

DOI: 10.15393/j2.art.2020.5342

УДК 628.3, 630*8

Статья

Использование смеси осадков сточных вод и отходов лесоперерабатывающего производства как почвенного субстрата для рекультивации нарушенных земель

Борматенков Анатолий Михайлович

*исследователь, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация),
tolya-bor@mail.ru*

Графова Елена Олеговна

*кандидат технических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет
(Российская Федерация), jethel@rambler.ru*

Зайцева Мария Игоревна

*кандидат технических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет
(Российская Федерация), 2003bk@bk.ru*

Сюнёв Владимир Сергеевич

*доктор технических наук, профессор, Петрозаводский государственный университет
(Российская Федерация), siounev@petrstu.ru*

Получена: 5 июня 2020 / Принята: 22 июня 2020 / Опубликовано: 30 июня 2020

Аннотация: Исследована возможность использования смеси отходов производства, таких как осадков сточных вод и отходов лесопромышленного комплекса в виде смеси коры с опилками для приготовления почвенного субстрата. Субстрат может эффективно использоваться для рекультивации объектов размещения твёрдых коммунальных отходов. В ходе исследования изучалось влияние соотношения компонентов в субстрате и пород быстро растущих растений на результаты всхожести. Из четырёх сортов семян взошли два сорта. Два сорта луковичных семян не взошли. Максимальные показатели всхожести семян редиса и гречихи 108 мм и 140 мм соответственно выявлены на субстрате при соотношении осадка сточных вод 60 % и смеси коры и опилок 40 %.

Ключевые слова: субстрат, полигонные отходы, рекультивация, осадки сточных вод.

DOI: 10.15393/j2.art.2020.5342

Article

Use of sewage sludge and wood processing waste mixtures as a soil substrate for reclamation of disturbed lands

Anatoly Bormatenkov

researcher, Petrozavodsk State University (Russian Federation), tolya-bor@mail.ru

Elena Grafova

PhD in engineering, associate professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation), jethel@rambler.ru

Maria Zaitseva

PhD in engineering, associate professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation), 2003bk@bk.ru

Vladimir Syunev

Doctor of engineering, professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation), siounev@petrstu.ru

Received: 5 June 2020 / Accepted: 22 June 2020 / Published: 30 June 2020

Abstract: The possibility of using a mixture of production wastes, such as sewage sludge and waste from the timber industry complex, in the form of a mixture of bark with sawdust for the preparation of a soil substrate, has been investigated. The substrate can be effectively used for reclamation of municipal solid waste disposal facilities. In the course of the study, the influence of the ratio of components in the substrate and species of fast-growing plants on seeds germination was studied. Four varieties of seeds were studied, two of them germinated. Two varieties of bulbous seeds did not germinate. The maximum germination indices of radish and buckwheat seeds, 108 mm and 140 mm, respectively, were found on the substrate at a ratio of sewage sludge of 60% and a mixture of bark and sawdust of 40%.

Keywords: substrate, landfill waste, soil reclamation, sewage sludge.

1. Введение

Проблема накопления и дальнейшей утилизации отходов промышленной и бытовой деятельности является в последние десятилетия наиболее острой. На сегодняшний день, по данным Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор), на территории Российской Федерации накоплено 85 млрд т твёрдых промышленных и коммунальных отходов. Ежегодно дополнительно образуется 3,4 млрд т промышленных отходов, 40,5 млн т твёрдых коммунальных отходов и 10,6 млн т строительных отходов. В нашей стране рециклингу подлежит только 10 % отходов, в то время как в ряде стран с развитой экономикой эта цифра достигает 65 % и выше [1]. Общая отличительная особенность, наблюдаемая на территории России, — совместное хранение на свалках различных типов отходов без предварительной сортировки.

Из всего количества объектов размещения твёрдых коммунальных отходов (ТКО) только около 8 % отвечают санитарным требованиям. Большинство объектов размещения представляют значительную эпидемиологическую опасность, нарушают природный ландшафт и являются источником загрязнения почвы, грунтовых вод, атмосферного воздуха. Следует отметить, что, несмотря на опасность для окружающей среды, многие из уже переполненных и формально закрытых объектов размещения продолжают принимать значительные объёмы ТКО, что обеспечивает их владельцам получение высоких доходов [2].

В Республике Карелия, по данным на январь 2020 г., официально действовало 19 специально оборудованных объектов размещения ТКО. Данные объекты есть во всех муниципальных образованиях республики и были введены в эксплуатацию ещё в 1950—60-х гг. Все объекты размещения ТКО, за исключением двух, относятся к IV классу опасности, а два полигона — к V классу опасности. Объекты размещения находятся в управлении различных коммерческих структур. Согласно публичной карте объектов размещения отходов Росприроднадзора, в Карелии существует 70 объектов размещения различных отходов мусора, карьеров, предприятий лесной отрасли [3]. Положительным является тот факт, что Региональная программа в области обращения с отходами производства и потребления, в т. ч. с твёрдыми коммунальными отходами Республики Карелия, предполагает в ближайшей перспективе рекультивацию пяти объектов размещения ТКО [3].

В Республике Карелия крупными «производителями» отходов являются лесопромышленный комплекс и коммунальное хозяйство. Большая часть отходов не перерабатывается, а захоранивается на объектах размещения, и без того переполненных. В то время как при соответствующей обработке эти отходы могут быть не только безопасно утилизированы, но даже последовательно использованы с получением выгоды. По нашему мнению, одним из таких решений утилизации отходов на территории Республики Карелия и всего Северо-Западного региона РФ является рекультивация мест свалок ТКО с использованием полезного потенциала других видов отходов — осадков коммунальных сточных вод и отходов деятельности лесного комплекса.

Рекультивация объектов размещения отходов является одной из наиболее актуальных экологических и экономических проблем. Решением данной проблемы занимаются ряд зарубежных и отечественных учёных, имеются интересные решения по рекультивации объектов ТКО [4], [5], [6].

Одним из перспективных, на наш взгляд, методов обращения с отходами является их захоронение с целью последующего создания на них плантаций биоэнергетической древесины.

Целью данного исследования является обоснование возможности использования отходов предприятий лесного комплекса (коры и опилок) и отходов канализационных очистных сооружений [осадка сточных вод (ОСВ)] для приготовления специального двухкомпонентного почвенного субстрата, который в дальнейшем использовался бы при рекультивации объектов размещения ТКО, с последующим плантационным возделыванием быстро растущих древесных культур и получением биоэнергетической древесины. Предлагаемая технология представлена на рисунке 1.

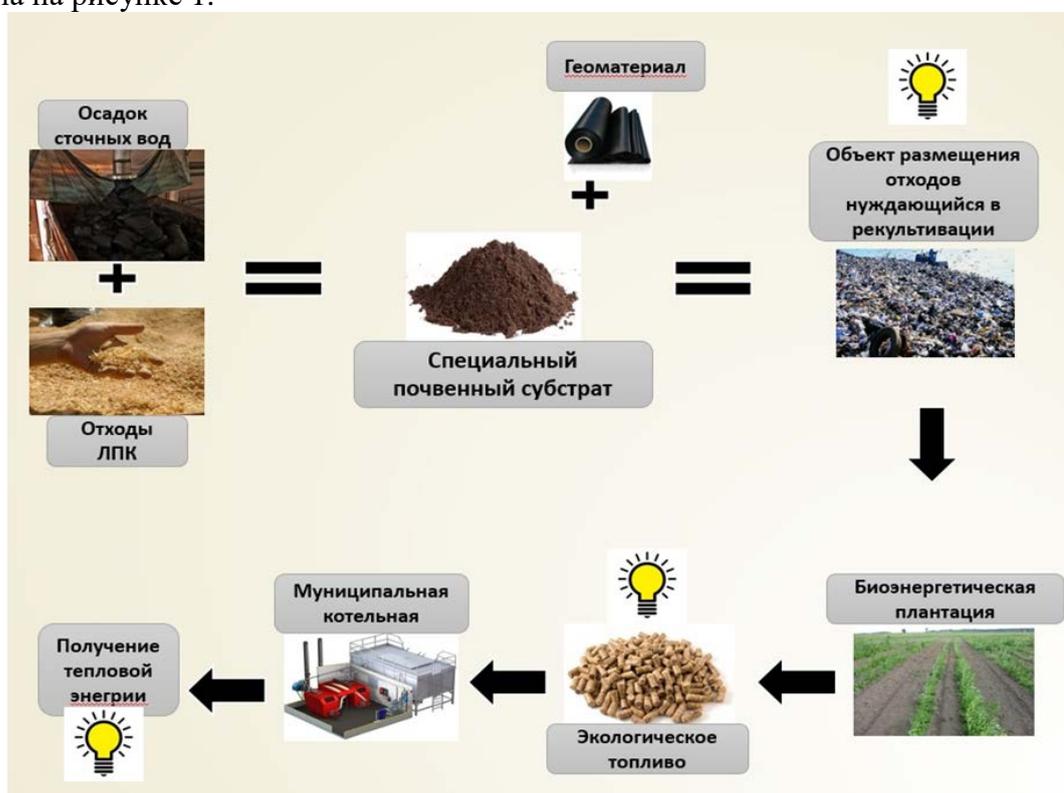


Рисунок 1. Технология рекультивации объектов размещения ТКО

2. Материалы и методы

2.1. Обоснование использования в качестве одного из основных компонентов субстрата отходов лесопромышленного комплекса

Отходами лесопромышленного комплекса является та часть древесного сырья, которая не входит в основную продукцию предприятия. На территории Российской Федерации проблема

эффективного использования древесных отходов является одной из наиболее актуальных. Так, расчётная лесосека Республики Карелия составляет 11,5 млн м³ [7], а для всей территории Северо-Запада Российской Федерации — 83 млн м³. В то время как при существующих способах переработки древесного сырья полезно используется примерно половина биомассы дерева. В целом в России ежегодно образуется 60—70 млн м³ древесных отходов [8].

Отходы производственно-хозяйственной деятельности лесной промышленности как совокупности отдельных отраслей промышленности, ведущих лесозаготовку, заготовку древесины, её обработку и переработку, очень разнообразны по видам и количеству в каждом виде. Весь спектр отходов лесного комплекса можно разделить на три группы: твёрдые, мягкие и древесная зелень. Информация о структуре древесных отходов представлена в таблицах 1, 2 и 3.

Таблица 1. Структура отходов по отраслям лесопромышленного комплекса [9]

Отрасль лесопромышленного комплекса	Доля выхода, %		
	Конечная продукция	Отходы	Потери от распыления
Лесозаготовки и лесное хозяйство	63—80	20—37	—
Лесопиление и механическая обработка древесины	45—55	38—48	7
Плитное производство	85—90	5—10	5
Фанерное производство	40—50	42—52	5
Комбинированное производство	65—70	22—27	8
Лесохимическое производство	62—68	35—38	—

Таблица 2. Структура отходов при лесозаготовке

Название отходов	Количество отходов	Количество отходов на 1000 м ³ заготовленной древесины, м ³	
		Лесосека	Нижний склад
Ветки, сучья, вершины	14.00	65	71
Пни (кряжи)	3.00	30	—
Заготовительная щепка	2.5	20	24
Кора	12.5	—	120
Опилки	1.00	—	10
Древесная зелень	6.00	50	—
ИТОГО	39.00	165	225

Таблица 3. Структура отходов при строгании и пилении древесины

Название отходов	Количество отходов при распиловке и обработке древесины, %	
	Обрезная доска	Брус
Горбыли	6.00	12.00
Рейки	13.00	10.00
Торцы	2.00	2.00
Щепка	1.00	1.00
Опилки	12.00	12.00
Стружка	4.85	1.95
Древесная пыль	0.15	0.05
ИТОГО	40.0	40.0

Часть древесных отходов подлежит переработке. Это, например, гидролизное производство дрожжей, этилового спирта и иных веществ, сухая перегонка отходов и получение древесного угля, метана, канифольно-скипидарное производство. Активно используются древесные отходы при производстве древесностружечных плит.

Однако значительное количество древесных отходов не подлежит повторному использованию, а попросту складывается. На территориях предприятий лесопромышленного комплекса ежегодно образуются и увеличиваются отвалы неиспользованных отходов. Так, например, на лесопильном производстве образуется огромное количество опилок, на предприятиях целлюлозно-бумажного производства — диспергированная сыпучая масса с частицами слаборастворившейся коры и отщепов древесины. Данные образования занимают значительную территорию заводов, несут загрязнение для окружающей среды [10].

На наш взгляд, один из наиболее простых и экономически выгодных способов использования древесных отходов заключается в применении их в качестве основы различных почвенных субстратов. При этом использовать опилки и кору в качестве основы почвенных субстратов целесообразно только после предварительного компостирования. Отходы лесоперерабатывающих производств отличаются высоким содержанием азота и минеральных веществ. После компостирования полученная смесь является хорошим гумусообразователем, содержит азот, фосфор, калий, кальций. Содержащийся в смеси азот находится в медленно действующей форме, разлагающейся в течение 2—3 лет. Таким образом, приготовленные на его основе почвенные субстраты обладают длительным действием [11]. Компостирование относится к наименее затратным и эффективным способам утилизации древесных отходов. В настоящее время имеются технологии получения компостов практически из любых древесных отходов.

2.2. Обоснование использования в качестве одного из основных компонентов субстрата осадка сточных вод

Еще одним компонентом почвенного субстрата, помимо древесных отходов, могут быть отходы канализационных очистных сооружений (ОСВ). Коммунальные отходы — дешёвый и доступный источник местных органических и органо-минеральных веществ. Тем более что во всём мире остро стоит вопрос их утилизации. В России чаще всего ОСВ продолжают захоранивать на специальных площадках (картах), которые занимают всё большие и большие площади, создавая экологические проблемы [12].

В зависимости от степени очистки сточных вод выделяются предельные объёмы осадков. Удаление осадков представляет сложную задачу с точки зрения обезвреживания и обезвоживания и неизбежно вызывает высокую эксплуатационную стоимость очистных сооружений. Как правило, влажность осадка необходимо снизить с 98 до 50 %. При этом наиболее затратным оказывается снижение влажности с 75 до 50 %.

К осадкам относятся все примеси (нерастворённые и растворённые), задержанные, главным образом, первичными и вторичными отстойниками после механической и биологической очистки. Осадки бытовых сточных вод, по сравнению с производственными, по составу более однородны и стабильно содержат биогенные элементы, необходимые для почвы. В нерастворённых примесях бытовых сточных вод органические вещества обычно составляют 75—80 %, а минеральные — 20—25 %.

В настоящее время в России организовано используется менее 5 % образующихся ОСВ. Характеристики удобрительных свойств ОСВ, демонстрирующие возможность их использования для производства почвенных субстратов, представлены в таблице 4 [13].

Таблица 4. Содержание основных питательных веществ в осадках сточных вод, процент массы сухого вещества [13]

Питательные вещества	Осадок сырой	Осадок сброженный	Активный ил	Смесь осадка первичных отстойников и активного ила
Азот общий, мг/л	1,6—6	1,7—7,5	2,4—10	2—8
Фосфор общий в пересчёте на P_2O_5 , мг/л	0,6—5,2	0,9—6,6	2,3—8	1—7
Калий общий в пересчёте на K_2O , мг/л	0,1—0,6	0,2—0,5	0,3—0,4	0,2—0,5

Данные таблицы 4 демонстрируют ценность использования активного ила, особенно богатого азотом и фосфорным ангидридом для производства органических удобрений. При этом содержание удобрительных веществ в осадках колеблется в широких пределах.

Наибольшей удобрительной ценностью обладают осадки, получаемые при очистке вод, в которых преобладают хозяйственно-бытовые стоки, содержащие фекалии и различные пищевые отходы, а также осадки сточных вод от предприятий, перерабатывающих сельскохозяйственную продукцию. В них, как правило, содержание питательных веществ выше, а загрязнённость тяжёлыми металлами и другими токсикантами меньше, чем в осадках с городских очистных сооружений крупных мегаполисов. Однако следует отметить, что использование ОСВ в качестве однокомпонентного удобрения может привести к нарушениям требований экологической безопасности, порче земель и загрязнению вод. Основное ограничение его применения — загрязнение осадков вредными для здоровья веществами, и в первую очередь тяжёлыми металлами, основным источником которых являются крупные промышленные предприятия, поэтому на сегодняшний день, в основном, они используются для благоустройства городских и придорожных территорий.

Из экологических соображений утилизация осадков сточных вод при выращивании древесины является более предпочтительной, чем в сельском хозяйстве, т. к. вероятность попадания токсикантов в пищевые цепи небольшая.

Исследования [14] показали, что применение компостов из осадков сточных вод в выращивании саженцев древесных пород позволяет повысить почвенное плодородие, увеличить скорость и качество роста. При компостировании в органической массе повышается содержание доступных растениям элементов минерального питания. На удобренных ОСВ

посевах лесных культур существенно (на 30—50 % и более) улучшается рост древесных пород. Рекомендуемые дозы внесения осадков в почву составляют от 20 до 100 т/га в зависимости от их влажности, содержания питательных веществ и от степени нуждаемости почв в удобрениях.

Следует отметить, что содержание тяжёлых металлов и вредных веществ в ОСВ, полученном на канализационных очистных сооружениях (КОС) небольших городов Республики Карелия, в отличие от крупных мегаполисов и больших городских агломераций, незначительно [15], [23]. Следовательно, использование в приготовлении почвенного субстрата ОСВ, полученного в Республике Карелия, является весьма перспективным.

2.3. Эксперимент по выбору оптимального соотношения компонентов в разрабатываемом почвенном субстрате

Основным требованием для разработки технологии приготовления двухкомпонентного почвенного субстрата (отходы лесопромышленного комплекса и ОСВ) является обеспечение высокой приживаемости и активного прироста для будущей энергетической плантации деревьев. Характеристики составляющих компонентов приведены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5. Характеристика свойств компонента субстрата ОСВ

Компонент	рН	Содержание, процент на абсолютно сухое вещество				
		зольность	азот общий	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Осадки сточных вод	6,5—8,5	15—30	2,0—4,0	0,5—3,0	1,5—5,5	2,0—5,0

Таблица 6. Характеристика свойств компонентов субстрата коры и опилок

Компонент	Плотность, г/см ³	Пористость, процент от объёма	Наименьшая влагоёмкость, процент от объёма	Полная влагоёмкость, процент от объёма	Ёмкость катионного обмена, мг-экв./100 г субстрата
Опилки	0,2—0,3	80—90	50—60	400—250	100—120
Кора древесная	0,3—0,4	70—85	40—45	100—150	100—120

К агрохимическим показателям плодородия субстрата относятся: поглотительная способность субстрата с количественным показателем ёмкостью поглощения (у плодородных — более 10 мг-экв./100 г почвы) и качественным показателем — составом поглощённых катионов. В создаваемом субстрате могут находиться как одновалентные (H, Na, K), двухвалентные (Ca, Mg), так и трёхвалентные катионы (Al). Наличие кальция и магния способствует коагуляции почвенных коллоидов и образованию структуры почвы. В то же

время присутствие одновалентных катионов и алюминия приводит к диспергированию почвенных коллоидов и разрушению структуры почвы; реакция почвенной среды (pH). Большинство возделываемых культур хорошо произрастают при реакции почвенного раствора, близкой к нейтральной (pH 6—7).

Для определения оптимальной пропорции компонентов предлагаемого почвенного субстрата проведён эксперимент по оценке всхожести и интенсивности прироста растений на образцах субстрата с различным процентным соотношением исходных компонентов.

Используемые для приготовления субстрата ингредиенты предварительно выдержаны в условиях традиционного компостирования.

Для проведения опыта был взят ОСВ с городских очистных сооружений АО «ПКС — Водоканал». Также использованы опилки и кора вблизи производственной площадки ЗАО «Шуялес». Эксперимент включал приготовление почвенных субстратов с различным объёмным процентным содержанием ОСВ и смеси коры и опилок согласно схемам (первое значение соответствует содержанию ОСВ, второе — древесных отходов), представленным в таблицах 7, 8.

Таблица 7. Название растений и соответствующая кодировка для эксперимента

Название растения	Кодировка
Редис	А
Лук красный	Б
Гречиха	В
Лук белый	Г

Таблица 8. Экспериментальные образцы с субстрата

Процентное соотношение ОСВ / кора и опилки	Экспериментальный образец			
30/70	А1	Б1	В1	Г1
40/60	А2	Б2	В2	Г2
50/50	А3	Б3	В3	Г3
60/40	А4	Б4	В4	Г4
70/30	А5	Б5	В5	Г5

Образцы субстрата размещались в почвенные контейнеры. Для каждого образца проводились четыре опыта с высаживанием выбранных видов растений (два вида луковичных, редис и гречиха).

Контейнеры размещались в теплице, обеспечивался регулярный полив и уход согласно стандартной технологии выращивания отобранных культур.

3. Результаты

Периодически, по мере появления всходов, проводились визуальные наблюдения и замеры всходов каждые 10 дней.

Всхожесть белого лука оказалась низкой — один побег из пяти. Всхожесть красного лука в исследуемых образцах равна 0 (фото 1).



Фото 1. Результаты всхожести лука красного (Б)

Всхожесть семян редиса и гречихи 100 %-я, срок появления первых всходов 8 дней (фото 2 и 3). Результаты всхожести семян редиса и гречихи представлены на рисунках 2 и 3.

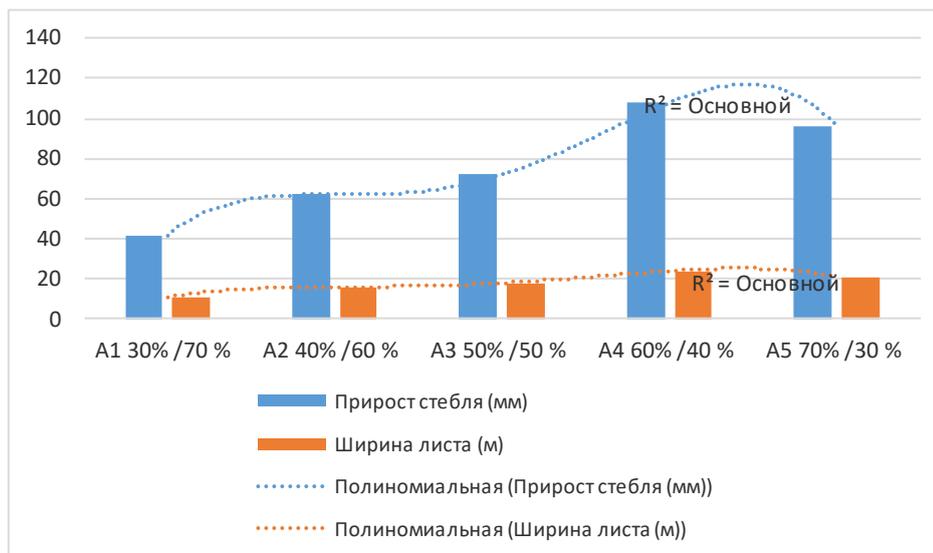


Рисунок 2. Диаграмма результатов всхожести и прироста в образцах почвенного субстрата с посадкой редиса (А)



Фото 2. Результаты всхожести и прироста в образцах почвенного субстрата с посадкой редиса (А)

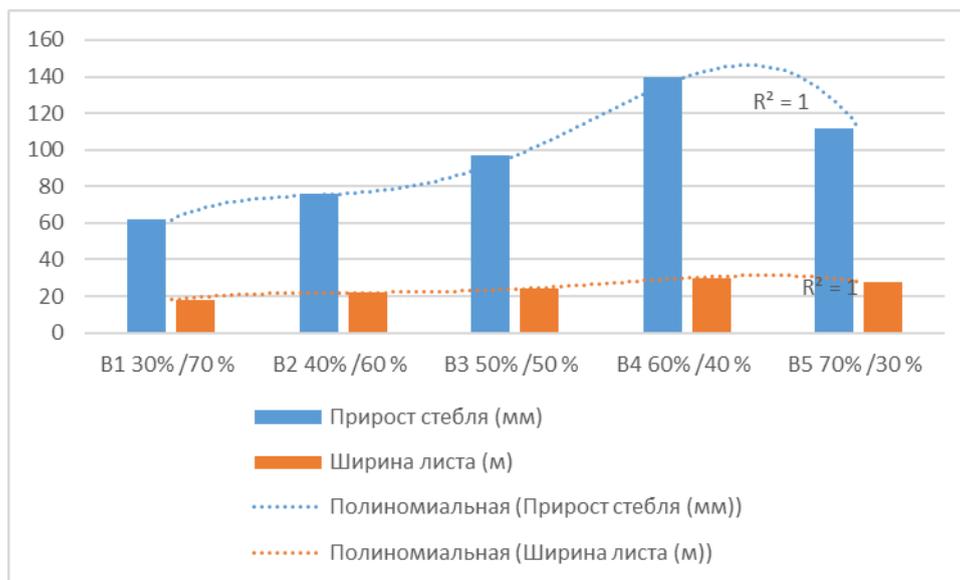


Рисунок 3. Диаграмма результатов всхожести и прироста в образцах почвенного субстрата с посадкой гречихи (В)



Фото 3. Результаты всхожести и прироста в образцах почвенного субстрата с посадкой гречихи (В)

4. Обсуждение и заключение

В результате эксперимента высаженные луковичные растения не дали всходов во всех образцах субстрата.

Данный результат может быть обусловлен низким качеством посадочного материала, особенностями состава субстрата, условиями низких температур.

Всхожесть семян редиса и гречихи 100 %-я, срок появления первых всходов составил 8 дней. Через 2 недели от начала эксперимента выявлено увеличение прироста культур в образцах субстрата с соотношением ингредиентов 60 % и 40 %, а также 70 % и 30 %. При этом наибольшая интенсивность прироста к концу эксперимента наблюдалась на образцах субстрата с 60 % ОСВ и 40 % опилок. Рост гречихи на образцах субстрата 70 % ОСВ и 30 %

опилок отставал лишь на 5—6 мм. По редису такое отставание (учитывая меньший размер зелёной массы) составляло 1—2 мм.

Линии тренда демонстрируют максимумы на промежутке между соотношениями 60 % ОСВ и 40 % древесных отходов и 70 % ОСВ и 30 % древесных отходов, что свидетельствует об оптимальности соотношения субстрата из ОСВ и древесных опилок и концентрации присутствующих биогенных элементов, обеспечивающих плодородие полученной смеси. Увеличение концентрации ОСВ до 80—90 % дало результаты, аналогичные образцам с концентрацией компонентов 30 % ОСВ и 70 % опилок, по всхожести и приросту как для гречихи, так и редиса, что свидетельствует об агрессивности ОСВ при применении в чистом виде. При этом можно отметить, что в обоих случаях затруднялась всхожесть, а при высоком содержании опилок отмечалось раннее увядание растений даже при незначительном недостатке влаги.

Рекомендуемой пропорцией компонентов можно считать концентрацию 60 % ОСВ и 40 % древесных отходов с возможным отклонением в сторону увеличения ОСВ до 65 %. Таким образом, необходимо расширить исследования в выявленном диапазоне и изучить химический состав почв и полученных ростков на предмет содержания тяжёлых металлов.

Результаты проведённого эксперимента подтвердили эффективность использования отходов производства, таких как осадки сточных вод и древесные опилки. А перспектива применения полученного субстрата для рекультивации объектов размещения отходов, свалок и полигонов открывает для этого дополнительные перспективы.

Список литературы

1. Ростпотребнадзор. Статистика [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rospotrebnadzor.ru>.
2. Образование, использование, обезвреживание и размещение отходов производства и потребления в Российской Федерации // Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru>.
3. Региональная программа в области обращения с отходами производства и потребления, в том числе с твёрдыми коммунальными отходами, в Республике Карелия на 2018—2027 годы (принята 23 августа 2018 г., № 555р-П).
4. Барцев И. А., Трофимов О. В., Доценко И. С. Анализ стратегий утилизации и переработки ТБО в Российской Федерации // Управление экономическими системами. 2014. С. 100—111.
5. Малюхин Д. М. Экспериментальное задержание многолетними травами грунта техногенного из твёрдых бытовых / коммунальных отходов, используемого при рекультивации полигонов в качестве плодородного грунта // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». 2018. № 3. С. 224—231.
6. Яшалова Н. Н., Гриднев А. Е. Эколого-экономические проблемы переработки отходов в рамках концепции «зелёной» экономики // Стратегия развития экономики. 2013. № 43 (232). С. 28—36.
7. Гольцев В., Толонен Т., Сюнёв В. С., Далин Б., Герасимов Ю., Карвинен С. Лесозаготовки и логистика в России — в фокусе научные исследования и бизнес-возможности // Труды НИИ леса Финляндии. Йёнсуну, 2012. Вып. 221. С. 159.

8. Отходы в графиках и диаграммах — 3.0. ОБСЕ, Базельская конвенция. 2012 [Электронный ресурс]. URL: http://www.envsec.org/publications/vitalwaste3_rus_1.pdf. (дата обращения: 24.04.2020).
9. *Ермашкевич В. Н.* Возобновляемые источники энергии Республики Беларусь // Природные ресурсы и возобновляемые источники энергии как источник энергообеспечения: Материалы семинара. Минск: Право и экономика, 1997. С. 19—22.
10. *Семенов Б. А., Нечаев В. Н.* Масса коры, ветвей, хвои сосны в различных тканях сосняков Крайнего Севера // Использование древесных отходов и побочных продуктов леса / Архангельский ин-т леса и лесохимии. Архангельск, 1977. С. 49—56.
11. *Пошарников, Ф. В., Филичкина М. В.* Анализ структуры смеси для опилкобетона на основании многофакторного планирования эксперимента // Вестник Московского государственного университета. Лесной вестник. М., 2010. № 1 (70). С. 111—115.
12. *Кураев В. Н., Климчук Н. М. и др.* Рекомендации по применению местных удобрений и мелиорантов в лесных питомниках на дерново-подзолистых почвах. М.; Пушкино, 2001. 52 с.
13. Обработка и утилизация осадков городских сточных вод: учебник / [Э. П. Доскина и др.]. М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 220 с.
14. *Робонен Е. В., Зайцева М. И., Чернобровкина Н. П., Чернышенко О. В., Васильев С. Б.* Опыт разработки и использования контейнерных субстратов для лесных питомников. Альтернативы торфу // Resources and Technology. 2015. Т. 12, № 1. С. 47—76.
15. *Ашихмина Т. В.* Геоэкологический анализ состояния окружающей среды и природоохранные рекомендации в районе расположения полигонов ТБО Воронежской области: дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 / Ашихмина Татьяна Валентиновна. Воронеж, 2014.
16. *Старова Н. В.* Селекция ивовых. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 208 с.
17. *Царев А. П., Царева Р. П., Иванников С. П.* Создание плантационных насаждений тополя: Обзорная информация. М.: ЦБНТИ Госкомлеса СССР, 1988. С. 48.
18. Энергетические леса [Электронный ресурс]. URL: http://www.woodheat.ru/energy_pellet/pellet_forest.html/. (дата обращения: 14.05.2020).
19. Подмосковные плантации берёзы [Электронный ресурс]. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=4236/>. (дата обращения: 14.05.2020).
20. WBA Global Bioenergy Statistics 2016 [Электронный ресурс] // World Bioenergy Association, 2020. 80 p. URL: <http://www.worldbioenergy.org/uploads/WBA%20Global%20Bioenergy%20Statistics%202016.pdf>. (дата обращения: 15.05.2020).
21. *Prade T., Svensson S., Andersson A., Mattsson J.* Biomass and energy yield of industrial hemp grown for biogas and solid fuel // Biomass and Bioenergy. 2011. Vol. 35 (7). Pp. 3040—3049.
22. *Борматенков А. М., Сюзёв В. С.* Рекультивация полигонов ТБО с целью плантационного выращивания биоэнергетической древесины // Экономические аспекты управления инновационным развитием аграрного сектора России в региональных аспектах: Материалы междунар. научно-практич. конф. Сыктывкар, 2019. С. 404—408.
23. *Графова Е. О., Паршин Н. В.* Исследование методов обработки осадков сточных вод петрозаводских очистных сооружений [Электронный ресурс] // Resources and Technology. Петрозаводск, 2019. Т. 16, № 4. С. 94—118. URL: <https://rt.petrstu.ru/journal/article.php?id=5042>. ISSN 2307-0048.

References

1. Rostpotrebnadzor. Statistics [Electronic resource]. URL: <http://www.rospotrebnadzor.ru>. (In Russ.)

2. Education, use, disposal and disposal of production and consumption waste in the Russian Federation // Federal State Statistics Service [Electronic resource]. URL: <http://www.gks.ru>. (In Russ.)
3. Regional program in the field of waste management of production and consumption, including solid municipal waste, in the Republic of Karelia for 2018—2027 (dated August 23, 2018 No. 555p-II). (In Russ.)
4. *Bartsev I. A., Trofimov O. V., Dotsenko I. S.* Analysis of solid waste management and recycling strategies in the Russian Federation // Management of economic systems. 2014. Pp. 100—111. (In Russ.)
5. *Malyukhin D. M.* Experimental sowing by perennial grasses of technogenic soil from solid household / municipal waste used in land reclamation as fertile soil // Interdisciplinary Scientific and Applied Journal «Biosphere». 2018. No. 3. Pp. 224—231. (In Russ.)
6. *Yashalova N. N., Gridnev A. E.* Environmental and economic problems of waste processing in the framework of the concept of a «green» economy // Strategy for the development of the economy. 2013. No. 43 (232). Pp. 28—36. (In Russ.)
7. *Goltsev V., Tolonen T., Syunyov V. S., Dalin B., Gerasimov Yu., Karvinen S.* Logging and logistics in Russia — the focus of research and business opportunities // Transactions of the Finnish Forest Research Institute. Joensuu, 2012. Vol. 221. P. 159. (In Russ.)
8. Waste in graphs and charts — 3.0. OSCE, Basel Convention. 2012 [Electronic resource]. URL: http://www.envsec.org/publications/vitalwaste3_rus_1.pdf. (date of treatment: 04.24.2020). (In Russ.)
9. *Ermashkevich V. N.* Renewable energy sources of the Republic of Belarus // Natural resources and renewable energy sources — as a source of energy supply: Seminar materials. Minsk: Law and Economics, 1997. Pp. 19—22. (In Russ.)
10. *Semenov B. A., Nechaev V. N.* Mass of bark, branches, pine needles in various pine forests of the Far North // Use of wood waste and by-products of the forest / Arkhangelsk Institute of Forest and Forest Chemistry. Arkhangelsk, 1977. Pp. 49—56. (In Russ.)
11. *Posharnikov F. V., Filichkina M. V.* Analysis of the structure of the mixture for sawdust based on multivariate design of the experiment // Bulletin of Moscow State University. Forest Herald. Moscow, 2010. No. 1 (70). Pp. 111—115. (In Russ.)
12. *Kuraev V. N., Klimchuk N. M. and others.* Recommendations on the use of local fertilizers and ameliorants in forest nurseries on sod-podzolic soils. Moscow; Pushkino, 2001. 52 p.
13. Treatment and disposal of urban wastewater sludge: a textbook / [E. P. Doskin and others.]. Moscow; Vologda: Infra-Engineering, 2019. 205 p. (In Russ.)
14. *Robonen E. V., Zaitseva M. I., Chernobrovkina N. P., Chernyshenko O. V., Vasiliev S. B.* Experience in the development and use of container substrates for forest nurseries. Alternatives to peat // Resources and Technology. 2015. T. 12, No. 1. Pp. 47—76. (In Russ.)
15. *Ashikhmina T. V.* Geocological analysis of the state of the environment and environmental recommendations in the area of solid waste landfills in the Voronezh region: dis. ... cand. geo. Sciences: 25.00.36 / Ashikhmina Tatyana Valentinovna. Voronezh, 2014. (In Russ.)
16. *Starova N. V.* Selection of willow. Moscow: Lesn. industry, 1980. 208 p.
17. *Tsarev A. P., Tsareva R. P., Ivannikov S. P.* Creation of plantation plantations of poplar: Overview information. Moscow: TSBNTI Goskomles USSR, 1988. P. 48. (In Russ.)
18. Energy forests [Electronic resource]. URL: http://www.woodheat.ru/energy_pellet/pellet_forest.html/. (date of treatment: 05.14.2020). (In Russ.)
19. Birch plantations near Moscow [Electronic resource]. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=4236/>. (date of treatment: 05.14.2020).

20. WBA Global Bioenergy Statistics 2016 [Electronic resource] // World Bioenergy Association, 2020. 80 p. URL: <http://www.worldbioenergy.org/uploads/WBA%20Global%20Bioenergy%20Statistics%202016.pdf>. (date of treatment: 05.15.2020).
21. *Prade T., Svensson S., Andersson A., Mattsson J.* Biomass and energy yield of industrial hemp grown for biogas and solid fuel // *Biomass and Bioenergy*. 2011. Vol. 35 (7). Pp. 3040—3049.
22. *Bormatenkov A. M., Syunyov V. S.* Reclamation of solid waste landfills for plantation growing of bioenergy wood // *Economic aspects of managing the innovative development of the agricultural sector of Russia in regional aspects: proceedings of an international scientific-practical conference*. Syktyvkar, 2019. Pp. 404—408. (In Russ.)
23. *Grafova E. O., Parshin N. V.* Research of methods for the waste water sludge treatment technology of petrozavodsky treatment facilities // *Resources and Technology*. Petrozavodsk, 2019. T. 16, № 4. Pp. 94—118. ISSN 2307-0048.

© Борматенков А. М., Графова Е. О., Зайцева М. И., Сюнёв В. С., 2020