Mg <sup>2+</sup>	13±0,5	15±0,6	До 30	2-3
<i>Содержание в мг/100г почвы</i>				
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	27±1,2	28±1,2	5-150	5-10
K <sub>2</sub> O	3±0,1	2,8±0,1	2-60	7-15
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-	-	До 220	Нет
Cl <sup>-</sup>	-	-	До 40	Нет
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	12±0,3	12±0,2	12-15	Нет

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 (Герасимова и др., 2003). Агрохимические свойства почв были типичны для почв данного региона. Содержание валовых форм алюминия и железа достаточно высокое – 7-10 г/кг и 10-14г/кг соответственно, кислоторастворимых форм - не более 19%, а подвижные формы Fe и Al составляли < 1%. Почвы содержали большое количество валовых форм кальция - 10-21 г/кг и магния - 1,6-1,7 г/кг, около 50% соединений кальция были подвижными (табл.21).

**Таблица 21.** *Содержание макроэлементов и стронция в почвах КСА, в г/кг*

Элемент	Валовое содержание	Кислоторастворимые формы 1н HNO <sub>3</sub>	Подвижные формы ацетатно-аммонийный буфер
Ca	10-21±0,4	-	4,6±0,2
Mg	1,6-1,7±0,07	0,4±0,01	0,25±0,01
Al	7-10±0,2	1,24±0,05	0,021±0,001
Fe	10-14±0,4	2,63±0,1	0,1±0,005
Sr	0,027±0,001	0,021±0,001	0,02±0,001

Содержание тяжелых металлов и мышьяка определялось в виде валовых, подвижных и кислоторастворимых форм (табл. 22). Установлено, что содержание ТМ в урбаноземе КСА не превышало ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве, нормируемых Гигиеническим нормативом ГН 2.1.7.2511-09 от 18.05.2009г. Максимальное

валовое содержание тяжелых металлов в урбаноземе наблюдалось для цинка = 98 - 152 мг/кг; Cd = 1,2 - 1,5 мг/кг; As = 6,6 мг/кг.

**Таблица 22.** Содержание тяжелых металлов и мышьяка в урбаноземе КСА, в мг/кг

Элемент	Валовое содержание	Кислоторастворимые формы 1н HNO <sub>3</sub>	Подвижные формы ацетатно-аммонийный буфер	ОДК*
Cd	1,2-1,5±0,06	0,72±0,02	0,45±0,02	2
Ni	15-17±0,7	4,8±0,2	0,8±0,04	80
Pb	23-25±1,1	13±0,5	1,4±0,06	130
Cr	51-55±1,8	15±0,7	0,6±0,02	н/н
Cu	36-38±1,6	19±0,8	2±0,1	132
Zn	98-152±4,3	47±2,1	23±1,1	220
Mn	300-420±14	155±7,2	16±0,7	н/н
As	1,2-6,6±0,04	1,8±0,08	н.п.о.**	10

\*ОДК- ориентировочно допустимые значения по ГН 2.1.7.2511-09

\*\*н.п.о. – ниже предела обнаружения

Сравнивая содержание ТМ и мышьяка в урбаноземе, взятом для эксперимента с почвами территории наиболее приближенной к месту отбора проб, Юго-Восточного административного округа г.Москвы (по данным Пляскиной, 2007), можно отметить, что количество загрязнителей в исследуемом урбаноземе соответствует среднестатистическим показателям для почв ЮВАО. Различия наблюдаются только по содержанию цинка: в среднем в

почвах Юго-Восточного округа цинка больше, чем в урбанизированной территории КСА (рис.13).

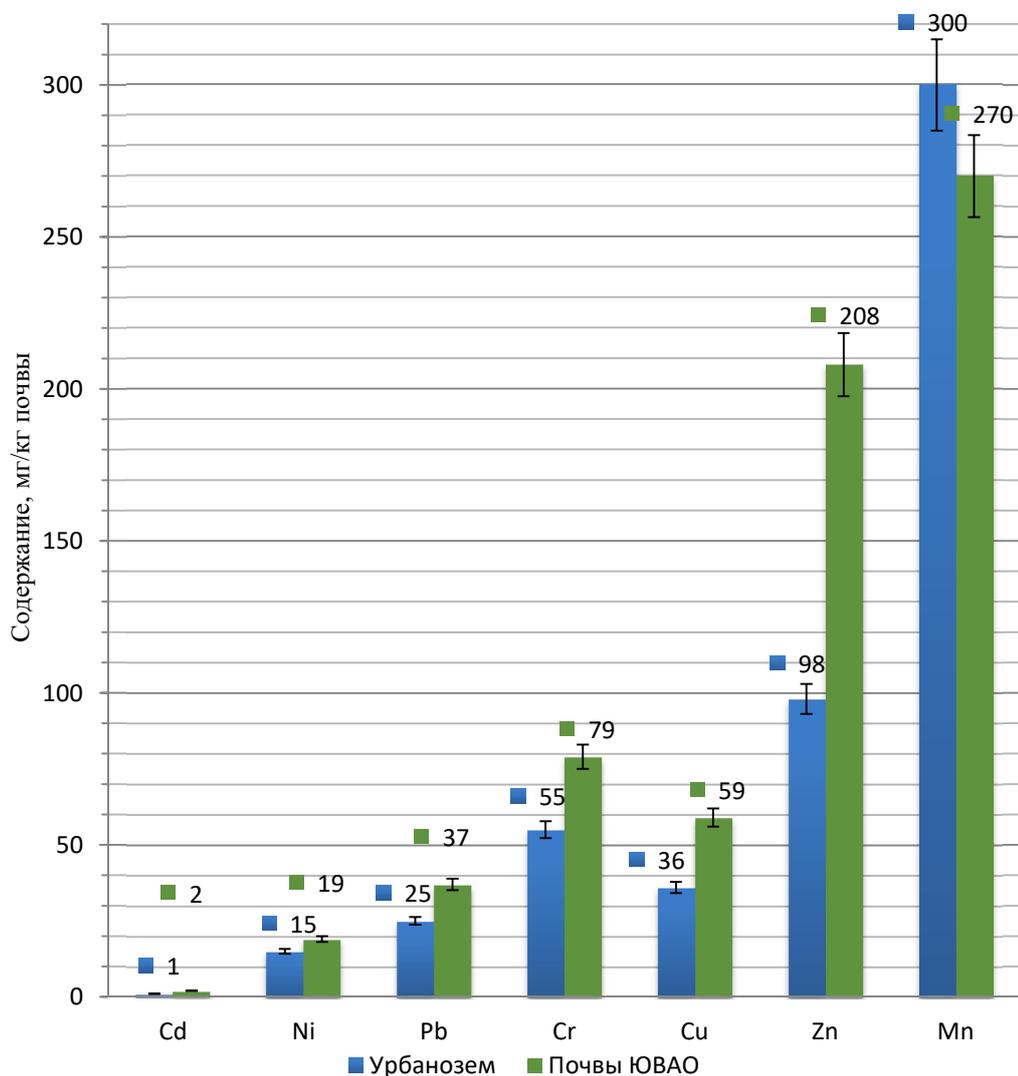


Рис. 13. - Содержание валовых форм ТМ и мышьяка (в мг/кг) в урбанизированной почве КСА и почвах ЮВАО, по данным Пляскиной, 2007

В условиях крупных городов важно учитывать загрязнение почв полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ). ПАУ составляют важнейшую группу экотоксикантов, обладают высокой токсичностью, значительной устойчивостью в окружающей среде и кумулятивным эффектом (Андрюков, 1982). Их отличительная особенность – канцерогенное и мутагенное воздействие на живые организмы. В городах существуют важ-

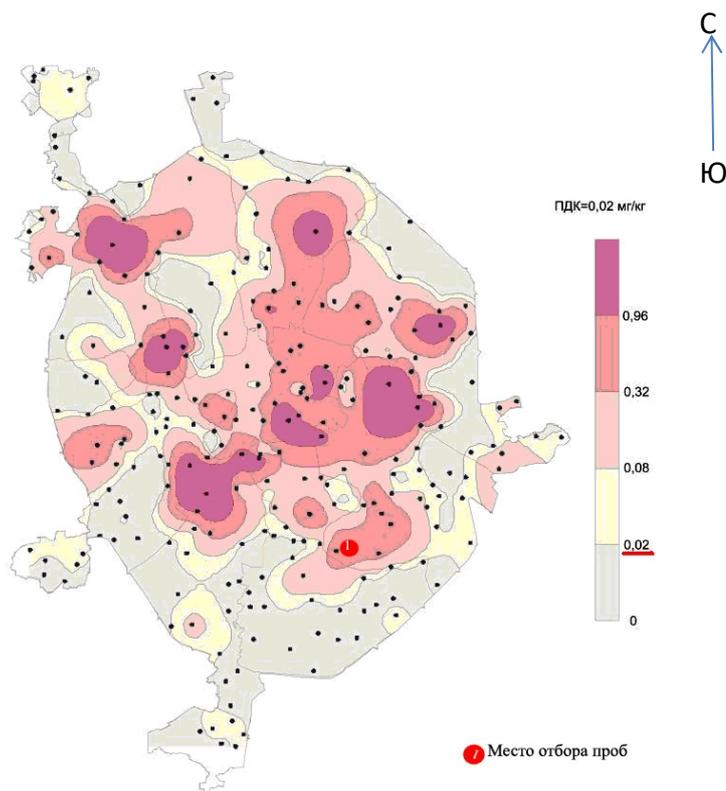
нейшие источники ПАУ – автотранспорт, ТЭЦ, промышленные предприятия, строительство, свалки бытовых и промышленных отходов и др. (Геннадиев, 2004; Vink, 1983). Соединения класса ПАУ обладают хорошей устойчивостью в природной среде. Они химически инертны, слабо подвержены действию кислот и окислителей (Клюев, 2000). По международным стандартам (европейским и американским) содержание ПАУ нормируется по 16 приоритетным ПАУ, кроме приведенного в табл. 23 перечня нормируются аценафтилен и индено[123-cd]пирен, кроме того, 7 из них считаются канцерогенными (Вредные химические..., 1990; Plachá et al., 2009). Российское законодательство в области здравоохранения и охраны окружающей среды предусматривает нормативы только на содержание бенз(а)пирена. (Контроль химических..., 1998; Майстренко,Клюев, 2004, Калугина, 2015).

В результате проведенных анализов обнаружено, что содержание бенз(а)пирена превышает установленные норматив=20 мкг/кг в 1,6 раз. Согласно санитарно-гигиеническому нормированию содержания химических веществ в компонентах экосистемы, для химических веществ первого класса опасности, каким является бенз(а)пирен, в зависимости от кратности превышения ПДК разработана классификация категорий загрязненности. Согласно этой классификации урбанозем, взятый для эксперимента, относится к почве с «допустимым» уровнем загрязнения (табл.23), т.к. содержание бенз(а)пирена не превышает 2ПДК, но больше 1ПДК (Прокофьева, 2003). Среднее содержание бен(а)пирена в почвах как по округам, так и по функциональным зонам г.Москвы превышает ПДК. Наибольшее содержание бенз(а)пирена выявлено в Центральном и Северо-Западном административных округах (АО), загрязнение бенз(а)пиреном также значительное в Восточном АО. В сравнении с предыдущими годами на 10% увеличилась доля точек с превышением ПДК (рис. 14).

**Таблица 23.** Содержание группы полициклических ароматических углеводородов в урбано­земе КСА, в мкг/кг

Соединение	Содержание в урбано­земе	Соединение	Содержание в урбано­земе
Антрацен	4,2±0,2	Дибенз(ah)антрацен	4,6±0,2
Аценафтен	<4	Нафталин	40±1,8
Бензо(а)антрацен	36,9±1,7	Пирен	63,4±3,1
Бензо(а)пирен*	33,9±1,4	Фенантрен	31,4±1,4
Бензо(б)флуорантен	46,4±2,3	Флуорантен	98,3±4,7
Бензо(gh)перилен	31,1±1,2	Флуорен	<4
Бензо(к)флуорантен	23,4±0,9	Хризен	42,1±1,7

\*ПДК для бензо(а)пирена = 20 мкг/кг



*Рис. 14. Карта-схема загрязнения почв г.Москвы бенз(а)пиреном (Отчет о состоянии..., 2014)*

Содержание Сl - пестицидов в урбаноземе находится в пределах установленных нормативов и не превышает ПДК для почвы: 0,1 мг/кг почвы суммарно (ГН 1.2.3111-13) (табл. 24). В почвах городов, в частности в почвах города Москвы, Сl-пестициды могли появиться по следующим причинам: застройка города на землях сельскохозяйственных угодий; обработка древесных насаждений пестицидами до 1993г.; использование в озеленении города почвогрунтов промышленных теплиц (Вредные химические..., 1990).

**Таблица 24.** *Содержание Сl-пестицидов в урбаноземе КСА, мг/кг почвы*

Соединение	Содержание	Соединение	Содержание
Альдрин	<0.005	ДДЕ	0.0054
Альфа и гамма – ГХ ЦГ	<0.01	ДДТ	0.039
ДДД	0.01	Гептахлор	<0.005
Итого:≈0,054			
ПДК (суммарно): 0,1			

Моренный суглинок строительных отвалов, использованный в вегетационном опыте с овсяницей красной, был взят из строительных котлованов также с территории КСА, он практически не содержал биогенных элементов, анализировался только на наличие тяжелых металлов. В моренном суглинке валовые формы Cd, Pb, Cr, Cu, As ниже предела обнаружения. Количество Ni, Zn и Mn не превышает 6,5мг/кг почвы или 0,2 ОДК (ГН 2.1.7.2511-09) (табл.25).

**Таблица 25.** Валовое содержание тяжелых металлов и мышьяка в почвах вегетационных и микрополевых опытов, мг/кг почвы

Почва	Cd	Ni	Pb	Cr	Cu	Zn	Mn	As
Моренный суглинок строительных отвалов (опыт №2)	-	2,6±0,1	-	-	-	4,8±0,2	6,5±0,3	-
ОДК (ГН 2.1.7.2511-09)	2,0	82	130	н/н	132	220	н/н	10

(-) – ниже предела обнаружения

н/н - не нормируется

В модельном опыте использовали три почвы: дерново-подзолистую среднеоккультуренную, дерново-подзолистую слабооккультуренную почвы (Московская область, Сергиево-Посадский р-н) и городскую почву (слабонарушенный урбанозем, г. Москва, Северо-Западный р-н) (табл. 26).

**Таблица 26.** Агрохимическая характеристика почв модельного опыта

Почва	pH <sub>KCl</sub>	Органическое вещ-во, %	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
			в мг/100г почвы			
Дерново-подзолистая слабо-оккультуренная, Московская обл. Сергиево-Посадский р-он.	6,8	2-4	11	2,5	26	12,8
Дерново-подзолистая среднеоккультуренная, Московская обл., Сергиево-Посадский р-он	6,3	3-4	33	7	8	15,9
Слабонарушенный урбанозем, г. Москва, Северо-Западный район	4,3	3-5	17	11	3,35	15,3
НСР <sub>0,05</sub>	0,01	0,1	0,5	0,1	0,12	0,5

### ***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 удобрений. Наиболее целесообразным в условиях мегаполиса - применение ОСВ в зеленом строительстве и рекультивации городских территорий, этот прием позволяет сократить расходы на утилизацию и, одновременно, восполняет недостаток органических удобрений на городских почвах (Касатиков, 1989; Дегтярева, Газизов, 2015; Weniger, Engels, 1996).

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 фитотоксичности и физиологической потребности растений в биоэлементах.

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.

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, что содержание в субстрате валовых форм кадмия, свинца, хрома, меди и мышьяка было ниже предела обнаружения, при этом содержание никеля, цинка и марганца не превышало 6,5 мг/кг почвы.

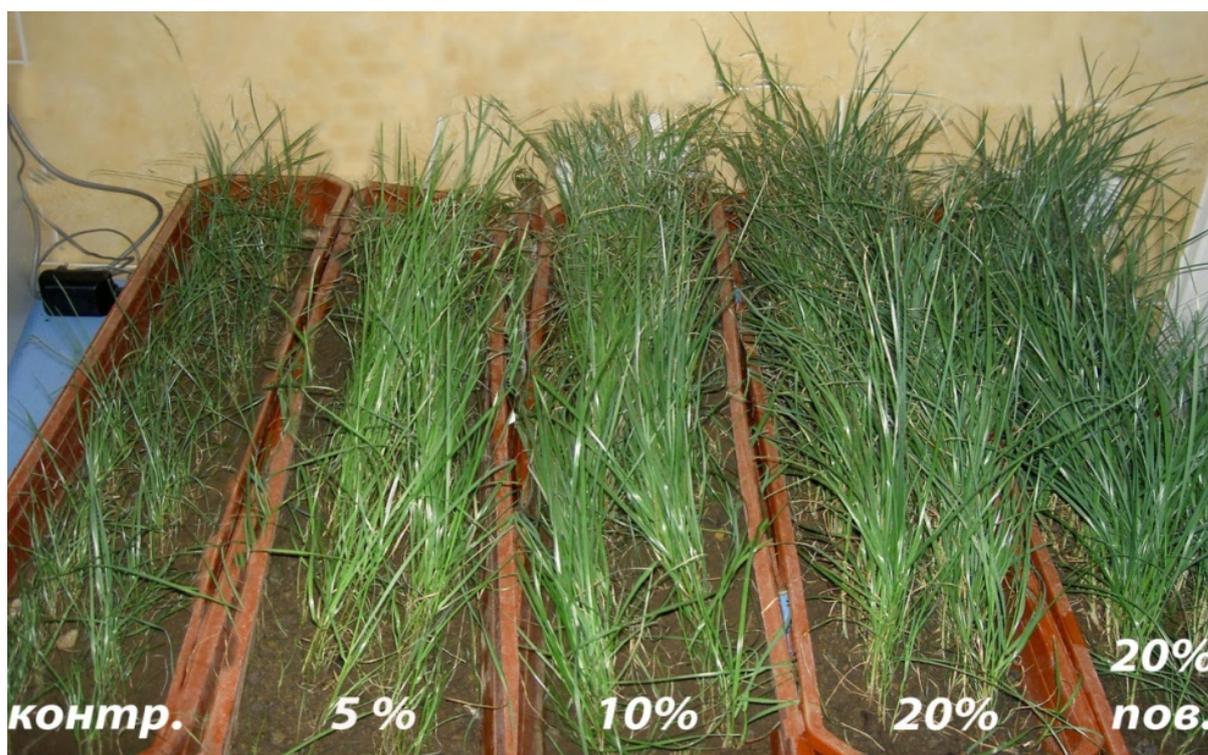
Фенологические наблюдения показали, что при нормальной густоте стояния растений высота травостоя по вариантам опыта в процессе вегетации изменялась от 30 до 40 см. При внесении осадка Юж. Бутово наблюдалось раннее цветение овсяницы (табл. 27).

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 рН, меньшей концентрацией щелочных катионов и биоэлементов, а также физиологическими особенностями овсяницы (Жеребцова, 2008).

**Таблица 27.** Влияние осадков и компостов Юж. Бутово и КСА на продуктивность овсяницы.

№	Вариант опыта	Биомасса, г сухой массы /сосуд	Средняя вы- сота, см	K <sub>кущ</sub>	Прибавка урожая	
					г/сосуд	%
<i>Овсяница красная (Festuca rubra); почва - моренный суглинок</i>						
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

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% вносили 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 (табл.28). Определение высоты и густоты стояния растений райграса 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 (рис.15).



*Рис. 15. Влияние доз и способов внесения компоста на основе осадка сточных вод Курьяновской станции аэрации на состояние райграса (на 75 день вегетации)*

**Таблица 28.** Влияние компоста КСА на продуктивность райграса.

№	Вариант опыта, до- за компоста КСА	Биомасса, г сух. массы /сосуд	Средняя высота, см	К <sub>кущ</sub>	Прибавка урожая	
					г/сосуд	%
<i>Райграс многолетний (Lolium perenne L.); почва - урбанозем</i>						
1	Контроль	34,5±1,48	3,15±0,13	1,5	-	-
2	5 %	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% поверхностно	188,7±8,07	13,57±0,64	7	154,2	447

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 райграса показали, что внесение компоста в соотношении 5:1 улучшает физические свойства почвы, предотвращая образование почвенной корки (рис. 16).



Рис. 16. - Изменение структуры почвы при внесении компоста КСА в соотношении 5:1

Влияние осадка Юж. Бутово и компоста КСА на продуктивность рапса ярового (*Brassica napus*) изучали в условиях микрополевого опыта на агро-урбаноземе.

Яровой рапс - ценная масличная и кормовая культура, источник зеленой массы на сидераты. Рапс играет особую фитосанитарную и средообразующую роль, является важнейшим фактором биологизации земледелия. Кроме того, в последние годы все шире применение рапса в качестве возобновляемого экологически чистого источника энергии – биотоплива (Перспективная ресурсосберегающая технология..., 2008).

На территории опытного участка КСА, вносили 15кг/м<sup>2</sup> осадок Юж. Бутово и 20 кг/м<sup>2</sup> компост КСА. Площадь делянки 10м<sup>2</sup>. Срок вегетации растений - 3,5 мес, повторность опыта 3-кратная. В вариантах с внесением осадка Юж. Бутово на стадии всходов рапс испытывал определенную депрессию 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/м<sup>2</sup> осадка Юж. Бутово - 102% , в то время как 20 кг/м<sup>2</sup> компоста КСА только 55% (табл. 29). Известно, что рапс влаголюбивая культура, способен произрастать практически на любых типах почв. В Центральной России оптимальные агрохимические показатели для возделывания рапса: рН<sub>сол.</sub>=5,6-7,0, гумус (по Тюрину) – 2-7%, содержание подвижного фосфора и обменного калия – 100-120 мг/кг. Рапс – культура интенсивного минерального питания, требует питательных веществ в полтора-два раза больше, чем зерновые культуры. Он интенсивно поглощает кальций и магний, чувствителен к почвенной кислотности, однако, устойчив к определенному уровню содержания тяжелых металлов. При формировании урожая, рапс в наибольшей степени потребляет марганец, цинк и бор, положительно реагирует на внесение медных и кобальтовых удобрений (Ващенко, 2005; Сискевич, Никонова, 2008; Федотов и др., 2008).

**Таблица 29.** Влияние осадка сточных вод Юж. Бутово и компоста Курьяновской станции аэрации на биомассу рапса на 75 день вегетации

Варианты опыта, доза в кг/м <sup>2</sup>	Биомасса, кг/м <sup>2</sup> сухого вещ-ва	Масса одного растения, г сух. вещ-ва	Прибавка урожая	
			кг/м <sup>2</sup>	%
Контроль	1,02±0,01	51,7	—	-
15 Юж. Бутово	2,07±0,04	88,0	0,87	102
20 КСА	1,58±0,03	77,0	0,56	55

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 (табл.30).

**Таблица 30.** Влияние осадка сточных вод и компоста Юж. Бутово на продуктивность семян рапса ярового и льна масличного

Вариант опыта	Урожай семян, г/м <sup>2</sup>	Прибавка	
		г/м <sup>2</sup>	%
<i>Рапс яровой (<i>Brassica napus</i>); почва - урбанозем</i>			
Контроль	351,9±14,1	-	
Осадок	907,5±45,4	555,6	158
Компост	569,4±19,9	217,5	62
<i>Лен масличный (<i>Linum usitatissimum</i>), почва - урбанозем</i>			
Контроль	160,0±6,4	-	
Осадок	158,1±5,5	нет	нет
Компост	204,4±10,2	+44,4	+27,8

При тех же агроклиматических условиях высевали лен масличный (*Linum usitatissimum*). Выпадение растений льна наблюдалось на стадии

всходов. Внесение осадков с высоким содержанием Са и биоэлементов для выращивания льна нерационально. Урожай семян льна при внесении осадка не превышал показателей на контроле. Установлено, что оптимальными условиями для выращивания льна являются почвы с высоким содержанием органического вещества и  $pH_{KCl}=5-5,8$  (Толстопятова, 2000). Урожай семян льна при внесении осадка не превышал показателей на контроле.

Анализ наших данных и предварительные исследования, проведённые сотрудниками нашей кафедры и Мосводоканала, с мелкосемянными культурами лобелией, астрами и др. показал, что для посева на рассаду или формирования газонной культуры необходима технология посева с формированием предварительно «семенного ложа», которое должно создаваться за счёт естественной почвы, глубина ложа 3-5 см. Это обеспечивает хорошую всхожесть семян и соответствующую густоту стояния растений.

Таким образом, микрополевые опыты показали, что внесение ОСВ Юж. Бутово в дозе  $15\text{кг}/\text{м}^2$  увеличивает продуктивность рапса на 102 % к контролю, компоста КСА в дозе  $20\text{ кг}/\text{м}^2$  – 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.

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

Для оценки влияния тяжелых металлов (ТМ) на все звенья агроценоза при внесении осадков сточных вод, существует несколько подходов: 1) оценивать влияние ТМ по содержанию валовых форм в осадках и в почве; 2) оценивать влияние ТМ по содержанию подвижных форм элемента, которые извлекаются ацетатно-аммонийным буфером из осадка и из почвы; 3) оценивать влияние осадка по содержанию ТМ в растениях.

Анализ наземной биомассы райграса, 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.31). Кальций - элемент формирования биомассы – поглощается сильнее по мере увеличения дозы, что свидетельствует о его подвижности и усвоении из почвенной среды. Концентрация Са в райгресе 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 кальция в овсянице в 2,6 раз, безреагентного компоста КСА – в 2 раза. При значительной прибавке биомассы, содержание кальция 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 и «эффектом ростового разбавления».

Аналогичная ситуация наблюдается для магния. В биомассе райграса и овсяницы его содержание увеличивается с 4,2 и 1,7 г/кг на контроле до 4,8-6,4 и 2,7-2,8г/кг при внесении осадка и компостов соответственно. В биомас-

се рапса при внесении компоста КСА наблюдается увеличение содержания Mg на 5% по отношению к контролю, однако, при внесении осадка Юж. Бутово его концентрация снижается, что связано с нарастанием биомассы.

Алюминий токсичен для многих растений; избыток соединений железа может негативно влиять на свойства почвы, но они необходимы растениям (Авдонин, 1972; Орлов и др., 2005). Содержание алюминия и железа в растениях на контроле выше, чем в вариантах с внесением осадка и компостов, что связано с более низким содержанием этого элемента в почвосмесях и увеличением биомассы растений. При низкой продуктивности овсяницы содержание алюминия в вегетативной массе, напротив, увеличивалось до 1,7 мг/100г при содержании на контроле 1,4 мг/100г; железа – до 2,5 мг/100г с 2,0мг/100г соответственно.

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 позиции 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; Ор-

лов, 1996; Ларионов и др., 2009, Hsieh et al., 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, Госс, 2008). В биомассе овсяницы наблюдалось повышение содержания меди, свинца и цинка по отношению к контролю, что, вероятно, было связано с депрессией ростовых процессов. Важно отметить, что Cu и Zn являются дефицитными элементами в почвах Московского региона. При снижении уровня применения минеральных и, особенно, органических удобрений во многих регионах РФ отмечается недостаток Zn и Cu (Курганова, 2002; 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 (Пушкарева, Маковский, 2008; Ушаков, 2009).

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).

**Таблица 31.** 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)				НСР <sub>0,05</sub>
	контроль	Компост КСА				контроль	15 кг/м <sup>2</sup> осадок Юж. Бутово	20 кг/м <sup>2</sup> ком- пост КСА	контроль	10 % осадок Юж. Бутово	20 % ком- пост Юж. Бутово	20% ком- пост КСА	
		5 %	10%	20% в почву	20% по- верх.								
<i>Макроэлементы и стронций, в мг/кг сухого веса</i>													
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	2,2
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	1,2
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	0,01
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	0,04
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	0,01
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	0,01
<i>Тяжелые металлы, в мг/100г сухого веса</i>													
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	0,001
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	0,03
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	0,01
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	0,002
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	0,002
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	0,12

Красным выделены максимальные значения

Анализ биомассы растений овсяницы, рапса и райграса в процессе вегетации на содержание в них наиболее опасных элементов – загрязнителей: мышьяка, ртути, сурьмы, урана показал, что их концентрация была ниже предела обнаружения рекомендованными и исследуемыми методами. Кроме того, уровни содержания основных ТМ при внесении осадка и компоста были более низкие по отношению к контролю, вероятно, за счет «ростового разбавления».

### ***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 среднеокультуренной, дерново-подзолистой слабоокультуренной почвах (Московская область, Сергиево-Посадский р-н) и слабонарушенном урбаноземе, г. Москва, Северо-Западный район). Осадок Юж. Бутово вносили из расчета 10 т/га, что соответствует зональным рекомендациям для почв Московского региона. Для сравнения использовали внесение минеральных удобрений в стандартной дозе 0,1 г 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 3-х кратная.

**Динамика рН почвы.** В опыте использовали почвы сельхозугодий Московской области Сергиево-Посадского района с нейтральной реакцией среды 6,3-6,8 и сильнокислую городскую почву – слабонарушенный урбанозем с реакцией среды 4,3 (табл.32).

В контрольном варианте на всех почвах, без внесения удобрений, реакция среды оставалась на уровне исходных показателей в течение всего опыта, незначительные изменения в пределах 3-9%, мы считаем, были связаны с позитивным влиянием благоприятных условий 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 (рН 4,3) в первые 30 дней опыта (рис. 17).

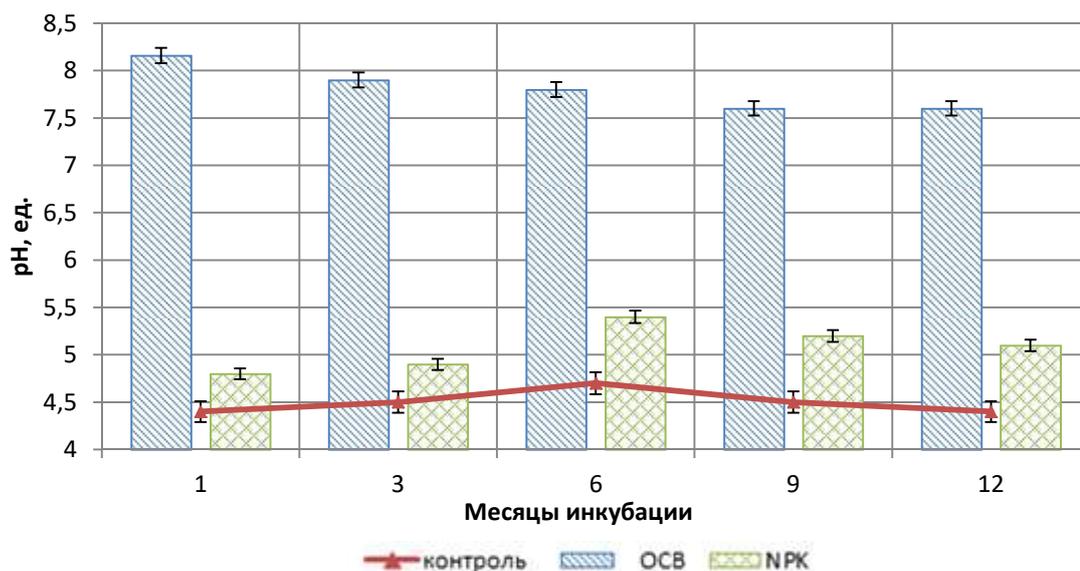


Рис.17 Изменение рН в урбаноземе при внесении реагентного осадка Юж. Бутово и НРК (рНисх=4,3)

Процесс стабилизировался в течение шести месяцев и устойчиво сохранялся на высоком уровне рН 7,6;7,8; 8,3 для урбанозема, дерново-подзолистых среднекультуренной и слабокультуренной почв соответственно на протяжении годичного эксперимента (табл. 32).

Экспериментально установлено, что в год внесения осадков кальций не полностью переходит в почву, поэтому стрессовых ситуаций не наблюдается, а позитивное нейтрализующее действие ОСВ сохраняется в агроценозе в течение последующих 4-5 лет (Справочная книга..., 2001; Кидин, 2009).

**Таблица 32.** Влияние осадков сточных вод Юж. Бутово на рН дерново-подзолистых почв разной степени окультуренности

Вариант	Почва									
	Дерново-подзолистая слабоокультуренная рН <sub>исх</sub> =6,8 (НСР <sub>0,05</sub> =±0,03)					Дерново-подзолистая среднеокультуренная рН <sub>исх</sub> =6,3 (НСР <sub>0,05</sub> =±0,03)				
	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
НПК	6,9	7,1	7,1	7,0	7,1	6,3	6,4	6,3	6,2	6,1

При внесении минеральных удобрений (НПК) наблюдали слабый эффект подщелачивания почвы, который был связан с влиянием NH<sub>4</sub> в составе селитры и реализовывался слабым повышением значений на среднеокультуренной почве с рН 6,8 до 7,1; на слабоокультуренной - с рН 6,3 до 6,4, что отражает устойчивость почвенно-поглощающего комплекса. На урбаноземе подщелачивающий эффект был связан с разложением селитры, влиянием NH<sub>4</sub>, а также разложением суперфосфата в течение года и составлял с рН 4,3 до рН 5,4. Физико-химическое равновесие между ППК и почвенным раствором устанавливалось через 9 месяцев инкубирования и значение рН сохранялось до окончания опыта.

**Динамика азота.** Азот является одним из наиболее важных элементов питания растений. Определение динамики содержания разных форм азота в почве является достаточно сложной задачей, ввиду лабильности соотношения нитратной и аммонийной формы азота, а также непрерывно протекающих и сопряженных процессов аммонификации, нитрификации и

денитрификации. В первый месяц взаимодействия происходит активная минерализация азота почвы и внесенных удобрений, о чем свидетельствует рост содержания аммонийного азота (табл. 33). 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 (Мосина, Мерзлая, 2010; Kurakov et al., 1997; Andreasen, Nielsen, 2000).

**Таблица 33.** Содержание *Намм* в дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности при внесении реagenтного осадка и *НРК* (мг/100г почвы)

Месяцы	1	3	6	9	12
<i>Дерново-подзолистая сл.окультур., исходный показатель Намм = 2,5 мг/100г (НСР<sub>0,05</sub> = ±0,02-0,1)</i>					
контроль	2,3	1,1	0,8	0,6	0,5
10т/га ОСВ	13,0	8,6	6,0	5,0	2,0
НРК	16,0	15,0	8,0	5,4	1,9
<i>Дерново-подзолистая ср.окультур., исходный показатель Намм = 7 мг/100г (НСР<sub>0,05</sub> = ±0,02-0,3)</i>					
контроль	6,0	5,1	3,2	3,0	1,9
10т/га ОСВ	15,0	15,0	8,2	7,4	3,1
НРК	22,0	11,0	8,4	5,2	2,4
<i>Слабонарушенный урбанозем, исходный показатель Намм = 11 мг/100г (НСР<sub>0,05</sub> = ±0,04-0,2)</i>					
контроль	10,0	5,4	3,7	2,1	1,3
10т/га ОСВ	17,4	10,5	7,1	4,2	2,1
НРК	24,0	17,0	8,0	4,1	1,9

Внесение реagenтных 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 отно-

шению к исходной почве в первый месяц инкубации. Внесение минеральных удобрений на нейтральных дерново-подзолистых почвах при оптимальных условия влажности и температуры индуцируют образование аммония особенно активно в первый месяц взаимодействия в системе почва-удобрение, на почве с низким исходным содержанием с 2,5 до 16 мг/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 стабилизируется на уровне 6-8 мг/100г почвы через 6 месяцев взаимодействия и постепенно снижается 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. Экспериментально установлено, что более активное развитие процессов иммобилизации связано с отсутствием растений (Умаров и др., 2007; Кидин, 2008; Pakhnenko , 1999). Снижение содержания аммония во всех вариантах опыта в системе почва-удобрение в течение годичного эксперимента по отношению к исходному показателю является результатом активной переработки минеральных удобрений и органики при оптимальных гидротермических условиях. Мы считаем, что это связано с: а) переходом части аммония в атмосферу; б) закреплением его в почвенном поглощающем комплексе; в) включением процессов окисления аммония бактериями рода *Nitrosomonas* (Mino et al, 1994; Kristensen et al., 2000; Blaszczyk, 2007).

На слабоокультуренной почве без внесения удобрений содержание нитратов постепенно увеличивается к шестому месяцу с 11 до 14,8 мг/100г., т.е. на  $\approx 30\%$ , реализуется способность самой почвы за счет естественной биоты, оптимизации влажности и температуры (табл. 34). 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 44,7 мг/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, иллюстрируя по этому параметру участие активной органики осадка в процессе нитрификации. Рост содержания нитратного азота сопровождается снижением аммонийного азота, что свидетельствует об интенсивном протекании процесса нитрификации, низком уровне его фиксации, что благоприятно для питания растений.

**Таблица 34.** Содержание  $N_{\text{нитр}}$  в дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности при внесении реагентного осадка и NPK, мг/100 г почвы

Вариант	Дерново-подзолистая слабо-окультуренная почва $N_{\text{нитр-исх}}=11$ мг/100г ( $HCP_{0,05}=\pm 0,5-1,2$ )					Дерново-подзолистая среднеокультуренная почва $N_{\text{нитр-исх}}=33,1$ мг/100г ( $HCP_{0,05}=\pm 1,2-3,4$ )				
	Месяцы инкубации									
	1	3	6	9	12	1	3	6	9	12
Контроль	12,1	13,2	14,8	12,0	11,8	30,4	33,6	37,2	36,7	33,1
ОСВ	21,0	33,4	47,9	38,2	35,0	58,1	74,4	87,1	84,4	77,6
NPK	23,0	30,0	44,7	27,4	21,1	40,1	45,4	42,7	62,5	42,7

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, дополни-

тельное 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. Кислотность почвы при этом важный, но не единственный фактор влияния (рис. 18). 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 NPK (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 взаимодействия в системе почва-осадок; 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 скорости переработки активной органики.

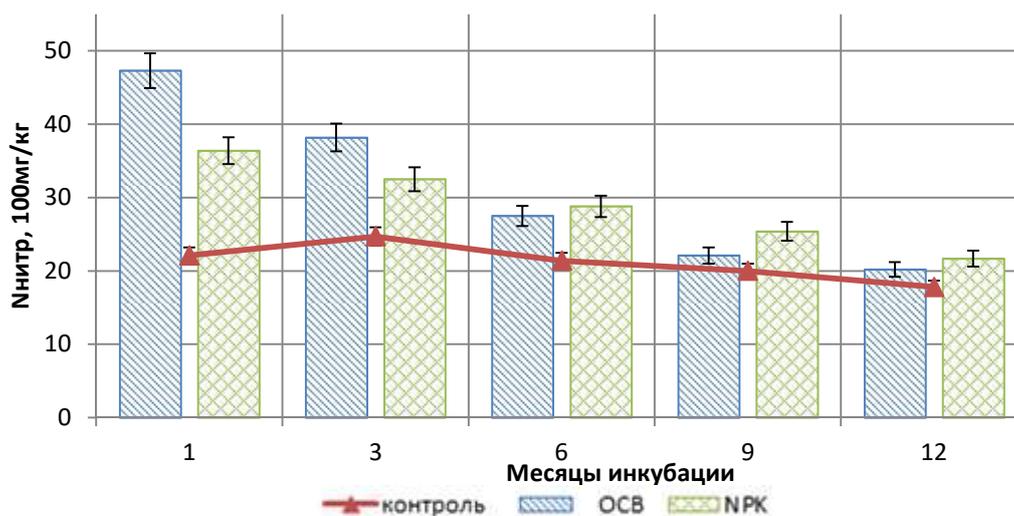


Рис.18 Годовая динамика нитратного азота в урбаноzone при внесении реагентного осадка и NPK ( $N_{\text{нитр-исх}}=17 \text{ мг/100г}$ )

Внесение минеральных удобрений на урбаноzone в режиме модели обеспечивало сдвиг рН 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 почве контроля, содержание нитратов было обнаружено через 1 месяц 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 среднекультуренной почве снижение его количества составило <math><5,0\%</math>, то на слабокультуренной почве доступность фосфора снизилась в 2,1 раза, а на урбаноzone - в 3,4 раза, что, вероятно, связано с увеличением фосфатной емкости исследуемых почв (табл. 35) (Дабахова и др., 2011; Титова и др., 2011). 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

**Таблица 35.** Содержание  $P_{\text{дост}}$  в дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности при внесении реagenтного осадка и NPK

Вариант	Дерново-подзолистая слабо-окультуренная почва $P_{\text{дост-исх}}=8 \text{ мг/100г}$ ( $HCP_{0,05}=\pm 0,3$ )				Дерново-подзолистая среднеокультуренная почва $P_{\text{дост-исх}}=26 \text{ мг/100г}$ ( $HCP_{0,05}=\pm 0,8$ )			
	Месяцы инкубации							
	1	3	6	12	1	3	6	12
Контроль	7	5,7	4,1	3,7	24,3	23,4	20,1	24,4
ОСВ	10,8	11,4	13,6	18,0	30,0	27,8	31,7	32,4
NPK	11,4	11,4	10,3	11,0	29,7	25,7	28,1	27,4

Слабонарушенный урбанозем, в отличие от представленных дерново-подзолистых почв, имел высокий показатель кислотности и очень низкое исходное содержание  $P_{\text{дост}}$ . При внесении осадка в таких контрастных условиях позитивная динамика приращения доступного фосфора устойчиво сохранялась в течение года, при этом его содержание в урбаноземе по отношению к исходному значению увеличилось в 8 раз (рис. 19). Внесение минерального фосфора в составе NPK повышало фосфатный уровень исследованных почв, но в меньшей степени, чем осадок. Финальная оценка показывает, что в среднем приращение доступного фосфора от внесения полного минерального удобрения составляет на данных почвах  $4,9 \pm 0,3$  мг/100г почвы.

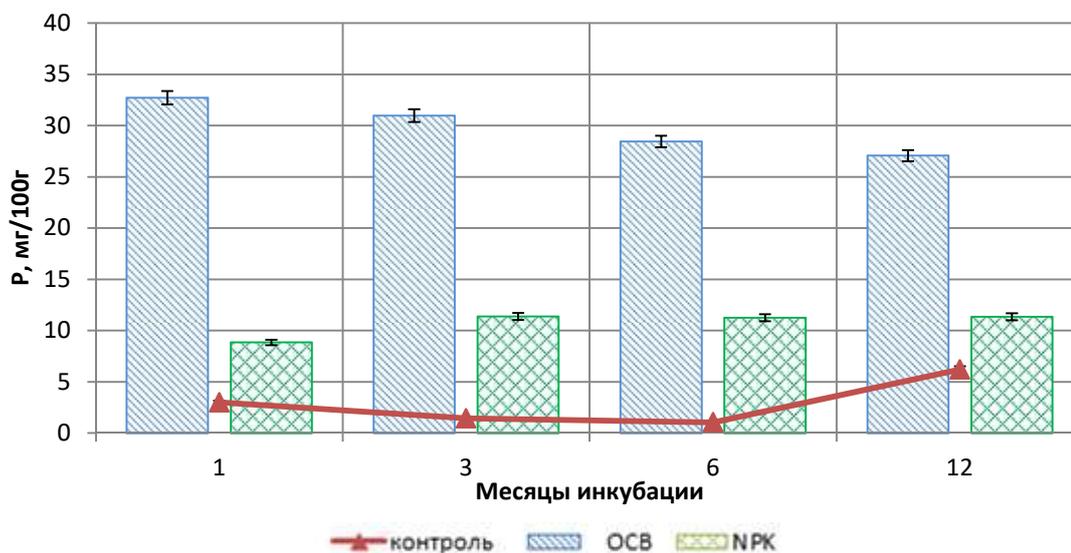


Рис. 19. Годовая динамика доступного фосфора при внесении реagenтного осадка и NPK в слабонарушенном урбаноземе ( $P_{\text{дост-исх}}=3,4 \text{ мг/100г}$ )

**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 - омуг, пудрет, экуд (Архипченко и др., 2001, Кутьева и др., 2002). При наличии доступных источников N и P, растения поглощают калий и другие биоэлементы из резерва почвы. Экспериментально установлено, что 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 pH, после 3-х месячного срока взаимодействия в системе осадок-почва, обменный калий переходит в необменную форму; его содержание снижается с 12,8 до 7,3 мг/100г к концу опыта. Переход калия в необменное состояние слабо выражен на среднекультуренной почве и урбаноземе. Внесение осадка на слабокультуренной почве обеспечивает в течение 12 месяцев устойчивое сохранение

исходного показателя по обменному калию с небольшим увеличением к финалу (рис.20). На среднекультуренной почве и урбаноземе при внесении ОСВ наблюдается рост содержания обменного калия  $\approx$  в 1,6раз, что, вероятно, является результатом высвобождения калия из ППК под действием активной органики осадка. Анализ результатов показал, что внесение реagenтного осадка сохраняет калий почвы в течение года в обменном состоянии, не влияя на исходный показатель  $K_{обм}=12,8-13,2\text{мг}/100\text{г}$ , что связано с высоким нейтрализующим эффектом осадка, а также большим содержанием в нем активной органики. Позитивное влияние кальция на сохранение калия в обменном состоянии убедительно показано в многолетних стационарных опытах (Гомонова, Панникова, 1983; Пчелкин, 1970). Экранирующий эффект активной органики по отношению к сохранению доступности биогенных элементов известен из работ, связанных с внесением в почву нетрадиционных удобрений - бамила, экуда, пудрета (Pahnenko et al., 2000).

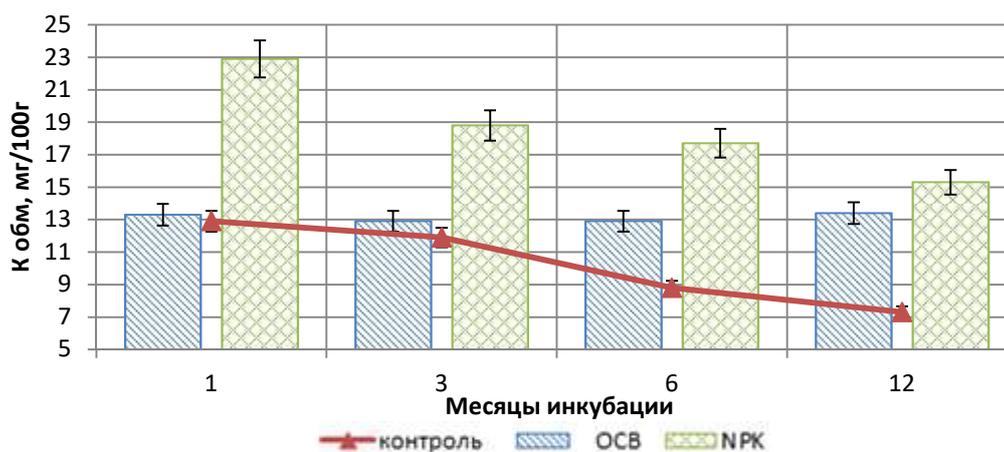


Рис. 20. Содержание обменного калия в дерново-подзолистой среднекультуренной почве при внесении реagenтного осадка и NPК ( $K_{обм-исх}=12,8\text{ мг}/100\text{г}$ )

В первые месяцы инкубации при внесении минеральных удобрений, где калий представлен калий хлористым, он обеспечивает более значимый прирост содержания обменного калия в системе почва-удобрение  $\approx$  в 1,8-2,4 раза в зависимости от почвы. В течении года при внесении минеральных

удобрений происходит активная фиксация К почвенными коллоидами в отсутствие растений и к 12 месяцу опыта содержание обменного калия на дерново-подзолистых почвах при внесении NPK и осадка практически выравнивается. На почве контроля содержание обменного калия заметно снижается с 12,8 до 7 мг/100г, за счет перехода его в необменную форму. Процесс закрепления калия активизируется после третьего месяца взаимодействия.

Таким образом, 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 среднекультуренной почве в 2,1 раза, на слабокультуренной - в 5,2 раза, на урбаноземе в 1,6 раз. Нитратный пул составил при внесении осадка на слабокультуренной 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 NPK повысило его содержание только на 4,9 мг/100г почвы.

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

Стратегия использования осадков сточных вод за последние годы претерпела существенные изменения, которые связаны с расширением области их применения, совершенствованием их очистки, повышением и изменением технологического уровня приготовления и внесения. С экономических позиций крайне важным в настоящее время при использовании осадков, как в сельскохозяйственном производстве, так и в зеленом строительстве является сокращение радиуса их перевозки (Максаков, 2000). В связи с этим перспективно развитие направления использования осадков сточных вод длительного срока хранения для рекультивации нарушенных при строительстве земель, полигонов ТБО. На очистных сооружениях канализации (ОСК) г. Сергиев Посад поступают хозяйственно-бытовые и промышленные сточные воды  $\approx 80$  тыс. м<sup>3</sup>/сут. Их исследование в настоящее время связано с реконструкцией городской дороги, строительством объездной автодороги «Западный объезд» и планируемым закрытием полигона ТБО «Парфеново» (рис.21).

Для определения возможных путей утилизации, 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 песколовок подсушенный.



Рис.21 Схема и общий вид строительства автодороги Западный объезд г.Сергиев Посад Московская обл.

По составу и свойствам подсушенный на иловых картах осадок соответствует требованиям ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. Осадок характеризуется высокой влажностью=65%, pH=7,7. Содержание органического вещества=43%, что в 2 раза превышает установленный норматив. Аналогичная ситуация с содержанием общего азота и фосфора (табл. 36).

**Таблица 36.** Основные показатели осадка г. Сергиев Посад длительного срока хранения на иловых картах.

Наименование показателя	Осадок	ПДК ГОСТ Р 17.4.3.07-2001
Влажность, %	65,0±3,0	Не нормируется
pH <sub>H2O</sub>	7,7±0,2	5,5-8,5
Органическое в-во, % сух в-во	43±1,8	20
Нобщ, % сух в-во	3,3±0,1	>0,6
NH <sub>4</sub> , % сух в-во	0,2±0,01	Не нормируется
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , % сух в-во	3,7±0,1	>1,5
K <sub>2</sub> O, % сух в-во	0,5±0,02	Не нормируется
C:N	7,6±0,2	Не нормируется

Анализ образцов на содержание тяжелых металлов в осадке показал повышенную концентрацию меди (1650 мг/кг). Это не превышает ПДК по ГОСТ для II группы, но заметно выше I-ой группы. В осадках с иловых карт отсутствовал мышьяк, а также наблюдалось низкое содержание кадмия (табл. 37). Кроме того, в осадке определяли подвижные формы тяжелых металлов, экстрагируемые ацетатно – аммонийным буферным раствором с pH 4,8. Максимальной подвижностью (76-83%) обладают соединения Cd, Ni, Zn, минимальной – Cu, Cr и Pb.

Оценка радиоактивного фона осадков показали, что удельная активность Cs137 составляет 9,3Бк/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  $^{137}\text{Cs}$  в присутствии калия – его главного антагониста, а также при повешении концентрации кальция в почве (Илахун, 2009; Федоркова, 2013; Agarkina, 2002).

**Таблица 37.** Валовое содержание тяжелых металлов и потенциально опасных элементов в осадке, подсушенном на иловых картах

Элемент	Осадок		ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 по группа I-II	
	Тяжелые металлы, мг/кг	Коэффициенты подвижности ТМ, в % от валовых форм.	I	II
Cd	15±0,6	76	15	30
Ni	57±2,2	79	200	400
Pb	230±10,1	13	250	500
Cr	640±30	3,9	500	1000
Cu	1650±75	1,3	750	1500
Zn	960±42	83	1750	3500
<i>Потенциально опасные эл-ты, мг/кг</i>				
Hg	5,1±0,1		7,5	15
As	н.п.о.*		10	20
Mn	130±5		не нормируется	
<i>Радиоактивность, Бк/кг (Фоновое значение для почв Московской области = 18 Бк/кг)</i>				
$^{137}\text{Cs}$	9,3±0,3		не нормируется	

\*н.п.о. – ниже предела обнаружения

На ОСК г. Сергиев Посад в основной технологической схеме обработки осадков отсутствует обеззараживание, на иловых картах поступает не обеззараженный осадок. В процессе выдержки осадков на иловых картах и в отвалах в течение нескольких лет происходит их обеззараживание, о чем свидетельствуют результаты бактериологических испытаний. Бактерии группы кишечной палочки, патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, а также яйца гельминтов в осадке не обнаружены (табл. 38).

**Таблица 38.** *Результаты санитарно-эпидемиологической экспертизы осадков г. Сергиев Посад*

Наименование показателей	Содержание в осадке	СанПиН 2.1.7.573-96
Колититр, г	0,1	не менее 0,01
Патогенные микроорганизмы в т.ч. сальмонеллы, в 25г осадка	отсутствие	отсутствие
Яйца гельминтов (жизнеспособные), шт	отсутствие	отсутствие

Химически поглощенный кислород (ХПК) водной вытяжки, приготовленной из осадка с иловых карт, составляет 960 мг  $O_2$ /л, пробы №2 – 480 мг  $O_2$ /л. В соответствии с «Инструкцией по эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов» - Минстрой РФ, М, 1996г., промышленные отходы IV и III классов опасности, принимаемые в количестве не более 30% от массы ТБО и складированные совместно с бытовыми, характеризуются значениями ХПК водной вытяжки 3400-5000 мг  $O_2$ /л.

Осадок, складированный на временных иловых площадках, в другой период времени отличается от осадка с постоянных иловых площадок по содержанию тяжелых металлов. Заметна разница содержания таких металлов, как ртуть (с 5,1 до 1,74 мг/кг), кадмий (с 15 до 8,52 мг/кг) и хром (с 640 до

226 мг/кг). При этом содержание никеля меньше (с 57 до 50 мг/кг), а содержание цинка наоборот больше с 960 до 1080 мг/кг (табл. 39).

Разница в результатах объясняется тем, что на двух разных площадках создавались разные условия хранения. Кроме того, осадок одной площадки был больше подсушен, поэтому процентное содержание тяжелых металлов со временем возрастало. Кроме того, осадки сточных вод постоянно перекрывались более свежими, что привело к их уплотнению, а также накоплению элементов.

**Таблица 39.** Валовое содержание тяжелых металлов и потенциально опасных элементов осадка, складированного на временных иловых площадках

Элемент	Осадок*
<i>Тяжелые металлы, валовое содержание, мг/кг</i>	
Cd	8,52±0,3
Ni	50±2,0
Pb	590±28,1
Cr	226±10,9
Cu	490±21,5
Zn	1080±51,1
<i>Потенциально опасные эл-ты, мг/кг</i>	
Hg	1,74±0,07
As	Следы
Mn	510±24,7

\*ПДК по ГОСТ Р приведены в табл. 41

Усредненный осадок после первичных отстойников (весна) представляет собой смесь сырого осадка и активного ила. Осадок первичных отстойников по сравнению с осадком, подсушенным на иловых картах, имеет повышенное содержание органического вещества (68 против 34%), а также увеличение доли общего азота и углерода, что связано с частичной минера-

лизацией органического вещества, газообразными потерями азота за счет денитрификации при хранении его открытым способом на иловых картах (табл. 40). В связи с вышеизложенным, можно прийти к выводу, что смесь сырого осадка и активного ила более ценная в качестве удобрения.

Анализ образцов осадка на содержание ТМ показал, что в осадке первичных отстойников наблюдалось самое высокое содержание кадмия из всех представленных партий осадка - 35 мг/г. аналогичная ситуация со свинцом и медью (табл. 40).

**Таблица 40.** *Агроэкологическая характеристика осадка первичных отстойников*

Показатель \ Образец	Осадок первичных отстойников	
	(весна)	(лето)
Влажность, %	30±1,2	-
pH	6,6±0,2	-
<i>Содержание в сухом веществе</i>		
Органическое в-во, %	68±3,1	-
N <sub>общ</sub> , %	4,9±0,2	-
N-NH <sub>4</sub> , %	0,3±0,01	-
C:N	8,1±0,4	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	2,9±0,1	-
K <sub>2</sub> O, %	0,5±0,02	-
<i>Валовое содержание тяжелых металлов и марганца, в мг/кг сухого вещества</i>		
Cd	35±1,3	3±0,1
Ni	92±4,1	35±1,2
Pb	600±27,2	74±2,8
Cr	1000±47,6	280±12,8
Cu	2600±123,4	380±17,9
Zn	1640±81,2	580±27,1
Mn	180±7,5	80±3,9
<i>Особо опасные токсиканты, мг/кг сухого вещества</i>		
Hg	2,06±0,09	6,7±0,27
As	н.п.о.	

\*ПДК по ГОСТ Р приведены в табл. 40,41

Усредненный осадок первичных отстойников в летний период отличается от предыдущего только временем образования. В летний период возрастает расход воды населением, что приводит к увеличению объемов поступающих коммунально-бытовых сточных вод, что приводит к уменьшению доли промышленный стоков, а значит в них снижается содержание тяжелых металлов и других токсикантов.

Подсушенный песок из песколовков образуется на стадии механической очистки сточных вод за счет осаждения частиц песка при движении воды с постоянной скоростью. Песок характеризуется низким содержанием органического вещества – 1%, близким к нейтральному рН = 6,8 (табл. 41).

Песок песколовков соответствует ГОСТу по содержанию тяжелых металлов. Радиоактивность песка выше, чем в осадках, подсушенных на иловых картах, но ниже фонового значения по Московской области.

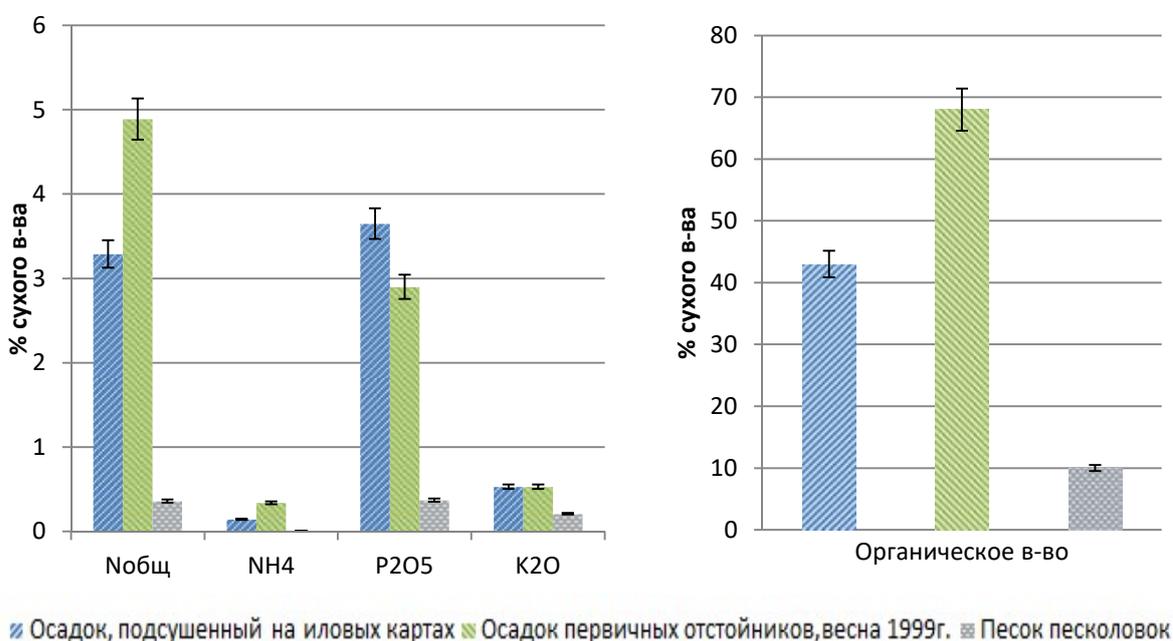


Рис. 22 Сравнение удобрительной ценности осадка с иловых карт и первичных отстойников, в % на сухое вещество

**Таблица 41. Агроэкологическая характеристика песка песколовок**

Показатель	Песок песколовок*
Влажность, %	21±0,9
pH	6,8±0,3
<i>Содержание в сухом веществе</i>	
Органическое в-во, %	10±0,4
N <sub>общ</sub> , %	0,4±0,01
N-NH <sub>4</sub> , %	0,01±0,0005
C:N	16,1±0,7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	0,4±0,01
K <sub>2</sub> O, %	0,2±0,01
<i>Валовое содержание тяжелых металлов и марганца, в мг/кг сухого вещества</i>	
Cd	2,1±0,09
Ni	17±0,7
Pb	85±3,8
Cr	115±5,2
Cu	205±9,8
Zn	520±24,8
Mn	69±3,2
<i>Особо опасные токсиканты, мг/кг сухого вещества</i>	
Hg	1,2±0,03
As	н.п.о.
<i>Радиоактивность, Бк/кг (Фоновое значение для почв Московской области = 18 Бк/кг)</i>	
<sup>137</sup> Cs	10,8±0,4

\*ПДК по ГОСТ Р приведены в табл. 40,41

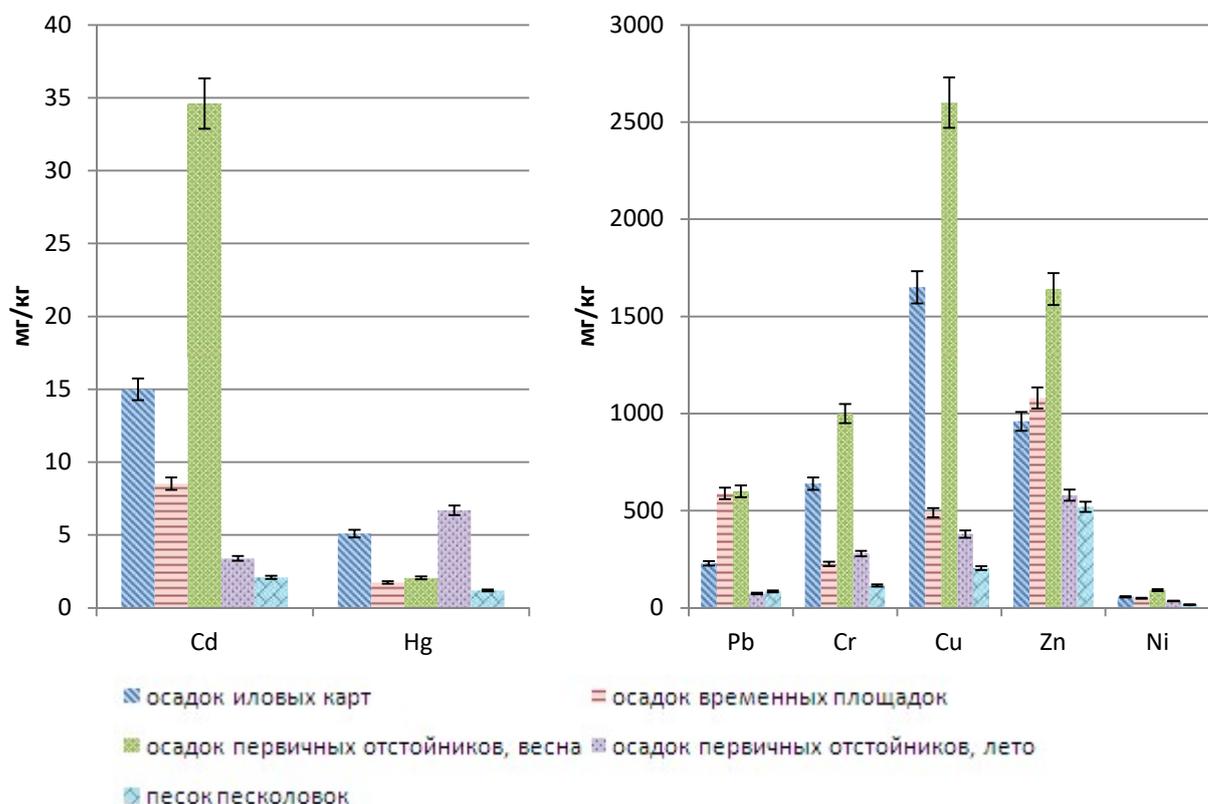


Рис. 23 Содержание тяжелых металлов и ртути в различных партиях осадков сточных вод очистных сооружений г. Сергиев Посад

Для определения класса опасности песка по проектной методике установлено, что индекс опасности соответствует 4 классу опасности и песок может быть даже отнесен к практически неопасным отходам, что позволяет его использовать для планировочных работ, обваловки иловых площадок; в качестве компонента почвенных смесей при озеленении территории.

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; Ананьева, Давыдов, 2009). 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., визуальными различиями между

контрольным и опытными вариантами при биотестировании образцов не наблюдалось, длина корней составляла 98 и 106% от контроля.

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 радиоактивному фону осадки можно использовать в качестве нетрадиционного органического удобрения, в особенности особенно для зеленого строительства и рекультивации территорий, нарушенных при строительстве и полигонов ТБО.

## ВЫВОДЫ

1. Осадки сточных вод очистных сооружений Юж.Бутово являются термобильно 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 ПДК), Zn=650 (0,4 ПДК), Cu=155 (0,2 ПДК). Подвижные формы алюминия, железа, кадмия, свинца и мышьяка в осадках ниже предела обнаружения, 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 (*Salmonelle*), 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)флюорантен и бензо(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. С1-пестициды в осадках Юж. Бутово отсутствовали.
7. Микрополевые опыты показали, что внесение ОСВ Юж. Бутово в дозе 15 кг/м<sup>2</sup> увеличивает продуктивность рапса на 102 % к контролю, компоста КСА в дозе 20 кг/м<sup>2</sup> – 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 рН, 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 (НРК) в условиях модели «почва-удобрение» при оптимальных гидротермических условиях показала высокий нейтрализующий эффект реагентного осадка. Содержание аммонийного азота увеличилось на дерново-подзолистой среднеокультуренной почве в 2,1 раза, на слабоокультуренной - в 5,2 раза, на урбаноземе в 1,6 раз. Нитратный пул составил при внесении осадка на слабоокультуренной почве 35 мг/100г, при внесении НРК - 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 не-

традиционного 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  $^{137}\text{Cs}$  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.

## Литература

1. ГОСТ 26717 – 85. Удобрения органические. Метод определения общего фосфора. – Введ. 1985-12-19. – М.: Издательство стандартов, 1986 – 6с.
2. ГОСТ 26951-86. Определение нитратов ионометрическим методом. – Введ. 1986-06-30. – М.: Издательство стандартов, 1986 – 10с.
3. ГОСТ 27753.8-88. Грунты тепличные. Методы определения основных агрохимических показателей. – Введ. 1988-12-23. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 6с.
4. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. – М.: Госстандарт России, 2001 – 8с.
5. ГОСТ 17.4.3.07-2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. – Введ. 2001-01-23. – М.: Госстандарт России, 2001. – С. 65-71.
6. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. – Введ. 2006-04-01 – М.: ФЦГиЭ Роспотребнадзора, 2006. – 15с.
7. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – Введ. 2009-09-01. – М.: ФЦГиЭ Роспотребнадзора, 2009. -100с.
8. ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011. Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовых долей металлов в осадках сточных вод, донных отложениях, образцах растительного происхождения спектральными методами. – Введ. 2011-12-18 – М.: Росприроднадзор, 2011 - 39с.
9. ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. – Введ. 1998-06-25. – М.: ЦИиКВ, 1998 – 30с.
10. МУ МСХ ЦИНАО. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – Введ. 1992-03-10 – М.: ЦИНАО, 1992 – 61с.
11. МУК 4.2.2661-10. Методы санитарно-паразитологических исследований: Методические указания. – Введ. 2010-06-23. – М.: ФЦГиЭ Роспотребнадзора, 2011. – 63 с.

12. МР 2.1.7.2297-07. Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности. - Введ. 2007-12-28 – М.: ЦГиЭ Роспотребнадзора, 2007. – 13с.
13. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. - М.: Минприроды, 1993. - 34с.
14. Авдонин, Н.С. Научные основы применения удобрений / Н.С. Авдонин. — М.: Колос, 1972. — 320 с.
15. Авдонин, Н.С. Агрохимия: учебник для вузов по спец. "Почвоведение и агрохимия" / Н. С. Авдонин. – М.: МГУ, 1982. - 344 с.
16. Агапкина, Г.И. Полициклические ароматические углеводороды в почвах Москвы/ Г.И. Агапкина// Вестник Московского Университета. Серия 17: Почвоведение. – 2007. - №3. – С.38-47.
17. Агрохимические методы исследования почв/ под ред. А.В. Соколова. – М.: Изд-во Наука, 1975. - 656с.
18. Алексеева, А.С. Влияние применения нетрадиционных органических удобрений на накопление тяжелых металлов и биологическую активность дерново-подзолистых супесчаных почв: автореф. дис. ... канд. биол. наук.: 06.01.04/ Алексеева Анна Станиславовна. – М., 2002. – 23с.
19. Александрова, Л.Н. Влияние осадков городских сточных вод и минеральных удобрений на качество семян конопли/ Л.Н. Александрова// Нива Поволжья. –2011. – №1(18). – С. 6-9.
20. Алексеев, В. Е. Иллитизация и фиксация калия в полевых опытах с калийными удобрениями./В.Е. Алексеев, М.И. Валиев // Плодородие почв и эффективность удобрений. - Кишинев, 1992.- С. 37-45.
21. Анализ существующего положения, оценка региональных особенностей и прогноз сельскохозяйственного использования осадков московских станций аэрации в хозяйствах Московской области: обзор / О. В. Сдобникова [и др.]; ред. Н.З. Милащенко. – М.: ВАСХНИЛ, 1989. – 218 с.
22. Ананьева, Ю.С. Экологическая оценка воздействия осадков сточных вод на почву по фитотестированию/ Ю.С. Ананьева, А.С. Давыдов// Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – №8. – С.38-40.
23. Андропова, Л.А. Эколого-агрохимические оценки применения осадков сточных вод и компостов на основе коры и лигнина при выращивании сельскохозяйственных растений на дерново-подзолистой почве: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.01.04/Андропова Лариса Анатольевна. –М., 2002. – 25с.

24. Андрюков, В.П. Экспериментальные результаты исследований по определению бен(а)пирена в природных средах/ В. П. Андрюков, С.М. Королев, Е.А. Ермаков// Мониторинг загрязняющих веществ в окружающей среде. – 1982.- Вып. 41. - С.81-83.
25. Анциферова, Е.Ю. Эколого-агрохимическая оценка осадков сточных вод, используемых в качестве удобрения: автореф... дис. ... канд. биол.наук: 06.01.04 / Анциферова Елена Юрьевна. – М, 2003. – 23с.
26. Аристархов, А.Н. Действие микроудобрений на урожайность, сбор белка, качество продукции зерновых и зернобобовых культур./ А.Н. Аристархов [и др.]// Агрохимия. – 2010. - №9. – С.36-49.
27. Аристархов, А.Н. Эколого-агрохимическое обоснование оптимизации питания растений и комплексного применения макро и микроудобрений в агроэкосистемах: дис. ... докт. биол. наук в форме науч. докл.: 06.01.04 / Аристархов Андрей Николаевич – М., 2000.- 88с.
28. Архангельский, В.Н. Осадки городских сточных вод - биостимуляторы и органо-минеральные удобрения декоративных культур / В. Н. Архангельский, С. А. Аладин, С. М. Бакулин // Вода: научно-технический журнал для специалистов Министерства жилищно-коммунального хозяйства. - 2012. - № 9. - С. 16-18.
29. Архипченко, И.А. Влияние биоудобрения бамил на трансформацию фосфатов в дерново-подзолистых почвах и продуктивность растений / И. А. Архипченко [и др.] // Агрохимия. — 2001. — № 11.- С.43-48.
30. Афанасьев, Р.А. Агроэкологическая эффективность осадков сточных вод г. Москвы/ Р.А. Афанасьев, Г.Е. Мерзлая // Агрохимический вестник. – 2001.- №5. - С. 25.
31. Афанасьев, Р.А. Методические рекомендации по изучению эффективности нетрадиционных органических и органоминеральных удобрений/ Р.А. Афанасьев, Г.Е. Мерзлая. - М.: Агроконсалт, 2002. - 40с.
32. Бадмаев, А.Б. Урожайность, качество и накопление тяжелых металлов в овощных культурах при внесении осадков сточных вод/ А.Б. Бадмаев, С.Г. Дорошкевич, Л.Л. Убугунов// Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова – 2009. - №1. - С.42-45.
33. Белецкая, Н.В. Влияние осадка сточных вод (ОСВ) на миграцию цинка, свинца и кадмия в дерново-подзолистых почвах/ Н.В. Белецкая, Т.В. Шестакова // Материалы IX международной конференции «Новые идеи в науках о земле». Москва – 2009. - S-XXIII. Секция экологии и природопользования. - С.8.

34. Белюченко, И.С. Влияние осадков сточных вод на плодородие почвы, развитие озимой пшеницы и качество ее зерна / И.С. Белюченко, В. П. Бережная // Труды КубГАУ. - 2012. - Т. 1. - № 34. - С. 148-150.
35. Белюченко, И.С. Практические основы использования отходов промышленности и сельского хозяйства в качестве мелиоранта чернозема обыкновенного./ И.С. Белюченко, В.Н. Гукалов// Труды КубГАУ. – 2011. - №31. – С.152-153.
36. Берлякова, О.Г. Использование осадков сточных вод (ОСВ) в рекультивации нарушенных земель / О.Г. Берлякова, Н.Б. Ермак, Л.И. Линдина// Вестник Кемеровского государственного университета. - 2010. - №1. - С.33-37.
37. Бернадинер, М.Н. Термическое обезвреживание промышленных органических отходов / М.Н. Бернадинер, В.В. Жижин, В.В. Иванов // ЭКиП России. — 2000. — Апр. — С. 17-21.
38. Боговая И. О. Озеленение населенных мест: учебное пособие по специальности "Лесное и садово-парковое хозяйство"/ И.О. Боговая, В.С. Теодоронский – М.: Агропромиздат, 1990. - 239с.
39. Большева, Т.Н. Поведение кадмия и свинца в почвах после прекращения регулярного использования осадка сточных вод/ Т.Н. Большева, Е.А. Лопатина// Проблемы агрохимии и экологии. – 2011. - №1. - С.33-37.
40. Булгакова, Л.М. Исследование процесса детоксикации тяжелых металлов в среде «Осадки сточных вод-почва»/ Л.М. Булгакова, Я.В. Зайцева, И.Л. Ивашкина// Современные наукоемкие технологии. – 2010. - №7. – С.207-208.
41. Бурякова Ю.В. Агроэкологические особенности действия и последствий компостов на основе осадков сточных вод и древесных отходов в агроценозе: дис. ...канд. биол. наук: 06.01.04; 03.00.16/ Бурякова Юлия Виторовна. - М., 2006. – 98с.
42. Вайсфельд, Б.А. К вопросу выбора направленной обработки и утилизации отходов, образующихся на городских очистных сооружениях Москвы / Б.А. Вайсфельд, А.И. Кремер// Проекты развития инфраструктуры города. Инженерные системы и оптимизация водопользования. – 2002.- № 2. - С.78-86.
43. Ванюшина А. Я. Тесты на фитотоксичность как критерий зрелости компостов на основе осадка сточных вод / А. Я. Ванюшина, М. Н. Козлов, В. В. Кутепов // Экологические и технологические вопросы производства и использования органоминеральных удобрений на основе

- осадков городских сточных вод и твердых бытовых отходов: материалы междунар. симпоз. – М. : РАСХН, ВНИПТИОУ, 2004. – С. 85-91.
44. Васбиева, М.Т. Изменение показателей плодородия дерново-подзолистой почвы и содержания в ней тяжелых металлов в результате длительного применения осадков сточных вод / М. Т. Васбиева, А. И. Косолапова // Почвоведение. - 2015. - № 5. - С. 580 – 586.
45. Ващенко, В. Ф. Адаптивный потенциал и размещение посевов ярового рапса в России / В. Ф. Ващенко. - Елец: ЕГУ, 2005. - 148 с.
46. Вильямс В.Р. Собрание сочинений. Том второй. Поля орошения (1897 – 1912) / В.Р. Вильямс: под ред. В.П. Бушинского, Т.Д. Лысенко, М.Г. Чижевского. – М.: ОГИЗ, 1948. – 452с.
47. Возная, Н. Ф. Химия воды и микробиология: учеб. пособие / Н. Ф. Возная. – М.: Высш. шк., 1979. - 340с.
48. Воробьева, Р.П. Использование сточных вод и животноводческих стоков для орошения сельскохозяйственных культур в условиях Юго-Западной Сибири: монография / Р.П. Воробьева - М.: Изд-во Россельхозакадемии, 1995. — 330 с.
49. Вредные химические вещества. Углеводороды. Галогенопроизводные углеводородов: справ. изд./ А.Л. Бандман, и др.; ред. В.А. Филова и др. - Л.: Химия, 1990. – 732с.
50. Геннадиев, А.Н. Углеводороды в почвах: происхождение, состав, поведение (обзор) / А.Н. Геннадиев [ и др.]// Почвоведение. – 2015.- №10.-С.1195-1209.
51. Геннадиев, А.Н. Формы и факторы накопления полициклических ароматических углеводородов в почвах при техногенном загрязнении (Московская область) / А.Н. Геннадиев, Ю.И. Пиковский, С.С. Чернянский // Почвоведение. - 2004. - №7 - С. 804-819.
52. Герасимова, М.И. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация: учеб. пособие / М. И. Герасимова, М. Н. Строганова, Н. В. Можарова, Т. В. Прокофьева. — Смоленск: Ойкумена, 2003. — С. 268.
53. Гольдфарб, Л.Л. Опыт утилизации осадков городских сточных вод в качестве удобрения./ Л.Л. Гольдфарб, И.С. Туровский, С.Д. Беляева. – М.: Стройиздат, 1983– 60 с.
54. Гомонова, Н. Ф., Панникова И. В. Влияние длительного применения минеральных удобрений и извести на содержание форм калия в метровом профиле дерново-подзолистой почвы / Н. Ф. Гомонова, И. В. Панникова // Агрохимия. — 1983. — № 8. — С. 59–65.

55. Горшкова, Е.И. Влияние ОСВ на фосфатное состояние дерново подзолистых и торфяно-глеевых почв / Е.И. Горшкова, Л.К. Садовникова, Е.В. Лебедева, М.С. Беневоленский // Вестник Московского Университета: Сер. 17. Почвоведение. - 1998. - № 2. - С. 33-39.
56. Гостищев, Д.П. Использование осадков сточных вод в Саратовской области/ Д.П. Гостищев // Агрехимический вестник. - 2001. - №5. - С.26-27.
57. Губанов, Л.Н. Компостирование осадков сточных вод, обработанных аминокислотными реагентами/ Л.Н. Губанов, Д.В. Бояркин // Приволжский научный журнал. - 2008. - № 2. - С.126-131.
58. Губанов, Л.Н. Особенности обезвреживания осадков сточных вод малых населенных пунктов./ Л.Н. Губанов, Д.В. Бояркин// Вестник Волгоградского государственного арх.-строит. ун-та. – 2013. - №31-2 (50). – С.508-511.
59. Губанов, Л.Н. Технология обезвреживания и утилизации осадков городских сточных вод/ Л.Н. Губанов, Д.В. Бояркин, В.А. Филин // Инновации.- 2009. - №3 – С.32-35.
60. Гуляева, И.С. Анализ и обоснование методов обезвреживания и утилизации осадков сточных вод биологических очистных сооружений / И.С. Гуляева, М.С. Дьяков, Я.Н. Савинова, В.А. Русакова // Вестник ПНИПУ. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2012. - №2. - С. 18-32.
61. Гумен, С.Г. Обработка осадков сточных вод на центральной станции аэрации С.-Петербурга/ С.Г. Гумен, А.Я. Большеменников, К.В. Марич // ВСТ. – 1998. – № 10. – С. 10-13.
62. Гунина, Е.А. Эффективность применения осадков сточных вод новых и традиционных очистных сооружений г. Москвы/ Е.А. Гунина, Е.П. Пахненко, В.А. Грачев, Ю.А. Николаев//Труды КубГАУ– 2012.- № 1. –С.54-57.
63. Дабахова, Е.В. Оценка воздействия утилизации отходов на состояние агроэкосистемы и проблемы нормирования/ Е.В. Дабахова, В.И. Титова, Е.Ю. Гейгер, Н.А. Корченкина// Агрехимический вестник. – 2011.- №2. – С.13-15.
64. Давыдов, А.С. Почвенная утилизация осадков сточных вод – экологически безопасный способ повышения плодородия и охраны земель / А.С. Давыдов, Р.П. Воробьева//Природообустройство. - 2008.- №5.- С.38-42.
65. Дегтярева, И.А. Изучение возможности использования осадков сточных вод в качестве удобрения под озимую пшеницу/ И.А. Дегтярева,

- Р.Р. Газизов// IV Межд. Науч. Эколог. Конф. на тему: «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и с/х производства». – Краснодар: КубГАУ, 2015. – Ч.II - С.198-202.
66. Денисов, Е.П. Использование осадков сточных вод в качестве биомелиорантов./ Е.П. Денисов, М.В. Бурлака, Д.В. Сураева, Н.В. Скачков.// Экология промышленности России. - 2007.- №2 - С.12-14.
67. Догадина, М.А. Агроэкологические аспекты применения осадка сточных вод в цветоводстве: автореф. дис. ...канд. с.-х. наук: 03.00.16/ Догадина Марина Анатольевна. – О.: 2004. – 24с.
68. Дорошкевич, С.Г. Агрохимические свойства аллювиальной дерновой почвы при использовании органо-минеральных удобрительных смесей на основе осадков сточных вод и цеолитов / С.Г. Дорошкевич, Л.Л. Убугунов// Агрохимия. - 2002. - № 4. - С. 5-10 .
69. Дрегуло, А.М. Оценка негативного воздействия на окружающую среду полигонов складирования осадков биологических сооружений./ А.М. Дрегуло, Н.Е. Панова // Экология и промышленность России. – 2012. - №8. – С.43-45
70. Дрозд, Г.Я. Утилизация осадков сточных вод в дорожном строительстве / Г.Я. Дрозд, Р.В. Бреус.// Вісник Автомобільно-дорожного інституту: Науково-виробничий збірник. - 2009. - № 1. - С. 186-193.
71. Дурихина Н. В. Биологическая активность дерново-подзолистой почвы при использовании осадков сточных вод: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.07, 06.01.04 / Дурихина Наталья Викторовна - М.,2005. – 95с.
72. Дурихина, Н. В. Утилизация городских стоков и улучшение агроэкологической ситуации в Московском регионе/ Н. В. Дурихина, Е.В. Курганова //Бюллетень ВИУА им. Д.Н. Прянишникова. - 2003. - № 117. – С.191-194.
73. Дурынина, Е.П. Агрохимический анализ почв, растений, удобрений / Е.П. Дурынина, В.С. Егоров. – М.: МГУ, 1998. - 113с.
74. Дышлюк, В.Э. Активность ионов кальция в осадках сточных вод / В.Э. Дышлюк, Л.А. Чаусова// Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. - №78. – Харків: ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», 2012. – 134 с.
75. Евилевич, А.З. Утилизация осадков сточных вод./ А.З. Евилевич, М.А. Евилевич. - Л.: Стройиздат, 1988. - 248с.
76. Егоров, В.С. Влияние удобрений на динамику содержания свинца в системе почва-растение на дерново-подзолистых почвах В. С. Егоров, Д. Д. Госсе // Проблемы агрохимии и экологии. - 2008. - № 4. - С. 34-38.

77. Еськов, А. И. Органические удобрения в земледелии России / А.И. Еськов // Дождевые черви и плодородие почв: материалы II Международной научной конференции. – Владимир, 2004. - С. 129-131.
78. Еськов, А.И. Агроэкологические аспекты производства и применения вермикомпостов / А.И. Еськов, В. А. Касатиков, И. В. Русакова // Дождевые черви и плодородие почв: материалы II Международной научной конференции. – Владимир, 2004. - С. 131-132.
79. Ефименко, А.В. Динамика агрохимических показателей пахотных земель / А.В. Ефименко, О.И. Просьянникова // Агрохимический Вестник. – 1999. - №4. - С.7-10
80. Жеребцова, Г. П. Наука озеленения: озеленение как важнейшая составляющая благоустройства городов и поселков / Г. П. Жеребцова // Жилищное и коммунальное хозяйство. - 2008. - № 4. - С. 25-31.
81. Завгородняя, Ю.А. Полициклические ароматические углеводороды в почвах национального парка «Лосиный остров»/ Ю.А. Завгородняя, Е.А. Бочарова// Сб. научн. труд. SWorld. Матер. между. науч.-практ. конф. «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2012». – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. - Вып 3. т. 34. - С.19-23.
82. Залесов, С.В. Эффективность внесения нетрадиционных удобрений при выращивании посадочного материала сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L. ) / С.В. Залесов, А.Г. Магасумова, Е.А. Фролова // Аграрный вестник Урала. - 2015. - №2 (132). - С.45-48
83. Захаренко, А.В. Использование органогенных бытовых и промышленных отходов в современном земледелии // Материалы международного симпозиума «экологические и технологические вопросы производства и использования органических и органоминеральных удобрений на основе осадков городских сточных вод и твердых бытовых отходов». - Владимир, 2004. - С. 3-5.
84. Захаров, Н.Г. Эффективность использования осадков сточных вод в качестве удобрения сельскохозяйственных культур в зернопропашном севообороте: автореф. дис. ... канд. с/х наук: 06.01.01; 03.00.16/ Захаров Николай Григорьевич. – Ульяновск, 2004. – 16с.
85. Зотов, Н.И. К вопросу об использовании осадков бытовых сточных вод в сельском хозяйстве/ Н.И. Зотов, С.Р. Суслов// Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць. – 2010. – №3 – С. 214–221.
86. Иванченко, Л.Е. Изменение морфологических и биохимических показателей сои при использовании осадков сточных вод в качестве удоб-

- рения / Л.Е. Иванченко, В.А. Кашина, Н.Н. Ковелев // Вестник ЧГПУ. Биологические науки и физика. – 2010. - №4.- С.338-348.
- 87.Илахун, А. Распределение  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  по фракциям органического вещества серо-коричневой почвы СУАР КНР и поглощение их растениями из водных растворов и разных почв в присутствии различных лигандов: автореф. дис.... канд. биол.наук: 03.00.27, 06.01.04/ Илахун Айкэбайэр - М., 2009. - 144с.
- 88.Калугина, О.В. Техногенное загрязнение сосновых лесов полициклическими ароматическими углеводородами/ О.В. Калугина, Е.Н. Тараненко, Т.А. Михайлова, О.В. Шергина //Сибирский лесной журнал.- 2015. - №4.- С.51-57.
- 89.Кармазинов, Ф.В. Технологический комплекс по обработке и утилизации осадков сточных вод на ЦСА Санкт-Петербурга/ Ф.В. Кармазинов, М.Д. Пробринский // ВСТ. – 2001. – № 8. – С. 2-7.
90. Касатиков, В.А. Агроэкологические основы применения осадков сточных вод в качестве удобрения: автореф. дис.... докт. с/х наук: 03.00.16 / Касатиков Виктор Александрович. - М., 1989. - 60с.
- 91.Касатиков, В.А. Влияние компостирования осадков сточных вод на их агроэкологические свойства/ В.А. Касатиков, Н.П. Шабардина// Известия ОГАУ. – 2008. – Т.2. - №18-1. – С.28-31.
- 92.Касатиков, В.А. Влияние последствий осадков городских сточных вод на агроэкологические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы/ В.А. Касатиков, Н.П. Шабардина// Перспективы и проблемы размещения отходов производства и потребления в агроэкосистемах. Материалы межд. науч.- практ. конф. – НГСХА., 2014. - С. 72-76.
- 93.Кидин В.В. Особенности питания и удобрения сельскохозяйственных культур: учебное пособие / В.В. Кидин. - М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2009. - 411с.
94. Кидин, В.В. Основы питания растений и применения удобрений. Часть 1: учебное пособие / В.В. Кидин. - М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2008. - 415с.
95. Клюев, Н.А. Эколого-аналитический контроль стойких органических загрязнителей в окружающей среде : курс лекций/ Н.А. Клюев,- М.: Джеймс, 2000. – 48с.
96. Князева, Т.П. Газоны / Т.П. Князева. - М: «Фитон+», 2001.- 112с.
97. Козлов, М.Н. Перспективы почвенной утилизации органического вещества и биогенных элементов, выделяемых на московских очистных сооружениях. / М.Н. Козлов [и др.]// Труды конференции «Инновации-2008» - М., 2008 - С.45.

98. Кононов, О.Д. Рекомендации по использованию активного ила и гидролизного лигнина в лесных питомниках / О.Д. Кононов, Т.Б. Лагутина. – Архангельск : [б. и.], 1995. – 23 с.
99. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды: энциклопедия «Экометрия»/ под ред. Л.К. Исаева. - СПб.: Эколого-аналитический информационный центр "Союз", 1998.- 896с.
100. Косачев, А.М. Экономическая эффективность лядвенца рогатого на фоне внесения осадков сточных вод/ А.М. Косачев //Кормопроизводство. – 2010. - №11. - С.12-17.
101. Кофман, В. Я. Как поступают в Европе с осадками очистных сооружений канализации (обзор зарубежных изданий) / В. Я. Кофман // ВСТ. - М., 2013. - № 4. - С. 18-23.
102. Ксенофонтов, Б.С. Утилизация осадков сточных вод путем компостирования с торфом./ Б.С. Ксенофонтов// Экология производства. – 2011. - №2. - С.40-44.
103. Куликова, А. Х. Воспроизводство плодородия почвы при использовании осадков сточных вод в качестве удобрения сидерата/ А.Х. Куликова, Н.Г. Захаров, С.В. Шайкин // Вестник Ульяновской ГСХА. - 2007. -№2 (5).- С.13-16.
104. Куликова, А.Х. Проблемы утилизации осадков сточных вод (ОСВ) в качестве удобрения сельскохозяйственных культур /А.Х. Куликова [и др.] // Вестник Ульяновской ГСХА. - 2007. - 1(4). - С. 8-18.
105. Курганова, Е.В. Комплексная оценка осадков сточных вод / Е.В. Курганова, О.А. Копейкина, Л.И. Гюнтер, С.Д. Беляева // Агрехимический вестник. -1999. -№3. - С.38-40.
106. Курганова, Е.В. Плодородие и продуктивность почв Московской области/ Е.В. Курганова. - М.: Изд-во МГУ, 2002. - 320с.
107. Курносова, О.В. Сравнительная характеристика методов обеззараживания от биологического поражения смазочно-охлаждающих жидкостей, сточных вод, шлама осадков сточных вод/ О.В. Курносова, О.А. Давыдова// Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. -2013. - №2-1. - С.86-88.
108. Кусакина, Н.А. Экологическая эффективность действия осадков сточных вод при возделывании рапса ярового [ Электронный ресурс]/ Н.А. Кусакина // Мир науки, культуры, образования. –2012.- №29. – Режим доступа: <http://www.uni-altai.ru/nir/scipub/mnko-mag/> - (Дата обращения 15.12.2016).

109. Кутукова Ю.Д. Состояние тяжелых металлов в почвах и накопление их растениями при внесении осадков сточных вод и мелиорантов: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.27. –М.:2001.-27с.
110. Кутукова, Ю.Д. Влияние мелиорантов на состояние тяжелых металлов в почвах и содержание их в растениях при использовании осадков сточных вод в качестве удобрения./ Ю.Д. Кутукова, И.О. Плеханова // *Агрохимия*.-2002.- № 12.- С. 68-74.
111. Кутьева Т.Ю. Биудобрения из отходов животноводства (бамил, омуг, экуд, пудрет): влияние на продуктивность растений и свойства почв: дис. ... кандидата биологических наук: 06.01.04./ Кутьева Татьяна Юрьевна.- Москва, 2002.- 187 с.
112. Ларионов, Г.А. Миграция тяжелых металлов в биологической цепи «Почва-растение-животное»/ Г.А. Ларионов, Е.П. Царева, Н.В. Щипцова // *Аграрный вестник Урала*. – 2009. - №6. - С.49-50.
113. Лодыгин, Е.Д. Полициклические ароматические углеводороды в почвах Васильевского острова (Санкт-Петербург)/ Е.Д. Лодыгин, С.Н. Чурков, В.А. Безносиков, Д.Н. Габов // *Почвоведение*. – 2008. - №12. – С.1494-1500.
114. Лунев М.И. Пестициды и охрана агрофитоценозов. - М.: Колос, 1992. - 270 с.
115. Лучицкая, О.А. Воздействие осадков сточных вод на почву и растения./ О.А. Лучицкая, С.М. Севастьянов. // *Агрохимия*. – 2007. - №9. -С.80-84.
116. Маврина, Н. Ф. Экологическая оценка осадков сточных вод и обоснование возможности их использования в лесных питомниках: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Маврина Нелля Федоровна. – М., 2001. – 21с.
117. Майстренко, В. Н. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей/ В.Н. Майстренко, Н.А. Клюев - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. - 323 с.
118. Максаков, В.И. Экономическая эффективность использования осадков сточных вод/ В.И. Максаков// *Агрохимический вестник*. – 2000. - № 3.- С. 27-28.
119. Маркин, В.В. Особенности основных методов обработки и утилизации осадков бытовых сточных вод./ В.В. Маркин // *Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури* : зб. наук. праць. – 2011. – №5. – С. 3-9.
120. Маслов, И. Л. Применение отходов целлюлозно-бумажной промышленности вместо органических удобрений / И. Л. Маслов, Е.

- Н. Истомина // Интенсивная технология производства картофеля: межвузовский сборник научных трудов – Пермь: Пермский СХИ им. Д. Н. Прянишникова, 1990. - С. 52-63.
121. Меленцова, С. В. Мониторинг микроэлементов в пахотных почвах Белгородской области / С. В. Меленцова, С. В. Лукин // Достижения науки и техники АПК. - 2006. - №10. - С. 29-30.
122. Мерзлая, Г.Е. Агроэкологические аспекты применения удобрений на основе осадков сточных вод / Г.Е. Мерзлая, Р.А. Афанасьев, В.М. Веселов //IV Международная экологическая конференция а тему: « Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства» Часть 1. - Краснодар:КубГау., 2015 - С.27-32.
123. Мерзлая, Г.Е. Действие и последствие осадков сточных вод в агросистемах / Г.Е. Мерзлая//Экологические и технологические вопросы производства и использования органических и органоминеральных удобрений на основе осадков городских сточных вод и твердых бытовых отходов. Мат. межд. симп. – М.: РАСХН-ВНИПТИОУ, 2004. - С.52-54.
124. Мерзлая, Г.Е., Эффективность использования сточных вод на сенокосах и пастбищах: автореф. дис. ... канд. с/х наук/ Мерзлая Генриетта Егоровна – М., 1964.-16с.
125. Мерзлая, Г.Е. Эффективность осадков сточных вод в агроэко-системах регионе/ Г.Е. Мерзлая [и др.]// Бюллетень ВИУА им. Д.Н. Прянишникова. - 2003. - № 117. - С. 209-211.
126. Минеев, В.Г. Распределение кадмия и свинца в профиле дерново-подзолистой почвы при длительном удобрении ее осадками сточных вод./ В.Г. Минеев, Е.Ю. Анциферова, Т.Н. Большева, В.А. Касатиков. // Агрохимия. – 2003. - №1. - С. 45-49.
127. Мосина, Л.В. Микробиологическая диагностика состояния системы почва-растение на сенокосах при внесении компостов на основе осадков сточных вод./ Л.В. Мосина, Г.Е. Мерзлая //Известия ТСХА. – 2010. -№ 1. -С.18-27.
128. Немцев, С.Н. Агрофизическое состояние чернозема выщелоченного в зависимости от последствия органических и нетрадиционных удобрений/ С.Н. Немцев, С.Н. Никитин, Г.В. Сайдяшева// Вестник УГСХА. – 2011. - №1. - С.18-22.
129. Новиков, Г.В. Санитарная охрана окружающей среды современного города/ Г.В. Новиков, Дударев А.Я. - Ленинград: «Медицина», 1978. - 216с.

130. Обработка, обеззараживание и утилизация осадков сточных вод: учеб. пособие./ А.М. Исаева [и др.].- Пенза: ПГУАС, 2012. - 147с.
131. Овцов, Л.П. Технологический регламент использования осадков сточных вод в качестве удобрения в Алтайском крае/ Л.П. Овцов, Р.П. Воробьёва, А.С. Давыдов, А.В. Тиньгаев - Барнаул: Алт. ф-ал ФГУП НИИССВ «Прогресс», 2002.-32с.
132. Овцов, Л.П. Экологически безопасные технологии сельскохозяйственного использования животноводческих стоков и сточных вод/ Л.П. Овцов. - М.: Изд-во МГУ, 2002.-614с.
133. Овчаренко, М.М. Приемы детоксикации почв, загрязненных тяжелыми металлами/ М.М. Овчаренко, И.А. Шильников, Н.А. Комарова// Агрехимический вестник. - 2005. - №3.- С.2-4.
134. Овчаренко, М.М. Тяжелые металлы в системе почва-растение-удобрение/ М.М. Овчаренко.- М.: Пролетарский светоч, 1997. – 290 с.
135. Орлов, Д.С. Органическое вещество почв Российской Федерации./ Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова, Н.И. Суханова. – М.: Наука, 1996. - 258 с.
136. Орлов, Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Н.И. Суханова. – М.: Высшая школа, 2005. — 558 с:
137. Основные направления производства органо-минеральных удобрений на основе осадков сточных вод./ А.А. Атемасов, И.И. Мартынова, С.И. Пшеничная - М.: Институт экономики ЖКХ АКХ им. К.Д.Памфилова, 1990. - 80 с.
138. Отаббонг, Э. Влияние городских осадков сточных вод на доступность биогенных элементов в вегетационном эксперименте / Э. Оттабонг, О.С. Якименко, Л.К. Садовникова // Агрехимия. - 2001. - №2. - С. 55-60.
139. Отчет о состоянии почвенного покрова в г. Москва ГПБУ «Мосэкомониторинг» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.mosecom.ru/soil/zagryaz/> . – Загрязнение почвенного покрова город Москвы бенз(а)пиреном и нефтепродуктами - (Дата обращения 15.12.2016).
140. Пахненко Е.П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения / Е. П. Пахненко. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 311 с.
141. Пахненко, Е. Отходы как удобрение. Осадок сточных вод Москвы используется в «зеленом строительстве» и земледелии/ Е. Пахненко, Е. Гунина, Ю. Николаев, В. Грачев. //ЖКХ: технологии и оборудование. – 2009. - №6.-С.42-44.

142. Пахненко, Е.П. Агроэкологическая оценка осадков сточных вод Южного Бутово для использования в агрикультуре/ Е.П. Пахненко, Е.А. Гунина, Ю.А. Николаев //Современные проблемы загрязнения почв: III Международная научная конференция.- М.:МГУ, 2010. - С. 411-414.
143. Пахненко, Е.П. Критерии безопасного использования осадков сточных вод на примере новой и традиционной технологии их переработки. / Е.П. Пахненко, Е.А. Гунина, Ю.А. Николаев, В.А. Грачев// Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. - 2012. - № 4. - С. 36-41.
144. Перспективная ресурсосберегающая технология выращивания рапса: метод. Рекомендации. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 2008. – 60с.
145. Пескарев, А.А. Влияние органических удобрений на основе ОСВ на содержание тяжелых металлов в растительной продукции/ А.А. Пескарев // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. - 2010. - №10. – С.22-27.
146. Пилюгина, Л.Г. Влияние компостов на основе гидролизного лигнина на агрохимические свойства почв и рост сеянцев сосны и ели/ Л.Г. Пилюгина // Проблемы комплексного использования древесного сырья: сб. науч. ст. – Петрозаводск: Ин-т леса КарНЦ РАН, 1981. – С. 153–167.
147. Плеханова, И.О. Влияние осадка сточных вод и мелиорантов на фракционный состав тяжелых металлов в супесчаных дерново-подзолистых почвах./ И.О. Плеханова, О.В. Кленова, Ю.Д. Кутукова // Почвоведение.- 2001.- №4.- С. 496-503.
148. Плеханова, И.О. Мониторинг содержания тяжелых металлов в агродерново-подзолистых супесчаных почвах Восточного Подмосковья, загрязненных в результате применения осадков сточных вод / И.О. Плеханова, В.А. Бамбушева // Экологические проблемы агрохимии. – 2009. - №3. –С.27-34.
149. Плеханова, И.О. Самоочищение агродерново-подзолистых супесчаных почв при полиэлементном загрязнении в результате применения осадков сточных вод/ И.О. Плеханова //Почвоведение. - 2009. - №6. - С.719-725.
150. Пляскина, О. В. Особенности загрязнения тяжелыми металлами городских почв: автореф. дис. ...канд. биол. наук: 03.00.27 / Пляскина Ольга Владиславовна. – М., 2007. – 27с.

151. Покровская, С.Ф. Использование осадка городских сточных вод в сельском хозяйстве/ С.Ф. Покровская, В.А. Касатиков.- М.: ВНИПТИЭИ агропром, 1987.-58 с.
152. Полухин, В.Н. Удобрение из осадков шерстомойных стоков/ В.Н. Полухин, Н.А. Большова// Агрохимический вестник. - 2002. -№3. – С.28-29.
153. Практикум по агрохимии./ Под редакцией В.Г. Минеева - М.: МГУ, 2001. - 689 с.
154. Прокофьева, Т.В. Почвы Москвы (почвы в городской среде, их особенности и экологическое назначение)/ Т.В. Прокофьева, М.Н. Строганова. - М.: ГЕОС, 2004. -60 с.
155. Пушкарева, Н.Г. Влияние химвелиорантов на поступление стронция в растения. /Н.Г. Пушкарева, Р.Д. Маковский //Агрохимический вестник. -2008. - № 3. - С. 13-15.
156. Пчелкин, В.У. Почвенный калий и калийные удобрения/В.У. Пчелкин. - М.: Колос, 1966. - 336 с.
157. Пындак, В.И. Технические решения экологических проблем на очистных сооружениях с получением высокоэффективных удобрений/ В.И. Пындак, Е.Ф. Помогаев // Фундаментальные исследования. – 2011. - №8. - С.660-662.
158. Романенко, Н.А. Использование животноводческих стоков, сточных вод и их осадков для орошения и удобрения сельскохозяйственных культур/ Н.А. Романенко, Р.П. Воробьева. - М.: «Прогресс». 1995. - 271с.
159. Романов, Е. М. Утилизация органических отходов при выращивании дернины для газонов / Е.М. Романов, Д.И. Мухортов, А.Д. Средин // Вестник МарМарГТУ. Серия "Лес. Экология. Природопользование". - 2010. - № 1. - С. 69-74.
160. Романов, Е.М. Лесные культуры. Производство и применение нетрадиционных органических удобрений в лесных питомниках: учеб. пособие / Е.М. Романов, Т.В. Нуреева, Д.И. Мухортов. – ЙошкарОла: МарГТУ, 2001. –156 с.
161. Романов, Е.М. Утилизация осадков сточных вод г. Пензы в лесных и декоративных питомниках / Е.М. Романов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1997. – 44 с.
162. Рэуце, К., Борьба с загрязнением почвы./ К. Рэуце, С. Кырстя: пер. с румын. К. И. Станькова: под ред. В.К. Штефана. - М. : ВО Агропроиздат, 1986. - 221с.

163. Саидаминов, И.А. Биотремическое обеззараживание осадков сточных вод / И.А. Саидаминов, К.И. Усмонов // Водоснабжение и санитарная техника. - 1993. - №10. - С. 29 - 32.
164. Седых, Э.М. Методология анализа осадков городских сточных вод на основе атомно-спектральных методов при производственном контроле и размещении в окружающей среде / Э.М. Седых, В.Е. Аджиенко, Д.А. Данилович, Г.Е. Мерзлая, Р.А. Афанасьев // Всероссийская конф. «Химический анализ веществ и материалов».- М.,2000.- С.343-345.
165. Селивановская, С. Ю. Микробная биомасса и биологическая активность серых лесных почв при внесении осадков городских сточных вод / Селивановская С.Ю., Латыпова В.З., Киямова С.Н., Алимова Ф.К // Почвоведение. - 2001. - №2. - С. 227-233.
166. Серова, Ю.М. Содержание остаточных количеств пестицидов в почве садов вишни в регионе Краснодарского края/ Ю.М. Серова// Плодоводство и ягодоводство России.- 2012.- №30.- С.359-362.
167. Сидоренко, О.Д. Биологические технологии утилизации отходов животноводства/ О.Д. Сидоренко, Е.В. Черданцев. – М.: Изд-во МСХА 2001. – 74с.
168. Сидоренко, О.Д. Проблемы эффективного использования отходов сельского хозяйства / О.Д. Сидоренко//Агрохимия. – 2009.-№2. - С.87-92.
169. Симонов, А.Д. Сжигание осадков сточных вод коммунального хозяйства в псевдосжиженном слое катализатора/ А.Д. Симонов, Н.А. Языков, А.В. Трачук, В.А. Яковлев//Альтернативная энергетика и экология. – 2010. - №6. - С.61-66.
170. Сискевич, Ю.И. Использование рапса ярового в качестве фитомелиоранта/ Ю.И. Сискевич, Г.Н. Никонова //АргоXXI. – 2008. - №4. - С.67-69.
171. Соколова, Т.А. Кинетика вытеснения легкообменного калия кальцием из дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава/ Т.А. Соколова, В.В. Носов, В.В. Прокошев //Почвоведение. - 1999. -№5. — С. 575-585.
172. Справочная книга по производству и применению органических удобрений /под ред. А.И. Еськова, М.Н. Новикова, Г.Е. Мерзлой [и др.]– Владимир: РАСХН, ВНИПТИОУ, 2001. – 495с.
173. Степанова, Л. П. Влияние нетрадиционных удобрительных форм на биогенность и биологическую активность почвы/ Степанова Л. П. [и др.]// Вестник ОрелГАУ. 2012. №4 С.7-13.

174. Стратегия использования осадков сточных вод и компостов на их основе в агрикультуре/ под ред. Н.З. Милащенко – М.:Агроконсалт, 2002.-140с.
175. Строганова, М.Н. Городские почвы: генезис, классификация, функции: Почва, город, экология. / М.Н. Строганова, А.Д. Мягкова: под ред. Г.В. Добровольского.- М., 1997.- С.15-88.
176. Строганова, М. Н. Городские почвы: опыт изучения и систематики/ М.Н. Строганова, М.Г. Агаркова // Почвоведение. — 1992. — № 7. — С. 16–24.
177. Стучков В.В. Влияние осадков сточных вод на свойства лугово-черноземных почв, урожайность и качество продукции кормовых культур в условиях Алтайского края: автореф. дис. ... канд. с-х наук. М.: Россельхозакадемия. 1996. - 17с.
178. Таланов, Г.А. Остатки пестицидов в растениях и продукции животноводства/ Г.А. Таланов. - М., 1977. - 55 с.
179. Тарасов, С.И. Фитореабилитация почв, загрязненных бесподстильным навозом, пометом/ С.И. Тарасов. - Владимир: ВНИПТИОУ, 2003.- 21с.
180. Таран, Т.В. Продуктивность однолетних трав на фоне действия и последействия осадка городских сточных вод/ Т.В. Таран, Н.М. Майдебуря// Вестник АПК Верхневолжья. – 2009.- № 1. -С. 3-6.
181. Телитченко, М.М. Введение в проблемы биохимической экологии/ М.М. Телитченко, С.А. Остроумов. — М.: Наука, 1990. — С. 214—217.
182. Типовой технологический регламент использования осадков сточных вод в качестве органического удобрения. - М: Минсельхоз РФ, 2000.-20с.
183. Титова, В.И. Изучение фосфорных удобрений и фосфатного состояния почв / В.И. Титова, Л.Д. Варламова, Е.В. Дабахова, А.В. Бахарев// Агрехимический вестник. – 2011. – №2. – с.3-6.
184. Титова, В.И. Использование осадка промышленно-бытовых сточных вод в почвогрунтах для зеленого строительства /В.И. Титова, Л.Б. Варламова. //Агрехимия. – 2006.- №2. - С.44-50.
185. Тишков, Н.М. Технологические особенности при возделывании льна масличного / Н.М. Тишков, А.С Бушнева// Эффективное животноводство. - 2012 - №3- С.24-27

186. Толстопятова. Н.Г. Влияние активного ила на питание растений, урожайность льна-долгунца и качество льнопродукции/ Н.Г. Толстопятова// Агрехимия.- 2001.-№5.- С.38-40.
187. Требования к качеству сточных вод и их осадков, используемых для орошения и удобрения. – М.: Минсельхоз РФ, 1995. –46с.
188. Туровский, И.С. Осадки сточных вод. Обезвоживание и обеззараживание/И.С. Туровский. -М.: Дели принт, 2008. – 375с.
189. Убугунов, Л. Л. Повышение агрохимической эффективности осадков городских сточных вод / Л. Л. Убугунов, А. Б. Бадмаев, С. Г. Дорошкевич.- Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2005. - 176 с.
190. Убугунов, Л.Л. Эколого-агрохимическая эффективность осадков городских сточных вод и цеолитсодержащих туфов/ Л.Л. Убугунов, С.Г. Дорошкевич, Ц.Д. Мангатаев - Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2001. - 110с.
191. Умаров М. М. Ассоциативная азотфиксация. — Издательство МГУ Москва, 1986. —136с.
192. Умаров, М. М. Микробиологическая трансформация азота в почве/ М.М. Умаров, А.В. Кураков, А.Л. Степанов. — ГЕОС Москва, 2007. — 138с.
193. Ушаков Д.И. Научное обоснование гигиенических принципов и критериев безопасного использования осадков сточных вод : автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.07//Ушаков Дмитрий Игоревич – М., 2009.- 25с.
194. Федоркова, М.В. Биологическая подвижность радиоцезия в агроценозе на дерново-подзолистой песчаной почве: диссертация ... канд. биол.наук : 06.01.04, 03.01.01/ Федоркова Мария Васильевна – Москва, 2013- 150с.
195. Федоров, Л.А. Пестициды-токсический удар по биосфере и человеку/ Л.А. Федоров, А,В. Яблоков.- М.:Наука, 1999.- 462с.
196. Федотов, В. А. Рапс России / В. А. Федотов, С. В. Гончаров, В. П. Савенков. – М.: Агролига России, 2008. – 328с.
197. Филиппова, А.В. О возможности использования осадков бытовых сточных вод для производства безопасной сельскохозяйственной продукции/ А.В. Филиппова, А.А.Мелько//Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2009. – № 4. – С. 59–62.
198. Филиппова, А.В. Опыт применения биоэлементов осадков сточных вод для повышения продуктивности растений / А.В. Филиппова,

- А.А. Мелько // Вестник Оренбургского государственного университета. - 2006. - № 12. - С. 281-283.
199. Филиппова, А.В. Экологическая оптимизация биотулизации и использования нетоксичных отходов в агроэкосистемах Южного Урала: автореф. дис. ... докт. биол. наук : 03.02.08/ Филиппова Ася Вячеславовна – Оренберг, 2010 - 48с.
200. Хакимов, Ф.И. Компостирование обработанных аминокислотными реагентами осадков коммунальных сточных вод/ Ф.И. Хакимов, С.М. Севастьянов // Агрохимия. - 2004. - №3.- С.41-47.
201. Харкевич, Л.П. Урожай и качество сена многолетних трав в зависимости от применения осадков сточных вод и известкования / Л.П. Харкевич // Проблемы агрохимии и экологии. – 2011. - №2. –С.20-22.
202. Хенце, М. Очистка сточных вод : пер. с англ. / М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Янсен, Э. Арван. - М.: Мир, 2004. - 480с.
203. Хомяков Д. М. Осадки сточных вод – ценное сырье? // ЖКХ: технологии и оборудование. — 2009. — № 5. — С. 43–45.
204. Хомяков, Д.М. Некоторые проблемы использования осадков сточных вод на удобрение/ Д.М. Хомяков // Земледелие. - 1991. - №8. - С. 62-65.
205. Храменков, С.В. Использование почвогрунтов с внесением осадков сооружений очистки сточных вод и водоподготовки для выращивания технических культур/ С.В. Храменков [и др. ]// Водоснабжение и санитарная техника.- 2012. - № 10.- С. 72-77.
206. Цуркан, М.А. Городские отходы и способы их утилизации./ М.А. Цуркан, О.Д. Архип, А.П. Руссу - Кишинев: Штиница, 1989. - 136 с.
207. Чеботарев, Н.Т. Осадки сточных вод на удобрение / Н.Т. Чеботарев/ Агрохимический вестник. – 1999. - № 5. - С.39-40.
208. Чекаев, Н.П. Изменение свойств чернозема выщелоченного под действием компостов из осадков сточных вод/ Н.П. Чекаев // Нива Поволжья –2010.- №1. – С.31-34.
209. Щеголькова, Н.М. Сезонная динамика качества осадка сточных вод мегаполиса/ Н.М.Щеголькова, В.А. Грачев, П.С. Мартынова //Фундаментальные достижения в почвоведении, экологии, сельском хозяйстве на пути к инновациям: I Всерос. науч.- практ. Конф. с межд. уч.: тезисы докладов – М.:МАКС Пресс, 2008. – С.57-58.
210. Экологически безопасные методы использования отходов/ под редакцией Г.Е. Мерзлой, Р.П. Воробьевой. – Барнаул: изд-во Алт. Унта, 2000.- 554с.

211. Яковлев, С.В. Водоотведение и очистка сточных вод / С.В. Яковлев, Ю.В. Воронов - М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. – 704 с.
212. U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). 2011. Problem Formulation for Human Health Risk Assessments of Pathogens in Land-applied Biosolids. National Center for Environmental Assessment, Cincinnati, OH. EPA/600/R-08/035F.
213. Agapkina, G.I. 137Cs in the Liquid Phase of Soils under Natural Biocenoses/ G.I. Agapkina// Eurasian Soil Science. – 2002. - №9(35) - P.996-1002
214. Almeida, M.C. At-source domestic wastewater quality/ M.C. Almeida, P. Butter, E. Friedler// Urban Water.-2000.- № 1 - P.49-55.
215. Andersson, T.H. Ratio of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils/ T.H. Andersson, K.H. Domsch // Soil Biol Biochem. – 1989. -№ 21. – P. 471-479.
216. Andreasen, K. Growth of *Microthrix parvicella* in nutrient removal activated sludge plants: studies of in situ physiology/ K. Andreasen, P.H. Nielsen // Water Res. - 2000. - №34 – P.1559–1569.
217. Angin, İ. Effects of sewage sludge application on some physical and chemical properties of a soil affected by wind erosion/ İ. Angin, A.V. Yağanoğlu// Journal of Agricultural Science Technology. - 2011. - №13. – P. 757-768.
218. Annex to Final Implementation Report for the Sewage Sludge Directive 86/278/EEC No.ENV.G.4/FRA/2007/0066-2012 y.-29p.
219. Aubain, P. 2002. Disposal and recycling routes for sewage sludge. Synthesis report 22 February 2002 [Electronic resource] / P. Aubain, , A. Gazzo, J. le Moux, E. Mugnier // Arthur Andersen, EC DG Environment B/2.–Access.-  
<http://www.coprocem.com/documents/Disposal%20and%20Recycling%20Routes%20for%20sewage%20sludge.pdf> - (Date of the application 15.12.2016)
220. Blaszczyk, M.K. Mikroorganizmy w ochronie srodowiska / M.K. Blaszczyk. – Warszawa: PWN, 2007. - 195p.
221. Boyle, M. Nitrogen transformation in soils previously amended with sewage sludge/ M. Boyle, E.A. Paul // Am J Soil Sci Soc. - 1989. - № 53. - P.740-744.
222. Burt, P. Microbial populations and sludge characteristics in thermophilic aerobic sewage sludge digestion/ P. Burt, S.F. Morgan, B.N. Dancer,

- J.C. Fry // *Applied microbiology and Biotechnology*. - 1990. - №33. – P. 725-730.
223. Chander, K. Microbial biomass dynamics following addition of metal-enriched sewage sludges to a sandy loam / K. Chander, P.C. Brookes, S.A Harding // *Soil Biology & Biochemistry* – 1995.- №27.- P.1409-1421.
224. Clapp, C.E. Sewage sludge organic matter and soil properties / C.E. Clapp, S.A. Stark, D.E. Clay, W.E. Larson // *The role of organic matter in modern agriculture. Ser. Developments in Plant and Soil Sciences* - 1986. - №25.- P. 209-253.
225. Copolla, S. Studio dei procedimenti di trasformazione dei fanghi risultanti dalla depurazione biologica delle acque reflue in vista del loro impiego agricolo. Compostaggio di fanghi grezzi in miscela con arti materiali organici di scarto./ S. Copolla [et al.]// *L'Agricoltura Italiana*. - 1983. - № 5-6, P. 39-78.
226. Da Silva, S.M.C.P. Main contaminants in sludge. Sludge Treatment and Disposal/ S.M.C.P. da Silva, F. Fernandes, V.T. Soccol, D.M Morita// *Biol.Wastewater Treatment Series*. - 2007. - Vol.6. – P. 31-47.
227. De Bertoldi M., Vallini G&Pera A. The biology of composting/ M. de Bertoldi, G Vallini, A. Pera // *A review Waste management Residuse*. - 1983. - №1. – P. 157-176
228. Donatello, S. Recycling and recovery routes for incinerated sewage sludge ash/ S. Donatello, C.R. Cheeseman // *Waste Management*. – 2013. - № 33 (11). – P.2328–2340.
229. Dumontet, S. Pathogen reduction in sewage sludge by composting and other biological treatment / S. Dumontet, H. Dinel, S.B. Baloda // *Biological Agriculture and Horticulture*.- 1999.- №16 (4).- P.409-430.
230. Feachem, R.G. Sanitation and Diseases/ R.G. Feachem, D.J. Bradley, H. Garelick, D.D. Mara // *Health aspects of excreta and wastewater management*. - Chichester, UK: John Wiley and Sons, 1983. – 534p.
231. Final Implementation Report for the Sewage Sludge Directive 86/278/EEC No.ENV.G.4/FRA/2007/0066-2012 y.-48p.
232. Giordana, P. M.Effects of municipal wastes on crop yields and uptake of heavy metals/ P. M. Giordana [et al.] // *J. Environ. Qual*. – 1975. - № 4.- P.394-399.
233. Global atlas of excreta, wastewater sludge and biosolids management: moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource/ Eds: R.J. Le Blanc, P. Matthews, R.P. Richard . - United Nations Humans Settlements Programme (UN-HABITAT), 2008. - 612 p

234. Goyal, P. *Saraca indica* leaf powder for decontamination of Pb: removal, recovery, adsorbent characterization and equilibrium modeling / P. Goyal, P. Sharma, S. Srivastava, M.M. Srivastava, //Int. J. Environ. Sci. Tech. – 2008. - № 5 (1). - P. 27-34.
235. Grigatti, M. Evolution of organic matter from sewage sludge and garden trimming during composting/ M. Grigatti, C. Ciavatta, C. Gessa // Bioresource Technology. - 91. -2004. – P. 163-169.
236. Guidi, G. Effects of sewage sludge on the physical and chemical properties of soil / G. Guidi, J.E. Hall // Process and Use sewage sludge. Proc. 3 Int.Sump., Brighton. Sept. 27-30, 1983. - Dordrecht e.a., 1984.- p.295-305.
237. Hamer, G. Fundamental aspects of waste sewage sludge treatment: Microbial solids, biodegradation in an aerobic thermophilic semi-continuous system/ G. Hamer, C.A. Mason // Bioprocess Engineering 1987. - № 2. – P. 69-77.
238. Hsieh, V. Modelling sewage sludge decomposition in soil: 1. Organic carbon transformation / V. Hsieh, L. Douglas, H. Motto // J. Environ. Qual. - 1981. - № 10. - P. 54-58.
239. Hussein, A.H.A. Impact of sewage sludge as organic manure on some soil properties, grows, yield and nutrient contents of cucumber crop/ A.H.A. Hussein // J. of Applied Sciences. – 2009. -№ 9(8) - P.1401-1411.
240. Jedrczak, A.A. Biologiczne przetwarzanie odpadów/ A.A. Jedrczak. - Warszawa: PWN, 2007 - 456p.
241. Jezierska-Tys, S. Impact of dairy sewage sludge on enzymatic activity and inorganic nitrogen concentrations in the soils/ S. Jezierska-Tys, M. Frąć // Int. Agrophysics.- 2009. – №23. – P.31-37.
242. Johansson, M. Microbiological and chemical changes in two arable soil after long-term sludge amendments / M. Johansson, B. Stenberg, L. Torstensson // Biol. Fertil. Soils. - 1999. – №30.- P.160-167.
243. Kandeler, E. Influence of heavy metals on the functional diversity of soil microbial communities / E. Kandeler, C. Kampichler, O. Horak // Biol Fertil Soil. – 1996. -№ 23. – P. 299-306.
244. Khan, S.U. Pesticides in the soil environment/ S.U. Khan. - Amsterdam: Elsevier, 1980. - 240 p.
245. Klärschlamm – Statistik- Deutsche Klärschlammberichte an die Europäische Kommission gem. RL 86/278 – 2012y[Electronic resource] - Access. - <http://www.bmub.bund.de/themen/wasser-abfall->

boden/abfallwirtschaft/statistiken/klaerschlam/ (Date of the application 15.12.2016)

246. Kouloumbos, V.N. Impact of sewage sludge conditioning and dewatering on the fate of nonylphenol in sludge-amended soils/ V.N. Kouloumbos, A. Schaffer, P.F.-X. Corvini // *Water research*. – 2008. - №42. – P.3941-3951.
247. Kristensen, H.L. Effects of soil structure disturbance on mineralization of organic soil nitrogen/ H.L. Kristensen, G.W. McCarty, J.J. Meisinger // *Soil Sci Soc Am J*. – 2000. - № 64 (1). – P.371-378.
248. Kurakov, A. V. Microscopic fungi producing nitrous oxide in nutrient media and in sterile soil / A. V. Kurakov, O. A. Pakhnenko, N. V. Kostina, M. M. Umarov // *Eurasian Soil Science*. — 1997. — Vol. 30, no. 12. — P. 1344–1349.
249. Laternus, F. Organic contaminants from sewage sludge applied to agricultural soils/ F. Laternus, K. von Arnold, C. Grøn. // *Environ. Sci. Pollut. Res.* -2007. - №14. – P. 53–60.
250. Märtensson, A.M. Influence of various soil amendments on nitrogen-fixing soil microorganisms in a long-term field experiment, with special reference to sewage sludge/ A.M. Märtensson, E. Witter // *Soil Biology & Biochemistry*. - 1990.– №22. – P. 977–982.
251. McKenzie, R. M. The manganese oxides in soils, in: *Geology and Geochemistry of Manganese*/ R. M. McKenzie, eds.: I. M. Varensov, G. Grasselly. – Budapest: Akademiai Kiado, 1980. - 259 p.
252. Method 8310. Polynuclear Aromatic Hydrocarbons, part of Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods. – EPA US, 1986. – 13c.
253. Miller, R. W. Alfalfa growth and absorption of cadmium and zinc from soils amended with sewage sludge/ R. W. Miller, M. L. Al-Khazraji, D. R. Sisson, D. T Gardiner // *Agri. Eco. Environ.* – 1995. -№ 53. - P.179-184.
254. Mino, T. Metabolisms of different bacterial populations in enhanced biological phosphate removal process/ T. Mino, H. Satoh, T. Matsuo // *Wat. Sci. Tech.* – 1994. - № 29 (7). – P. 67-70.
255. O'Connor, G.A. A modified risk assessment to establish molybdenum standards for land application of biosolids/ G.A. O'Connor [ et al.] // *J. Environ. Qual.* -2001. - № 30. – P.1490–1507.
256. Ottman, M. J. Sewage Sludge Effects on Soil Properties, Nitrogen Availability, and Yield at Marana / M. J. Ottman, I. L. Pepper, J. F. Artiola,

- B. B. Taylor // Cotton: A College of Agriculture Report . – 1989. –series P-81 (1990) – P. 175-180.
257. Pakhnenko, O. A. Production and reduction of nitrous oxide by microscopic soil fungi / O. A. Pakhnenko, A. V. Kurakov, N. V. Kostina, M. M. Umarov // Eurasian Soil Science. — 1999. — Vol. 32, no. 2. — P. 209–214.
258. Pijuan, J. Evaluating the impact of sewage sludge application on agricultural soils/ J. Pijuan, A. Valls, A. Passuello, M. Schuhmacher // 15th Congreso español sobre tecnologías y lógica fuzzy – ESTYLF, 2010. - P. 369-374.
259. Plachál, D. The polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations in soils in the Region of Valasske Mezirici, the Czech Republic / D. Plachál, H. Raclavská, D. Matýsek, M.H. Rummeli// Geochemical Transactions. - 2009. - 10:12 doi:10.1186/1467-4866- P. 10-12.
260. Putham, S. Thomas utilization of sewage sludges / S. Putham, C. Houck, W. Gallier// Civ. Tnd. (USA). - 1989. - № 3. – P. 60-62.
261. Renner R (2000a) Sewage sludge, Pros & Cons. EST – Environ Sci & Technol 34 , I.19
262. Rosenani, A.B. Characterization of Malaysian sewage sludge and nitrogen mineralization in three soils treated with sewage sludge/ A.B. Rosenani, D.R. Kala, C.I. Fauziah // SuperSoil 2004: 3rd Australian New Zealand Soils Conference. - Australia, University of Sydney,2004. - Published on CDRom. Access.- [www.regional.org.au/au/asssi/](http://www.regional.org.au/au/asssi/) - (Date of the application 15.12.2016)
263. Sabey, B.R. Land Application of Sewage Sludge: I. Effect on Growth and Chemical Composition of Plants/ B.R. Sabey, W.E. Hart // J. Environ. Qual. – 1974 - №4 - P.252-256/
264. Saviozzi, A. Long-term effects of farmyard manure and sewage sludge on some soil biochemical characteristics/ A. Saviozzi, A. Biasci, R. Riffaldi, R. Levi-Minzi // Biol. Fertil. Soils. - 1999. - № 30. – P.100-106.
265. Sepulvado, J.G. Occurance and Fate of Perfluorochemicals in Soil Following the land application of municipal biosolids/ J.G. Sepulvado, A.C. Blaine, L. S. Hundal, C.P. Higgins // Enviromental science& technology. - 2011. – №45 (19). – P. 8106-8112.
266. Sims, J.L. The distribution of micronutrient cations in soil under conditions of varying redox potential and pH/ J.L. Sims, Jr. W.H. Patrick //Soil Sci. Soc. Am. J. - 1978. - №42. – P. 258-262.
267. Solmaz, S. Thermische Entsorgung von Klärsohlämmen/ S. Solmaz // Korrespond. Abwasser. – 1998. –№ 10(45) – P. 1886-1888, 1890-1899.

268. Stamatiadis, S. Field and laboratory evaluation of soil quality changes resulting from injection of liquid sewage sludge/ S. Stamatiadis, J.W. Doran, T. Kettler // *Applied Soil Ecology*. - №12.- P. 263-272
269. Strauch, D. Survival of pathogenic micro-organisms and parasites in excreta, manure and sewage sludge/ *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.* – 1991. - № 10 (3). –P. 813-846.
270. Suhadolc, M. Single application of sewage sludge--impact on the quality of an alluvial agricultural soil/ M. Suhadolc [ et al.] // *Chemosphere*. - 2010 № 81. – P. 1536–1543.
271. Trump, J.G. Disinfection of sewage wastewater and sludge by electron treatment/ J.G. Trump, E.W. Merrill, K.A. Wright // *Radiation Physics and Chemistry*. -1984. -№ 24 (1). – P. 55-66.
272. Viau, E. Toward a Consensus View on the Infectious Risks Associated with Land Application of Sewage Sludge/ E. Viau, K. Bibby, T. Paez-Rubio, J. Peccia // *Environ. Sci. Technol.* – 2011 - №45-13 – P. 5459-5469.
273. Vink, A.P.A. Landscape ecology and land use. / A.P.A. Vink. – London and New York; Longman, 1983. - 264 p.
274. Weniger, S. Komposteinsatz in Getreidefruchtfolgen/ S. Weniger, T.Engels // *Getreide magazin*. - 1996. - № 3. – P. 14–15.
275. Witter, E. The potential role of sewage sludge and composting in a nitrogen recycling strategy for agriculture/ E. Witter, J.M. Lopez-Real // *Biological Agriculture & Horticulture* . - 1987. - №5. – P. 1-23.
276. Zucconi, F. Biological evaluation of compost maturity/ F. Zucconi, M. Forte, A. Monaco, M. De Bertoldi // *BioCycle*. - 1981. - №22(4). – P.27-29.