

9. Kondrat'ev, S.A. Struktura poverhnosti vodosbora kak opredel'ajushhij faktor biogennoj nagruzki na vodoem (po dannym matematicheskogo modelirovanija) / S.A. Kondrat'ev, A.Ju. Brjuhanov, A.V. Terehov // Vopr. geografii. – 2018. – № 145. – S. 89–108.
10. Metod rascheta biogennoj nagruzki na vodnye ob#ekty / S.A. Kondrat'ev [i dr.] // Regional'naja jekologija. – 2011. – № 3–4. – S. 50–59.
11. Antropogennaja nagruzka na vodosbor i ee uchet pri ocenke vynosaja biogennyh jelementov v krupnyj vodnyj ob#ekt (na primere Cheboksarskogo vodohranilishha) / S.V. Jasinskij, Kashutina E.A., Sidorova M.V., Narykov A.N. // Nauchnye problemy ozdorovlenija rossijskih rek i puti ih reshenija: sb. nauch. tr. Nizhnij Novgorod. – M. : Studija F1, 2019. – S. 487–491.
12. Kol'makova E.G. Antropogennye izmenenija stoka rastvorenyh veshhestv rek bassejna Nemana / E.G. Kol'makova. – Mn.: BGU, 2009. – 123 s.
13. Brjuhanov A.Ju., Kondrat'ev S.A., Oblomkova N.S., Ogluzdin A.S., Subbotin I.A. Metodika opredelenija biogennoj nagruzki na vodnye ob#ekty ot sel'skohoz'jajstvennogo proizvodstva // Tehnologii i tehničeskije sredstva mehanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2016. № 89. S. 175 - 183.
14. Jasinskij S.V., Venicianov E.V., Vishnevskaja I.A. Diffuznoe zagrjaznenie vodnyh ob#ektov i ocenka vynosaja biogennyh jelementov pri razlichnyh scenarijah zemlepol'zovanija na vodosbore // Vod. resursy. 2019. T. 46. № 2. S. 232–244.
15. Kondrat'ev S.A., Kazmina M.V., Shmakova M.V., Markova E.G. Metod rascheta biogennoj nagruzki na vodnye ob#ekty//Regional'naja jekologija. 2011. № 3-4. S. 50-59.
16. HELCOM Guidelines for the compilation of waterborne pollution to the Baltic Sea (PLC-water). Helsinki: HELCOM, 2005. 80 p.
17. Fedenja V.M., Romanova T.A., Matveeva V.A., Ivahnenko N.E. Sensornost' pochv k himicheskomu zagrjazneniju kak osnova jekologičeskogo normirovanija tehnogennyh himičeskikh nagruzok // Prirodnye resursy. 2000. №2. S. 48.
18. Glazovskaja M.A. Kachestvennye i kolichestvennye ocenki sensornosti i ustojčivosti prirodnyh sistem k tehnogennym kislotnym vozdejstvijam // Pochvovedenie. 1991. №1. S. 134 – 139.
19. Brestskaja oblast' v cifrah. – Minsk: Glavnoe statističeskoe upravlenie Brestskoj oblasti, 2019. – 88 s.

УДК 628.381.1

## ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ ЭТАП ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

*Р. Н. Вострова, к. т. н., доцент, доцент кафедры водоснабжения химии и экологии, Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь, e-mail: delf\_1@mail.ru*

*А. Н. Пехота, к. т. н., зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: vostrova@tut.by*

*В. А. Малофей, студент, Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь, e-mail: malofejvika315@gmail.com*

### Реферат

Нельзя считать очистку городских сточных вод законченной без решения проблемы утилизации осадков сточных вод.

При проектировании очистных сооружений необходимо планировать возврат энергоемкого продукта в народнохозяйственный оборот.

Основными направлениями использования осадков являются: применение их в качестве компонента при создании почвоулучшающих композиций и в качестве компонента при создании брикетированного топлива.

В данной статье предлагается решение задачи экологически безопасного размещения осадков сточных вод в окружающей среде.

**Ключевые слова:** осадки сточных вод, брикетированное твердое топливо, городские очистные сооружения.

## FINAL STAGE OF WASTEWATER DISPOSAL

R. N. Vostrova, A. N. Pekhota, V. A. Malofey

### Abstract

It is impossible to consider municipal wastewater treatment complete without solving the problem of wastewater sludge disposal.

When designing treatment facilities, it is necessary to plan the return of an energy-intensive product to the national economy.

The main areas of use of sludge are: their use as a component in the creation of soil-improving compositions and as a component in the creation of briquetted fuel.

This article proposes a solution to the problem of environmentally safe placement of sewage sludge in the environment.

**Keywords:** organization, the construction management project, the project of manufacture of works, calendar plan, duration.

### Введение

Актуальной задачей современной очистки сточных вод является решение проблемы использования осадков, складирующихся на иловых картах очистных сооружений, с максимальной выгодой для народного хозяйства. В настоящее время исследуются различные направления экологически безопасного размещения осадков в окружающей среде.

### Собственные исследования

Осадки сточных вод (ОСВ) городских очистных сооружений являются прекрасным удобрением, повышающим урожай сельскохозяйственных культур почти в два раза [1, 2]. Но применять их, в качестве удобрения допустимо только после обработки и компостирования вместе с торфом и в концентрациях не выше ПДК, так как вследствие сброса в систему водоотведения производственных сточных вод в осадках содержится значительное количество вредных соединений тяжелых металлов, которые переходят в сельскохозяйственные культуры, в связи с этим в развитых странах в качестве удобрений используется не более 10...30 % осадков бытовых сточных вод.

Более безопасный путь использования компостов на основе ОСВ – зеленое строительство города [3, 4]. Положительным примером может служить опыт Московских очистных сооружений, где илы используются в качестве компонента для создания компоста. Декоративные растения, кустарники и газоны выращиваются на компостах, изготавливаемых на предприятиях, расположенных рядом с очистными сооружениями.

Известен опыт Рижских ученых, выращивающих газоны на песках Рижского взморья, используя в качестве почвоулучшающих композиций ОСВ городских сооружений. Но риски загрязнения почвы, возникающие при внесении компостов на основе ОСВ, зачастую тормозят решение проблемы утилизации ОСВ.

Учеными УО БелГУТ проведен ряд опытов по выращиванию сельхозкультур при внесении ОСВ в почву. На каждой из подготовленных делянок были произведены посадки стандартных семян рапса, люпина и масличной редьки. Общая площадь делянки – 10 м<sup>2</sup>, повторность вариантов четырехкратная. После сбора урожая в течение всех этапов исследований анализ содержания тяжелых металлов в почве и растениях проводился по принятым в республике методикам в РНИУПР Институт радиологии, г. Гомель.

Анализ содержания тяжелых металлов в растениях позволил сделать вывод, что в семенах исследованных растений наблюдается повышенное содержание свинца, кадмия и хрома. Медь и цинк содержатся в концентрациях, не превышающих гигиенические нормативы качества и безопасности пищевых продуктов и продовольственного сырья.

Содержание кадмия, цинка и хрома в зеленой массе люпина, рапса и редьки превысило максимально допустимый уровень этих химических элементов в кормах для сельскохозяйственных животных. Однако эти культуры могут использоваться в технических целях (рапс – для производства масла, люпин известен как почвоулучшающая культура, накапливающая в земле азот, при его возделывании в почве сохраняется положительный баланс гумуса и питательных веществ. В семенах люпина содержится от 40 до 47 % белка, а по содержанию незаменимых аминокислот они не отличаются от белка сои).

Таблица 1 – Ранжирование исследуемых культур по коэффициенту биологического поглощения ими тяжелых металлов

Элемент	Ранжирование по значению коэффициента Кб
Свинец	редька, зеленая масса > люпин > рапс, зеленая масса
Кадмий	рапс, зеленая масса > редька, зеленая масса > люпин
Медь	люпин > редька, зеленая масса > рапс, зеленая масса
Цинк	рапс, зеленая масса > редька, зеленая масса > люпин
Никель	редька, зеленая масса > рапс, зеленая масса > люпин
Хром	рапс, зеленая масса = редька, зеленая масса > люпин

Сравнительный анализ содержания тяжелых металлов в растениях, выращенных в течение трех лет на исследуемом участке показывает, что практически все элементы довольно интенсивно переходят из почвы в растение и накапливаются в избыточных количествах во всех наземных органах даже при незначительном загрязнении почв. Формирование химического состава растений происходит при одновременном воздействии большого числа факторов, основными из которых являются содержание химических элементов в питательной среде, формы их нахождения в почве, а также физиологические особенности растений, в частности, барьерный и безбарьерный тип накопления. Поглощение тяжелых металлов растениями – процесс, в значительной мере, регулируемый организмом в зависимости от характера видового строения химического состава клеточных мембран. Поэтому при нормальных концентрациях элементов в почве пассивная диффузия составляет всего 2–3 % от всей массы усвоенных минеральных элементов.

Для цивилизованного использования ОСВ необходимы нормативные документы, регламентирующие безопасность действий для окружающей среды.

Кроме этого, необходима система тщательного контроля по внесению компонентов в почву.

Другим направлением использования ОСВ является создание брикетов на основе ОСВ и сжигание их в местных котельных [5]. В настоящее время многие котельные очистных сооружений переведены на местные виды топлива, где сжигается, как правило древесина, которая может быть использована более эффективно. Брикетуя топливо на основе ОСВ непосредственно на очистных сооружениях и сжигая его в котельных, можно получить как экономическую выгоду, возвращая отход в народнохозяйственный оборот, так и снизить техногенную нагрузку очистных сооружений на окружающую среду, не отправляя этот отход на полигон твердых бытовых отходов [6].

В результате исследований, проведенных группой сотрудников УО БелГУТ, созданы партии брикетированного топлива и исследованы его физические характеристики, установлен элементарный состав топлива, определена теплота сгорания.

Определение основных физико-химических показателей составов топлива с целью определения оптимальных компонентных параметров, проводились с участием аккредитованной лаборатории топлив, масел и кормов «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем» Белорусского государственного университета.

В топливной лаборатории Речицкой мини -ТЭЦ филиала «Речицкие электрические сети» РУП «Гомельэнерго» произведен анализ зольности, влаги, теплоты сгорания, содержания серы в процессе проведения испытаний с целью определения и контроля статистически достоверных результатов. При разработке компонентных составов топлива с использованием ОСВ были учтены основные требования стандартизации топливных энергоресурсов и предъявляемые требования к твердым минеральным топливам.

При сжигании в теплотехнических установках возможность использования твердых видов топлива в определенных областях определяется химическим составом, энергетическими и технологическими свойствами. Теплота сгорания топлива является основным параметром, позволяющим судить об энергоэффективности различных видов топлива, определяется количеством теплоты, выделяющейся при сгорании и зависит от элементного состава.

С учетом оптимального компонентного состава топливных брикетов, были разработаны составы четырех образцов брикетов для определения диапазонов и соотношений химического состава соответствующему оптимальному качеству, пригодному для использования в хозяйственной деятельности КПУП «Гомельводоканал» с возможностью сжигания в котлах имеющейся промышленной котельной: «Марка-1» – из ОСВ – 50 % и опилок – 50 %; «Марка-2» – из ОСВ – 75 % и опилок – 25 %; «Марка-3» – из ОСВ – 100 %; «Марка-4» – из ОСВ – 33 % и опилок – 67 %.

Исследование показателей зольности, влаги, теплоты сгорания, содержания серы в процессе проведения испытаний с целью определения и контроля статистически достоверных результатов проводился в лабораториях на образцах, а также моделировались с использованием идентичных методов и методик определения показателей с применением программно-аппаратного комплекса калориметра модели В-08МА-К.

Основные результаты экспериментальных исследований по маркам МТТ обобщены и в виде информации о предельных значениях содержания углерода, водорода, азота, кислорода и серы, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Элементные составы горючей массы различных видов топлива, согласно протоколам испытаний

Вид топлива	Обозначение	Рабочий состав топлива (по массе), %				
		C	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	S
МТТ ОСВ с содержанием древесных отходов 50 %	Марка 1	40,3	34	2,3–5,3	1,77	0,54–0,6
МТТ ОСВ с содержанием древесных отходов 25 %	Марка 2	39,4	24,1	2,3–5,4	2,24	0,61–1,09
МТТ ОСВ без содержания древесных отходов 0 %	Марка 3	40,4	12,7	2,3–5,7	2,38	1,16–1,18
МТТ ОСВ с содержанием древесных отходов 67 %	Марка 4	43,4	31,1	2,5–5,6	1,66	0,54–0,62

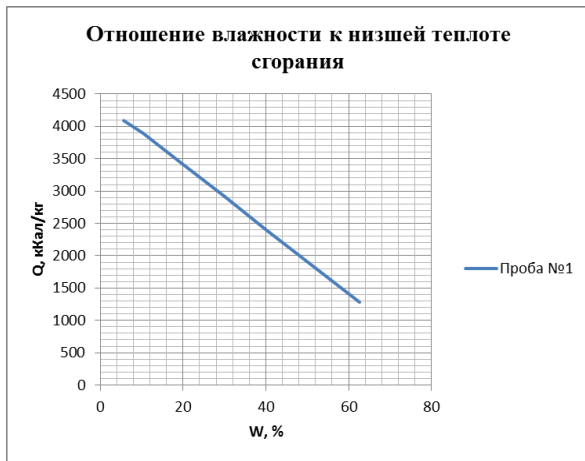
Сравнение полученных результатов исследования элементных составов горючей массы многокомпонентного топлива на основе ОСВ с другими видами твердого топлива представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Элементные составы горючей массы различных видов топлива

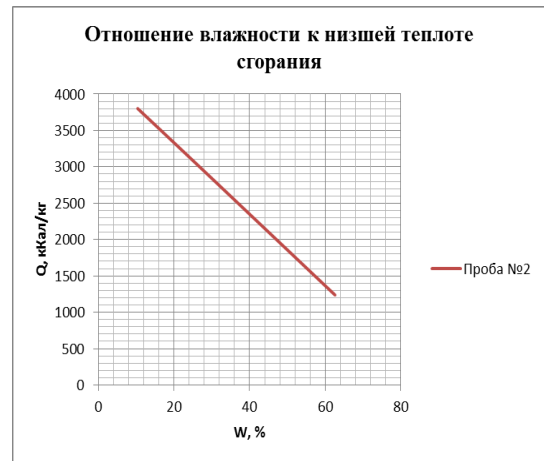
Вид топлива	Состав топлива, %							Q
	C	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	S	A	W	Мдж
МТТ (с углеводородсодержащими отходами)	59–62	4,6–6,5	0,2–0,3	31–36	0,3–0,7	4,5–10	10–19,9	18,0–21,0
МТТ на основе ОСВ марка 1	50–52	2,3–5,1	1,5–2,5	16–20	0,6	21,4–22,7	10,4–62,7	5,4–16,3
МТТ на основе ОСВ марка 2	49–53	2,3–5,1	1,5–2,5	10–12	0,5–1,1	27,9–29,9	10,4–57,2	6,1–16,8
МТТ на основе ОСВ марка 3	46–49	2,3–5,1	1,5–2,5	10–12	0,46–1,2	32,7–34,6	10,4–62,7	5,3–16,7
МТТ на основе ОСВ марка 4	50–52	2,5–5,1	1,5–2,4	20–22	0,57–0,6	21,0–21,4	10,4–57,2	5,5–15,6
Торф	25–60	2,6–6,0	1,1–3,0	15–40	–	6–50	0–95	8,0–21,0
Древесина	48–52	6–7	0,1–0,6	43–45	–	–	60–95	12,5

Результаты моделирования и аналитические данные, полученные при обработке зависимости изменения теплоты сгорания от влажности по каждой марке топлива, представлены в графическом виде на диаграммах (рисунок 1–4).

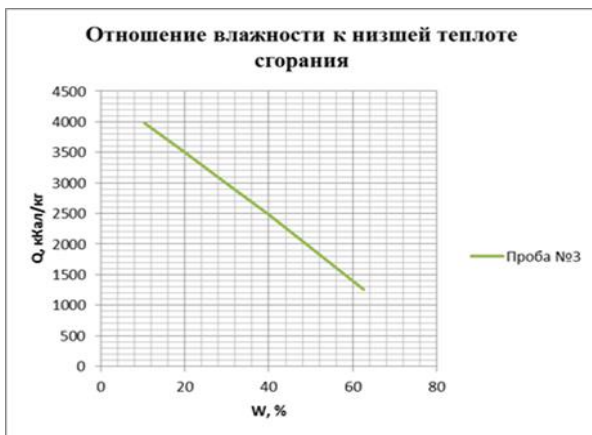
Показатели зависимости изменения теплоты сгорания от влажности многокомпонентного твердого топлива с использованием осадка сточных вод очистных сооружений г. Гомеля представлены в виде графика на рисунке 5.



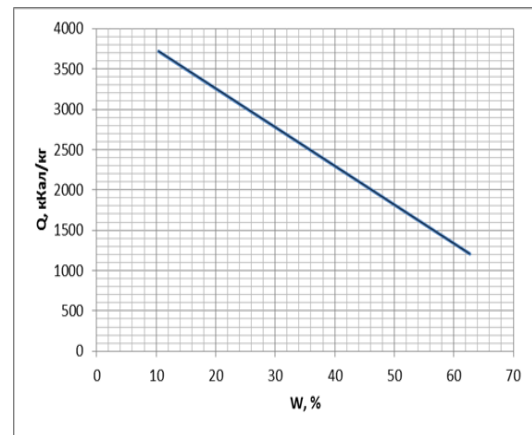
**Рисунок 1 – Топливо марки 1**



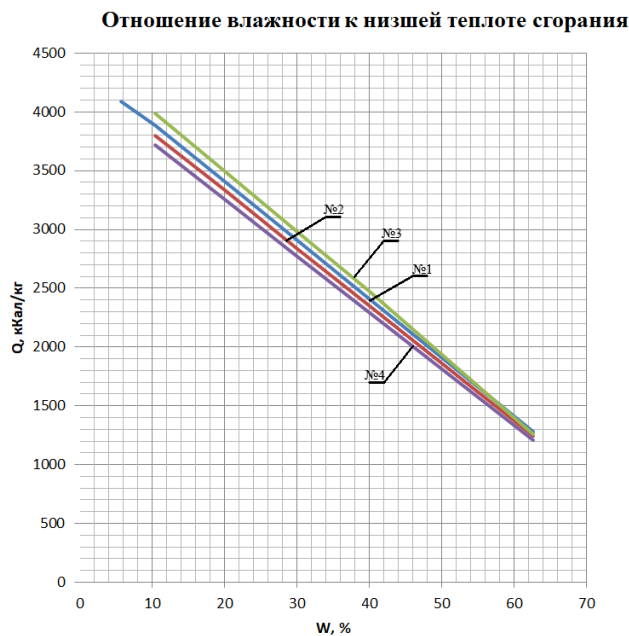
**Рисунок 2 – Топливо марки 2**



**Рисунок 3 – Топливо марки 3**



**Рисунок 4 – Топливо марки 4**



**Рисунок 5 – Динамика изменения зависимости  $Q$  и  $W$  топлива с использованием ОСВ марок 1–4**

Анализ результатов исследований показал, что твердое топливо с использованием ОСВ при влажности 30 % имеет теплоту сгорания в пределах 2842-2986 Ккал/кг (11,9–12,5 МДж/кг), что согласно СТБ 1919-2008 практически

соответствует теплоте сгорания торфа (марки БТ-2 – БТ-6) и составляет 3000 Ккал/кг (12,6 МДж/кг) при влажности 20 %. Это позволяет, не досушивая брикеты, при сжигании получать теплоту сгорания, как у торфяного топлива.

Исследование содержания серы в составе топлива марки 3 (ОСВ – 100 %), показало значение равное 1,18 %, что в целом является несколько завышенным (около 20 %), однако добавление более чистого по составу компонента в виде древесных опилок снижает содержание серы до показателей 0,58 % – 0,6 %, при допустимом нормативе – не выше 1 %.

Результаты исследования теплоты сгорания образцов показывают, что при влажности 10,4 % теплота сгорания, образца с составом ОСВ – 100 % составляет 3986 Ккал/кг, при том, что при смешивании ОСВ и древесных опилок в пропорции 50 х 50 теплота сгорания уменьшается на 2,4 % и составляет 3889 Ккал/кг.

При этом наблюдаются значительное изменение параметров зольности в сторону снижения, что является достаточно существенным показателем качественных характеристик топлива, так как зольность – нежелательный балласт.

Добавление древесных отходов позволяет снизить показатель зольности и получить многокомпонентное твердое топливо в пределах действующих нормативов, изложенных в СТБ 2202-2011.

Значения теплоты сгорания при различной влажности брикетов, а также расчет энергетической ценности относительно топливного эквивалента представлены в таблице 4.

Снижение содержания в топливе серы необходимо, так как присутствие серы снижает качество твердого топлива, в первую очередь за счет того, что при сжигании топлива выделяются сернистые газы  $SO_2$  и  $SO_3$  которые, соединяясь с водой, образуют серную кислоту, которая, в свою очередь, негативно влияет, в том числе и на металлические части котла, а попадая в атмосферу, наносит вред окружающей среде.

Данная проблема может быть решена добавлением древесных опилок. Результаты отжига серы и образования золы представлены на рисунках 6, 7.

Таблица 4 – Сравнение топливного эквивалента с различными составами МТТ ОСВ при различной влажности топлива

Марка брикета	Состав брикета	Влажность W, %	Теплота сгорания Q, Ккал/кг	Калорийный эквивалент
1	(50 % ОСВ – 50 % опилки)	10,4	3889	0,556
2	(75 % ОСВ – 25 % опилки)	10,4	3800	0,543
3	(100 % ОСВ – 0 % опилки)	10,4	3986	0,569
4	(33 % ОСВ – 67 % опилки)	10,4	3719	0,531
1	(50 % ОСВ – 50 % опилки)	30	2911	0,416
2	(75 % ОСВ – 25 % опилки)	30	2842	0,406
3	(100 % ОСВ – 0 % опилки)	30	2986	0,427
4	(33 % ОСВ – 67 % опилки)	30	2778	0,397
1	(50 % ОСВ – 50 % опилки)	40	2412	0,345
2	(75 % ОСВ – 25 % опилки)	40	2352	0,336
3	(100 % ОСВ – 0 % опилки)	40	2476	0,358
4	(33 % ОСВ – 67 % опилки)	40	2297	0,328



*Рисунок 6 – Вид золы после сжигания топлива с использованием ОСВ марки 4*



*Рисунок 7 – Вид золы после сжигания топлива с использованием ОСВ марки 3*

На основе анализа полученных результатов проведенных исследований с использованием осадка сточных вод очистных сооружений КУП «Гомельводоканал» в качестве твердого топлива, можно сделать следующие выводы.

1. Марка 1 представляет собой многокомпонентное твердое топливо, которое отвечает действующим стандартам по основным показателям: зольность не превышает 23 %, массовая доля серы не превышает 0,6 %, низшая теплота сгорания – не ниже 17120 КДЖ/кг. Марка 1 может применяться для сжигания с использованием действующих стандартов на лигнин гидролизный и топливный торф. Допускается сжигать гидролизный лигнин с влажностью 60 %, а торф топливный кусковой по СТБ 2202-2011 допускается к применению с влажностью 40 %.

2. Марка 2 и Марка 3 также могут быть применены в качестве топлива, но для их применения необходимо разработать технические условия с указанием всех предельно-допустимых нормативов по основным характеристикам получаемого топлива.

3. Марка 4 по полученным результатам практически не отличается от Марки 1: зольность и общая сера практически не изменяются (0,57 % – 0,62 %) даже за счет большого содержания древесных опилок в составе топлива, при этом отмечено снижение теплоты сгорания до 14,97 МДж/кг.

### **Заключение**

Анализ элементарного состава топлива позволил найти оптимальное соотношение компонентов в составе топлива и определить, что ОСВ Гомельских очистных сооружений обладает значительным энергетическим потенциалом, а проведенные исследования и полученные результаты, в том числе и по определению низшей теплоты сгорания сухого топлива показывают, что ОСВ обладает значительными показателями энергоэффективности топлива с существенным КПД для альтернативных энергоресурсов, несмотря на повышенную зольность в рабочем составе топлива.

### **Список использованных источников**

1. Вострова, Р. Н. Вторая жизнь осадка сточных вод городских очистных сооружений / Р. Н. Вострова // Известия ГГУ им. Ф. Скорины, 2009. – С. 93–98.
2. Вострова, Р. Н. У критической черты / Р. Н. Вострова, В. Л. Лисицин, Н. М. Чаша // Вода-MAGAZIN, 2011. – С.85–89.



3. Вострова, Р. Н. Применение осадка сточных вод городских очистных сооружений для изготовления компостов / Р. Н. Вострова, Н. С. Архипенко // Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды : труды II науч.-практ. конф., 23 нояб. 2012 г., г. Гомель / ОКПРООС. – Гомель. – 2012. – С. 160–162.

4. Вострова, Р. Н. Использование осадка сточных вод городских очистных сооружений в качестве компонента при производстве компостов. / Р. Н. Вострова, О. К. Новикова, А. В. Роденко // Водоочистка, 2014. – № 2. – С. 38–44.

5. Вострова, Р. Н. Производство топливных брикетов на основе осадков сточных вод городских очистных сооружений / Р. Н. Вострова, Д. В. Макаров // Вестник Брестского государственного технического университета. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология, 2012. – С. 43–45.

6. Пехота, А. Н. Многокомпонентное топливо на основе древесных отходов – одно из направлений решения задач энергосбережения / А. Н. Пехота // Вестник Белорусского государственного университета транспорта. Наука и транспорт, 2010. – № 1. – С. 121–122.

### References

1. Vostrova, R.N. Second life of sewage sludge of urban treatment facilities/R.N. Vostrova//Izvestia GSU named after F.Skoriny. Gomel, 2009, S.93-98.

2. At the critical line /R.N. Vostrova, V.L. Lisitsin,, N.M. Bowl//Magazine «Water-MAGAZIN» Moscow: 2011, S.85-89.

3. Application of sewage sludge from municipal treatment facilities for composting /R.N. Vostrova, N.S. Archipenko//Transboundary cooperation in the field of environmental safety and environmental protection. Proceedings II scientific-practical. conf.- Gomel: OKPROOS, 2012. - S. 160-162.

4. Vostrova, R.N. Proizvodstvo toplivnyh briketov na osnove osadkov stochnyh vod gorodskih ochistnyh sooruzhenij. /R.N. Vostrova, D.V.Makarov // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Vodohozjajstvennoe stroitel'stvo, teplojenergetika i geojekologija. – 2012. - S. 43-45.

5. Pehota, A. N. Mnogokomponentnoe toplivo na osnove drevesnyh othodov – odno iz napravlenij reshenija zadach jenergoberezenija / A. N. Pehota // Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta. Nauka i transport: nauch.-proizv. zhurnal. – 2010. – № 1. – С. 121–122.

УДК 631.674.6:620.91

## КАПЕЛЬНОЕ ОРОШЕНИЕ НА СКЛОНАХ ОБРАГА ПАРКОВОЙ ЗОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАНДШАФТНОГО ДИЗАЙНА НА ПРИМЕРЕ ПАТРИАРШЕГО САДА ГОРОДА ВЛАДИМИРА

*М. И. Голубенко, заслуженный изобретатель Российской Федерации,  
Владимир, Россия, e-mail: golubenko-mihail@mail.ru*

*Ю. А. Мажайский, д. с-х. н., профессор, главный научный сотрудник  
Мещерского филиала ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», Рязань, Россия,  
e-mail: director@mntc.pro*

### Реферат

Показан поверхностный капельный полив, который способствует активному росту и формированию корневой системы растений на склонах агро-ландшафта.

**Ключевые слова:** капельное орошение, склоновые земли, эрозия почвы.