

КОМПСТИРОВАНИЕ БИОМАССЫ И ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ ЛЕСОПРОИЗВОДСТВА

Введение. Компост – материал, применяемый для выращивания различных пород деревьев практически во всех лесничествах. Основным элементом для производства компоста являются торф и такие компоненты, как зеленая растительная масса, солома, кора, опилки и навоз. Количество и пропорции биомассы в общем количестве продукта зависят от многих факторов, а также требований, предъявляемых заказчиками. В связи с тем, что получение торфа негативно влияет на сохранение водного баланса регионов, возникает потребность в изыскании других компонентов для получения компоста, таких как осадки сточных вод, богатые микроэлементами, способствующими росту растений. Согласно данным Белостокского областного комитета государственных лесов, компост вводится в среднем 1 раз в четыре года в количестве примерно 3–4 м³ удобрения на 100 м² обрабатываемой площади леса. Годовое количество компоста на потребности Белостокского лесоводства оценивается порядка 15–20 тыс. м³ [1].

В 2002 году на кафедре технологии воды, сточных вод и осадков Белостокского политехнического института проводилась научная работа, которая заключалась в оценке эффективности использования осадков бытовых сточных вод для получения компоста. Основная цель проекта – разработать технологические параметры совместного компостирования биомассы и осадков сточных вод на нужды лесопроизводства. Исследования проводились совместно с Белостокским лесоводством, имеющим подходящую техническую и кадровую базы.

Осадки сточных вод населенных пунктов Подляского воеводства, методы их обработки и утилизации. Вопросам обработки и утилизации осадков в 70–80 годах не уделялось достаточное внимание при проектировании и эксплуатации очистных сооружений. Очистка сточных вод осуществлялась на полях фильтрации, работа которых зависит от климатических условий. Не производился мониторинг количества образующегося осадка, его физико-химических свойств и санитарного состояния. Осадок в большинстве случаев вывозился на полигоны, применение его для сельскохозяйственных целей было незначительно.

В северо-восточном регионе Республики Польша действует около 100 очистных станций производительностью от нескольких десятков до полутора десятков тысяч кубометров в сутки. В 90-х годах уделялось особое внимание охране окружающей среды и водных ресурсов. Появилось новое оборудование для интенсивной очистки бытовых и промышленных сточных вод. На вновь построенных и модернизированных очистных сооружениях внедрялись технологии механического обезвоживания осадков сточных вод.

В 1997–2000 годах проводились исследования по определению свойств осадков сточных вод, образующихся на городских очистных станциях и локальных очистных сооружениях промышленных предприятий, расположенных на территории Подляского воеводства. Результаты исследований эксплуатации 91 очистной станции показали, что в большинстве случаев осадки сточных вод складировались на свалках. На очистных станциях воеводства образовывалось порядка 19,6 тысяч тонн сухого вещества осадка в год, которые утилизировались следующим образом [2]:

- 12% осадка (т.е. около 2 300 тонн сух. в-ва осадка) освоено в сельском хозяйстве;

- 63,8% осадка (т.е. около 12 500 тонн сух. в-ва осадка) использовалось для рекультивации грунтов, свалок и т.п.;
- 2,9% осадка (т.е. около 570 тонн сух. в-ва осадка) было вывезено на свалки;
- 21,6% осадка (т.е. около 4 240 тонн сух. в-ва осадка) складировалось на территории очистной станции.

Основной критерий, определяющий использование осадков сточных вод для сельскохозяйственных целей, – санитарное состояние. Из исследований, проведенных авторами, вытекает, что осадки сточных вод содержат многочисленные патогенные организмы, к которым относятся бактерии, грибы, простейшее, паразиты и их оплодотворенные яйца, что не позволяет использовать обезвоженные осадки для непромышленного назначения. Поэтому необходимо производить его обеззараживание и компостирование, в результате осадок станет безопасным в санитарном отношении.

Описание исследований, методика их проведения и ожидаемые результаты. В рамках проекта исследовался процесс компостирования осадков сточных вод с добавлением разнородной биомассы, доступной на территории северо-восточной Польши. Существуют многочисленные юридические документы, действующие в Польше и странах Европейского союза, регулирующие данную сферу деятельности. Однако отсутствуют указания по правильному производству и применению компоста в конкретных условиях. Специфика региона, свойства образующихся осадков, доступная биомасса, низкий класс почв обуславливают необходимость применения процессов обеззараживания и компостирования осадков сточных вод на аграрно-промышленных территориях.

Положительные аспекты для защиты окружающей среды северо-восточного региона при реализации проекта заключаются в следующем:

- безопасная переработка осадка для окружающей среды;
- уменьшение количества осадков, складированных на территории очистных станций и свалках;
- получение безопасного продукта для рекультивации и удобрения почв в сельском хозяйстве и лесном производстве.

Научная цель проекта – определение параметров и изучение кинетики процессов обеззараживания и компостирования осадков сточных вод в конкретных условиях. Для исследований применялся обезвоженный осадок сточных вод некоторых очистных станций, расположенных на территории Подляского воеводства.

Сфера изучения биомассы, осадков и компоста охватывает:

- определение патогенных микроорганизмов в осадке городских сточных вод;
- обнаружение цист болезнетворных простейших;
- обнаружение оплодотворенных и неоплодотворенных яиц паразитов;
- обнаружение присутствия токсических элементов с использованием биотоксикологических тестов;
- содержание тяжелых металлов;
- содержание биогенных элементов и микроэлементов;
- определение реакции среды, температуры;
- определение массы сухого вещества и беззольного вещества осадка;

Науменко Людмила Евгеньевна, к.т.н., доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

Акулич Татьяна Ивановна, старший преподаватель кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

.Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Таблица 1. Осадки сточных вод локальных очистных сооружений молочных предприятий и методы их обработки (по данным собственных исследований)

Место расположения предприятия	Количество сточных вод, м ³ /сут.	Количество осадков, т. сух. в-ва/год	Методы очистки сточных вод и обработки осадка
Высокое Мазовецкое	3200	1100	Полная биологическая очистка, химическая доочистка. Аэробная стабилизация осадка, обезвоживание на фильтр-прессе
Граево	1800	100	Биологическая очистка. Аэробная стабилизация осадка, обезвоживание на полях фильтрации
Моньки	420	125	Биологическая очистка. Аэробная стабилизация осадка, обезвоживание на полях фильтрации и фильтр-прессе
Долистово	120	40	Биологическая очистка. Аэробная стабилизация осадка, обезвоживание на вакуум-фильтре
Кольно	900	125	Биологическая очистка (циркуляционные каналы). Аэробная стабилизация, обезвоживание на полях фильтрации
Сейны	675	50	Биологическая очистка (циркуляционные каналы). Аэробная стабилизация, обезвоживание на полях фильтрации
Бельск Подляский	600	50	Циркуляционные каналы, предварительное окисление, регенерация осадка. Аэробная стабилизация, обезвоживание на полях фильтрации
Замбрув	500	150	Биологические реакторы. Аэробная стабилизация, уплотнение, обезвоживание на полях фильтрации
Пёнтница	480	60	Аэробно-анаэробный реактор. Аэробная стабилизация, обезвоживание на полях фильтрации

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов (мг/кг сухого вещества) в осадке сточных вод локальных очистных сооружений молочного кооператива «Млековита» и в некоторых удобрениях, применяемых в сельском хозяйстве (по данным собственных исследований)

Вид удобрения	Свинец	Кадмий	Хром	Медь	Никель	Ртуть	Цинк
Аммиачная селитра	38,0	0,4	4,0	7,0	3,0	-	64,0
Перегной конский (коровий)	11,0	0,46	5,4	45,0	3,8	0,05	222,0
Перегной свиной	11,0	0,82	9,0	294,0	11,0	0,04	896,0
Свиной навоз	17,0	0,1	22,0	27,0	16,0	0,1	190,0
Осадок сточных вод	6,0	0,46	22,0	31,0	4,8	0,23	273,
В среднем в почве (2001 г.)	6,0	0,14	5,0	4,1	4,1	0,02	25,3

- определение реологических свойств осадка;
 - время капиллярного всасывания;
 - дзетта-потенциал.
- Степень зрелости компоста оценивается по следующим основным критериям:
- соотношение C:N;
 - содержание растворенного кислорода;
 - потребление кислорода;
 - прорастание и скорость роста растений;
 - содержание органического вещества,
 - водоудерживающая способность.

Осадки сточных вод молочной промышленности, количество, свойства и потенциальные возможности применения их при производстве компоста. Количество сточных вод, образующихся на предприятиях молочной промышленности в Подляском воеводстве, в 2001 году составило порядка 9 500 м³/сут. по отношению к общему расходу бытовых и промышленных сточных вод воеводства, равному 138 019 м³/сут. Для сравнения, в 1996 году количество данного вида стока составляло примерно 6 000 м³/сут. Как видно, количество стоков значительно возросло вследствие увеличения количества перерабатываемого молока. Наиболее мощным предприятием является молочный кооператив «Млековита» в Высоком Мазовецком, перерабатывающий 300 миллионов литров молока в год. Значительное увеличение количества образующихся сточных вод послужило стимулом для модернизации очистных станций. Также увеличилось количество

осадков сточных вод, образующихся на предприятиях молочной промышленности, и составило примерно 1900 тонн сухого вещества в год. Для сравнения, на всех очистных станциях воеводства образовалось 19 598 тонн сухого вещества осадка по данным на 2001 г.

В таблице 1 представлены данные по количеству сточных вод и осадков и способы обработки осадков на молочных предприятиях.

Из десяти локальных очистных сооружений на четырех применяются аэробно-анаэробные методы очистки сточных вод, на оставшихся – исключительно аэробные; химические методы удаления фосфора используются на трех объектах. Обработка осадков сводится в основном к аэробной стабилизации. Для обезвоживания осадков на наиболее крупных и модернизированных объектах применяются фильтр-прессы, на остальных по-прежнему применяют иловые площадки [3, 4].

Увеличение количества образующихся осадков привело к необходимости использования механических методов обезвоживания. Так как при очистке сточных вод молочных предприятий образуется большое количество осадков, следует их обрабатывать с возможностью дальнейшей утилизации в качестве удобрений для рекультивации почв.

На кафедре технологии очистки сточных вод и обработки осадков Белостокского политехнического института с начала 90-х годов исследовались осадки бытовых и производственных сточных вод на очистных станциях Подляского воеводства. Испытания показали, что эти осадки характеризуются низким содержанием тяжелых металлов и высоким – биогенных элементов. Таблицы 2 и 3 демонстрируют составы осадков сточных вод и некоторых видов удобрений.

Таблица 3. Содержание биогенных элементов в осадке сточных вод молочного кооператива «Млековита» и навозе (по данным собственных исследований)

Биогенный элемент	Навоз, г/кг сух. в-ва	Осадок сточных вод, г/кг сух. в-ва	
		Без известкования	Осадок после известкования 30%-ым раствором СаО
Азот	15,0	45,3	32,0
Фосфор	3,9	60,9	47,0
Калий	15,0	-	-
Кальций	12,0	73,0	210,0
Магний	3,0	5,9	5,6

Таблица 4. Содержание тяжелых металлов в веществах, используемых для получения компоста (по данным собственных исследований)

Тяжелый металл	Ед. изм.	Компонент					Предельно допустимая концентрация
		опилки	солома	древесная стружка (кора)	почва	осадок	
Свинец	мг/кг сух. в-ва	<6,0	<6,0	20,0	4,0	6,0	500,0
Медь	мг/кг сух. в-ва	<5,0	<5,0	<5,0	2,2	31,0	800,0
Кадмий	мг/кг сух. в-ва	0,45	0,31	0,31	0,060	0,46	10,0
Хром	мг/кг сух. в-ва	<5,0	<5,0	<5,0	1,0	22,0	500,0
Никель	мг/кг сух. в-ва	<5,0	<5,0	<5,0	1,2	4,8	100,0
Цинк	мг/кг сух. в-ва	40,0	18,0	38,0	16,0	273,0	2500,0
Ртуть	мг/кг сух. в-ва	0,020	0,015	0,029	0,013	0,23	5,0

Осадки, образующиеся на очистной станции в Высоком Мазовецком и других молочных предприятиях характеризуются низким содержанием тяжелых металлов, что позволяет использовать их в сельскохозяйственных целях, а также как компонент для компоста. В мае 2002 года проведены исследования по утилизации образующихся осадков очистной станции молочного кооператива «Млековита» во Высоком Мазовецком в качестве удобрения для рекультивации почв на существующих пашнях. Получены положительные результаты: улучшение структуры почвы, обогащение питательными веществами для растений – N, P, K, микроэлементами, органические компоненты компоста увеличивают способность почвы удерживать влагу.

Гигиенические аспекты использования осадков сточных вод для компостирования. Основным критерий, обуславливающий получение хорошего, стабильного компоста, кроме физико-химических параметров - его гигиеническое состояние. В Республике Польша в 1999 году в Министерстве охраны окружающей среды и природных ресурсов издано распоряжение, определяющее утилизацию осадков сточных вод для сельскохозяйственных и непромышленных целей. В августе 2002 года вышел ряд указов, которые устанавливают санитарные нормы по применению осадков в сельском хозяйстве. Осадки являются безвредными и могут использоваться для аграрных целей и рекультивации грунтов, если в них не обнаруживаются бактерии рода Сальмонеллы. Число живых яиц кишечных паразитов *Ascaris*, *Trichuris* и *Toxosara* в килограмме сухой массы осадка не должно превышать 300 в осадках, применяемых для рекультивации грунтов, и нулю – при использовании осадков в сельском хозяйстве.

Осадки сточных вод очистной станции молочного кооператива «Млековита» в Высоком Мазовецком исследовались и на кафедре санитарной биологии и биотехнологии Белостокского политехнического института в течение нескольких лет. Производился расширенный бактериологический и гельминтологический анализ осадка сточных вод с использованием новейших методик и оборудования. Установлено, что осадок очистной станции «Млековиты» соответствует основным критериям и может быть использован для целей лесничества и рекультивации грунтов, так как в отобранных образцах осадка не обнаружены бактерии рода Сальмонеллы, а также не присутствуют живые яйца кишечных паразитов штаммов *Ascaris*, *Trichuris* и *Toxosara*.

Качественная и количественная характеристика компонентов компоста, технология компостирования в лесоводстве. Основными элементами в процессе компостирования являются опилки, солома и древесная стружка, а дополнительным – осадок сточных вод очистной станции молочного кооператива «Млековита» во Высоком Мазовецком. Количество компонентов, используемых для компостирования:

- 180 м³ соломы;
- 180 м³ опилок;
- 180 м³ древесной стружки (коры);
- 100 м³ осадков сточных вод.

Состав биомассы для компостирования представлен в таблицах 4 и 5.

Компостирование осуществлялось в трех траншеях длиной примерно 90 м каждая. Высота компостной кучи порядка 1,5 м, ширина нижнего основания около 2,0 м, а верхнее обусловлено условиями механического перемешивания компостной кучи.

Каждая из траншей поделена на три одинаковых участка длиной примерно 30 м. В каждый из этих участков вводился осадок сточных вод в различных пропорциях (максимальный объем осадка составлял не более 30% объема компостной кучи). Биохимическое разложение органического вещества в процессе компостирования происходит как и в почве. Распад органики осуществляется в аэробных и анаэробных условиях. Компостирование – это главным образом аэробное разложение сложных органических связей (жиров, белков и углеводов) в результате жизнедеятельности микроорганизмов, в т.ч. бактерий термофильных, мезофильных и грибов. В компосте обнаружены следующие разновидности бактерий *Penicillium*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Mucor* и т.д. Мезофильные бактерии работают только при низких температурах в первой фазе процесса, основной процесс компостирования обуславливается работой термофильных бактерий.

В процессе компостирования происходят два параллельных биохимических процесса:

- минерализации (окисление органических веществ до углекислоты, воды, нитратов, сульфатов, фосфатов и других компонентов – реакция экзотермическая, выделяющаяся теплота используется для протекания процесса);

Таблица 5. Содержание биогенных элементов и углерода в веществах, используемых для получения компоста (по данным собственных исследований)

Параметр	Ед. изм.	Опилки	Солома	Древесная стружка (кора)	Почва	Осадок сточных вод
Азот органический	г/кг сух. в-ва	4,28	7,14	-	1,0	93,6
	% от сух. в-ва	0,43	0,71	-	0,1	9,36
Фосфор органический	г/кг сух. в-ва	1,85	5,36	-	0,71	22,5
	% P ₂ O ₅ сух. в-ва	0,85	2,46	-	0,33	11,2
Влажность	%	25,0	11,3	22,0	-	91,0
Зольность	%	75,0	88,7	78,0	-	9,0
Углерод	% сух. в-ва	47,0	41,0	51,5	-	18,0
	г/кг сух. в-ва	470,0	410,0	515,0	-	180,0

- гумификация (синтез компонентов минерализации в перегнойные вещества на молекулярном уровне). Активность энзимов, бактерий и грибов зависит от многих факторов:
- химический состав веществ, подверженных компостированию (количество органических веществ >30%, отсутствие токсичных веществ);
- рН компостной массы (оптимально около 5,5);
- температура процесса (оптимально около 50–65°C);
- фракционный состав компонентов (оптимальная величина частиц при компостировании естественном 25–40 мм, при механическом – около 12 мм);
- влажность 40–70% (оптимально 55%);
- отношение C/N (оптимальное C/N =15[5]).

По данным проведенных исследований можно выделить достоинства процесса компостирования совместно с осадком сточных вод молочной промышленности:

- возможность получения готового продукта в период наибольшего его спроса в сельском хозяйстве, лесоводстве и садоводстве;
- компост не оказывает вредное воздействие на окружающую среду;
- компост может использоваться в течение полного вегетационного сезона, например, в парках, на газоны, в лесопитомниках и т.п.;
- применение компоста возможно на больших площадях с использованием общедоступных гусеничных машин [5].

В Польше также проводились опыты компостирования осадков сточных вод с такими компонентами, как солома, навоз, опилки или известь в отдельности. Они обычно составляют от 20 до 40% массы сухого вещества компоста. Влажность в процессе компостирования составляла в пределах 60%, время компостирования – примерно 24 недели. В процессе компостирования происходило значительное снижение содержания углерода, среднее уменьшение углерода составило примерно 18%. Проведенные исследования [6, 7] показали, кроме этого, увеличение содержания общего азота примерно до 50–60%, особенно в конце созревания компоста. Во всех исследованных образцах компоста произошло значительное увеличение растворимых форм азота N-NH₄ и N-NO₃. Рост аммонийного азота составил в сред-

нем примерно 60-70%, а содержание азота нитратного – примерно на 250%. Оптимальное отношение C/N от 14,2 до 16,2 наблюдалось в процессе компостирования осадков сточных вод с соломой.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Cierech, R. Zastosowanie kompostów w szkółkach leśnych na terenie Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Białymstoku, mat. nt. „Woda, ścieki i odpady w małych miejscowościach województwa podlaskiego w aspekcie integracji Polski z Unią Europejską”, s. 57-58, ISBN 83-88771-25-6, Fundacja Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych. – Białystok, 2002.
- 2 Boruszko, D. Bilans ścieków i osadów ściekowych w oczyszczalniach ścieków województwa podlaskiego 1998–2000, s. 43, ISBN 83-85792-95-3, Fundacja Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych / D. Boruszko, W. Dąbrowski, L. Magrel. – Białystok, 2000.
- 3 Dąbrowski, W. Oczyszczanie ścieków, unieszkodliwianie i przeróbka osadów ściekowych pochodzących z zakładów przetwórstwa mleczarskiego, projekt badawczy nr 7 T07G 029 11 / W. Dąbrowski, L. Magrel – Białystok, 1998. – S. 142.
- 4 Dąbrowski, W. Charakterystyka oraz zagospodarowanie osadów z indywidualnych oczyszczalni ścieków mleczarskich Polski północno-wschodniej, monografia Komitetu Inżynierii Środowiska PAN nr 11, mat. I Kongresu Inżynierii Środowiska, ISBN 83-89293-00-5 / W. Dąbrowski, T.L. Wierzbicki. – Lublin, 2002. – S. 591–600.
- 5 Pęczkowska-Maik, G. Kompostowanie z zastosowaniem biopreparatu TRIGGER-4, materiały reklamowe. – Tamobrzeg, 2000. – S. 24.
- 6 Czyżyk, F. Wstępne wyniki badań kompostowania płynnych osadów ściekowych ze słomą, zeszyty problemowe Postępów Nauk Rolniczych / F. Czyżyk, M. Kuczevska, T. Sieradzki. – 2001. – S. 263–269.
- 7 Cieccko, Z. Dynamika zawartości węgla i azotu w osadach ściekowych podczas ich kompostowania, zeszyty problemowe Postępów Nauk Rolniczych / Z. Cieccko, M. Harnisz, T. Najmowicz. – 2001. – S. 253–262.

Материал поступил в редакцию 24.02.10

BRYLKA E., MAGREL L., GITENEV B.N., NAUMENKO L.E., AKULICH T.I. The Composting of biomass with sewage sludge to the needs of forestry

Methods of treatment and utilization of sewage sludge from cities of Podlaskie province, and data on the composition, properties and quantity of sewage sludge of enterprises of the dairy industry are presented. Methods of research of the composting sewage sludge dairy plants (namely the dairy cooperative "Mlekovita" in Wysokie Mazowieckie) with the addition of heterogeneous biomass (sawdust, lime, straw, etc.) are described. The results of studies of different types of fertilizers, compost, its components, sewage sludge, soil on contents of heavy metals, nutrients and organic elements, evaluation of the efficacy and dignities of co-composting of biomass and sewage sludge dairy enterprises are given in the work.