

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ЗАДЕРЖЕНИЕ МНОГОЛЕТНИМИ ТРАВАМИ ГРУНТА ТЕХНОГЕННОГО ИЗ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ/ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЛИГОНОВ В КАЧЕСТВЕ ПЛОДОРОДНОГО ГРУНТА

Д.М. Малюхин<sup>1</sup>, В.А. Поздняков<sup>2</sup>, Л.Г. Бакина<sup>3</sup>, Т.Б. Нагиев<sup>2</sup>,  
А.В. Поздняков<sup>2</sup>, С.И. Лоскутов<sup>4</sup>, Я.В. Пухальский<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ООО «Новый Свет-ЭКО»; <sup>2</sup> Ленинградский НИИ сельского хозяйства «Белогорка»;  
<sup>3</sup> Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН  
и <sup>4</sup> ООО НПО «БиоЭкоТех», Санкт-Петербург, Россия

\* Эл. почта: [mdm@ns-eco.ru](mailto:mdm@ns-eco.ru)

Статья поступила в редакцию 02.08.2018; принята к печати 03.09.2018

В условиях полевого опыта на полигоне твердых бытовых отходов изучена пригодность грунта техногенного, полученного аэробным компостированием отсеков грохочения твердых коммунальных отходов при их сортировке, для использования при рекультивации полигона в качестве плодородного грунта. Изучены агрохимические показатели грунта техногенного и его температурный режим в пределах корнеобитаемого слоя. Проведены исследования по подбору ассортимента трав, наиболее эффективных для задержания исследуемого субстрата. Выявлены существенные различия по эксплуатационным характеристикам у однолетних и многолетних злаковых трав. Особенно перспективны овсяница красная сорт Шилис и овсяница луговая сорт Шведская, которые сформировали плотный травостой, выделяющийся красивой зеленой окраской вплоть до наступления зимних холодов. Установлено, что в травах, выросших на грунте техногенном, содержание тяжелых металлов и нитратов не превышает нормативы для кормовых трав.

*Ключевые слова:* рекультивация полигонов твердых бытовых отходов, плодородный грунт, компост из твердых бытовых отходов, ассортимент трав, эффективность задержания, грунты техногенные.

## USING PERENNIAL GRASSES IN EXPERIMENTAL TURFING OF MUNICIPAL SOLID WASTE-DERIVED ARTIFICIAL SOIL FOR LANDFILLS RECLAMATION

D.M. Maliukhin<sup>1</sup>, V.A. Pozdnyakov<sup>2</sup>, L.G. Bakina<sup>3</sup>, T.B. Nagiyev<sup>2</sup>, A.V. Pozdnyakov<sup>2</sup>,  
S.I. Loskutov<sup>4</sup>, Ya.V. Pukhalskiy<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ООО «Novyi Svet-EKO»; <sup>2</sup>Leningradskiy Agricultural Research Institute «Belogorka»; <sup>3</sup>Saint-Petersburg Research Center of Ecological Safety, Russian Academy of Science; and <sup>4</sup>ООО «BioEkoTekh», Saint Petersburg, Russia

\* Email: [mdm@ns-eco.ru](mailto:mdm@ns-eco.ru)

Soil obtained by aerobic composting from municipal solid waste after screening upon its sorting was tested under field conditions of municipal solid wastes landfill for suitability as a fertile soil for landfill reclamation. The agrochemical indices and temperature regime within the root layer of the soil were studied. Among test herbs, the ones most effective for turfing were determined based on their performance characteristic. The most promising are the Shilis variety of red fescue and the Swedish variety of meadow fescue able to develop a dense grass cover featuring beautiful green color, which persisted up to the onset of winter cold. The contents of heavy metals and nitrates in herbs grown on the artificial soil were within levels permissible for forage.

*Keywords:* solid municipal wastes, landfills, reclamation, fertile soil, grasses, turfing, artificial earth.

## ВВЕДЕНИЕ

Обращение с отходами является одной из основных экологических проблем, которая ни в одной стране мира не решена окончательно [18]. В последние годы в России, как и во всем мире, наблюдается неуклонный рост образования твердых бытовых/коммунальных отходов (ТБО/ТКО). Ежегодно в России образуется порядка 35–40 млн тонн ТКО, и, согласно данным Росприроднадзора, только 4–5% из них вовлекаются в переработку, а остальное размещается на полигонах ТКО и санкционированных и несанкционированных свалках [6, 14]. В результате этого продолжается активное накопление отходов в природной среде. Анализ системы утилизации и переработки ТКО в Российской Федерации показывает, что основной стратегией в области управления ТКО является не переработка, а захоронение на полигонах, несмотря на то что такой вид обращения с отходами является наименее предпочтительным согласно принятой иерархии методов [3]. Поэтому полигоны будут оставаться основным направлением обращения с ТКО в ближайшие 15–20 лет [5, 9].

Все вышеизложенное в полной мере относится и к Санкт-Петербургу. По сведениям Росприроднадзора, Санкт-Петербург сейчас производит порядка 2 млн тонн твердых коммунальных отходов в год, Ленинградская область – 900 000 тонн. Для приема этих отходов в Ленинградской области официально существуют около 15 полигонов. По сведениям Государственного экологического надзора, на территории области функционируют около 1500 несанкционированных свалок, из них постоянных и крупных, по разным данным, от 150 до 200<sup>1</sup>.

Анализ практики складирования ТКО свидетельствует о том, что объекты захоронения и полигоны ТКО являются источниками длительного негативного воздействия на окружающую среду. Известно, что не только несанкционированные свалки, но и полигоны – комплексы сооружений природоохранного назначения, предназначенные для размещения, изоляции и обезвреживания отходов, – могут создавать опасность загрязнения окружающей среды [2, 12, 14]. Поэтому в соответствии с действующей на территории Российской Федерации нормативной базой<sup>2, 3, 4</sup>, завершающим этапом эксплуатации полигонов, направленным на обеспечение санитарных и экологических требований, является рекультивация. Согласно

ГОСТ 17.5.1.01-83<sup>5</sup>, рекультивация закрытых полигонов представляет собой комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народнохозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды в соответствии с интересами общества.

Рекультивация полигонов включает в себя два этапа: технический и биологический. В соответствии с нормативными документами, технический этап рекультивации включает формирование откосов с нормативными углами наклонов, строительство дренажных систем, дегазацию, планировку поверхности с созданием рекультивационного многофункционального покрытия и другие операции. Завершается технический этап рекультивации нанесением, формированием и планированием плодородного слоя, и здесь сразу же появляется одна из основных экологических и экономических проблем при рекультивации – дефицит почвогрунтовых ресурсов для создания рекультивационных покрытий. Известно, что для рекультивации 1 га полигона требуется до 10 тыс. м<sup>3</sup> почвенно-растительного грунта, что соответствует нарушению 5 га природных земель, то есть до 5 раз может быть превышена площадь рекультивируемого объекта [7]. С целью экономии природных ресурсов и ускорения биологических процессов при проведении рекультивационных работ почва может быть заменена органоматериалами из отходов производства и потребления. Общеизвестным является факт высокого биологического потенциала компостов из ТКО, а технологии биотермической переработки ТКО позволяют получать компост, близкий по своим свойствам к традиционным органическим удобрениям. С нашей точки зрения, наиболее рациональным и доступным является получение из органической части ТКО грунта техногенного и последующее использование его в качестве плодородного грунта при эксплуатации и рекультивации полигонов и других нарушенных земель. В настоящее время нами разработана технология использования грунта техногенного из органической части ТКО в качестве перекрывающего/изолирующего/плодородного материала в технологических циклах эксплуатации и рекультивации полигонов [11]. Несмотря на эффективность и перспективность подобного направления утилизации органической части ТКО, подобные работы практически не проводятся на других полигонах. Ограниченное количество данных, подтверждающих эффективность и экологическую безопасность применения подобных субстратов (компостов/грунтов техногенных) при эксплуатации и рекультивации полигонов и других нарушенных земель ограничивало до настоящего времени широкое внедрение подобных технологий, что на наш взгляд требует изменить в кратчайшие сроки.

<sup>5</sup> ГОСТ 17.5.1.01-83. Охрана природы. Рекультивация земель. Термины и определения.

<sup>1</sup> <http://nsp.ru/news/8797-musor-poschitali>

<sup>2</sup> Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов. Минстрой России: 02.11.96; Госкомсанэпиднадзор России: 10.06.96 (01-8/1711).

<sup>3</sup> ГОСТ 17.5.3.04-83. Охрана природы (ССОП). Земли. Общие требования к рекультивации земель.

<sup>4</sup> ТСН 11-301-2005 «Положение о порядке работ по рекультивации несанкционированных свалок в г. Москве». М.; 2005.

Биологический этап рекультивации предусмотрен всеми действующими сейчас нормативными документами<sup>6, 7, 8</sup>, и в большинстве случаев применение биологического этапа совершенно необходимо, так как процессы самозарастания могут растянуться на несколько десятков лет. Так, Л.С. Застенским [8] для условий Беларуси выявлено, что при формировании рекультивационного слоя из минеральных суглинистых грунтов процессы гумусообразования происходят очень медленно, и за 15 лет образуется лишь 1,5–2 см сплошного гумусового горизонта. В экстремальных условиях северных регионов эти процессы еще более затруднены, и без специальных мероприятий биологического этапа рекультивации восстановление нарушенных ландшафтов практически не происходит [1].

Одной из наиболее важных операций последующего биологического этапа является подбор ассортимента многолетних трав, который наряду с другими мероприятиями (подготовка и обработка почвы, посев трав и уход за посевами) обеспечивает наиболее активное зарастание рекультивируемой поверхности и формирование экологически безопасных экосистем на территории бывшего полигона ТБО.

В связи с этим основной целью данной работы являлось изучение эффективности применения грунтов техногенных из органической части ТКО в качестве плодородного грунта на заключительной стадии технического этапа и подбор ассортимента травянистых и древесных растений для этого субстрата на биологическом этапе рекультивации полигона ТКО.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Полевой эксперимент, результаты которого излагаются в данной работе, был проведен на опытной площадке полигона «Новый Свет-ЭКО», Гатчинский р-н Ленинградской обл. Грунт техногенный, использованный в эксперименте в качестве плодородного слоя, являлся продуктом утилизации отсева грохочения ТКО при аэробном биотермическом компостировании в буртах на специально оборудованной площадке на полигоне. Он применялся при достижении состояния зрелости после 6 месяцев компостирования. Основные агрохимические показатели грунтов техногенных определяли дважды – перед закладкой опыта и в конце вегетационного сезона, после учета биомассы. При лабораторных исследованиях пользовались общепринятыми методами [15]. Содержание

<sup>6</sup> Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов. Минстрой России: 02.11.96; Госкомсанэпиднадзор России: 10.06.96 (01-8/1711).

<sup>7</sup> МР по проведению инженерно-экологических изысканий для целей рекультивации существующих свалок и проектирования вновь организуемых полигонов захоронения ТБО на территории Московской области. Моск. обл.: ГК по охране окружающей среды; 28.04.1998.

<sup>8</sup> Территориальные строительные нормы Московской области ТСН30-308-2002. М.; 2002.

органического углерода определяли методом Тюрина, подвижные формы фосфора и калия определяли в вытяжке Кирсанова, фосфор – колориметрически по Дениже, калий – на пламенном анализаторе ПАЖ-2. Подвижные формы азота определяли фотоколориметрически, нитратный азот – с дисульфифеноловой кислотой, аммонийный – с реактивом Несслера. Содержание тяжелых металлов определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой, а также методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии.

Температуру субстратов измеряли в течение вегетационного сезона с апреля по октябрь почвенным термометром на глубине корнеобитаемого слоя (15–20 см) в пределах каждой опытной площадки в 6–8 точках в дневное время (с 12 до 15 ч). Измерения проводили один раз в неделю.

Закладку опытов по подбору травянистых и древесных растений, проведение биометрических учетов и наблюдений осуществляли согласно методическим указаниям, разработанным в Всероссийском институте кормов им. В.Р. Вильямса [4]. Площадь опытных делянок – 6 м<sup>2</sup>.

В опытах на полигоне были использованы следующие виды растений: овсяница луговая сорт Шведская; овсяница красная сорт Шилис; райграс однолетний Изорский; райграс пастбищный Ленинградский 809; клевер луговой Волосовский. Из семян этих видов были составлены смеси, состав которых был следующим:

смесь 1 – овсяница красная 50% + клевер луговой 50%;

смесь 2 – райграс пастбищный 50% + клевер луговой 50%;

смесь 3 – овсяница красная 30% + клевер луговой 70%;

смесь 4 – райграс пастбищный 50% + клевер луговой 25% + овсяница красная 25%;

смесь 5 – райграс пастбищный 50% + овсяница красная 50%;

смесь 6 – овсяница красная 50% + клевер луговой 25% + райграс однолетний 25%;

смесь 7 – райграс пастбищный 50% + райграс однолетний 50%.

Норма высева – 2,5 г/м<sup>2</sup>.

На опытных делянках с посевом травянистых смесей проводили два укоса – в середине лета (20 июля) и в конце (17 августа). При этом были проведены следующие биометрические замеры: определена надземная биомасса растений (сырая), измерена средняя высота и оценена плотность посевов, общее проективное покрытие, высота растений и их мощность в баллах. Оценку мощности травостоя проводили глазомерно по 5-балльной шкале. Также при общей оценке учитывали облиственность, кустистость, выравненность и густоту стояния посевов.

Кроме травяных смесей, были проведены монопо-  
севы следующих видов растений: овсяница красная,  
овсяница луговая, клевер луговой. А также в допол-  
нение к основному опыту были заложены монопо-  
севы следующих видов растений: фацелия рязанская,  
синяк обыкновенный, козлятник восточный, овес и  
горчица белая для оценки их всхожести и декоратив-  
ности.

В качестве контроля были оставлены делянки под  
самозаращение.

Наряду с травами, были испытаны два вида дре-  
весных растений – сосна *Pinus sylvestris* и тополь  
(гибридные формы) *Populus sp.* Их высаживали в ко-  
личестве 81 шт. на делянку. Состояние саженцев оце-  
нивали в конце вегетационного сезона по выживаемо-  
сти и внешнему виду.

Статистическую обработку экспериментальных  
данных осуществляли с помощью программы AtteStat  
(версия 12.5). Для визуализации исходных данных и  
результатов их статистического описания использова-  
на программа PAST (версия 3.21). Достоверность раз-  
личий двумя независимыми группами данных оце-  
нивали по критерию Манна-Уитни. Аналитическая  
повторность – четырехкратная. Различия считали  
значимыми при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что пригодность субстратов в качестве  
плодородного грунта для продуктивного роста расте-  
ний определяется прежде всего их агрохимическими  
свойствами. В этой связи были проведены исследо-  
вания грунтов техногенных, используемых в экспе-  
рименте в качестве плодородного слоя, которые по-  
зволили дать его агрохимическую характеристику  
(табл. 1).

Установлено, что грунт техногенный весьма благо-  
приятен в агрохимическом отношении для произраста-  
ния растений, а по содержанию питательных веществ  
существенно превосходит фоновую дерново-подзоли-  
стую почву. Так, максимальное содержание органиче-

ского углерода (11% и более) наблюдается в грунтах  
техногенных, в дерново-подзолистой содержание ор-  
ганического углерода достигает 2,5%. Он характери-  
зуется нейтральной реакцией среды ( $pH = 7,0 \pm 1,0$  в  
отличие от слабокислой почвы с  $pH 5,5 \pm 1,0$ ), высоким  
содержанием органического углерода, а также основ-  
ных питательных элементов – азота, фосфора и калия.  
По содержанию фосфора и калия грунт техногенный  
превышал аналогичные показатели в почве на порядок;  
азот аммонийный и азот нитратный содержались в со-  
поставимых с почвой количествах, однако содержание  
общего азота, а следовательно, и его запасы были в ис-  
следуемом субстрате более чем в 3 раза выше, чем в по-  
чве. Сравнение агрохимических показателей в начале  
эксперимента и в конце (осенью, после учета биомассы)  
с комплексными нормативами (ПДК) позволило сде-  
лать вывод о том, что в течение вегетационного сезона  
эти показатели практически не изменились.

При проведении визуальных оценок травостоев на  
опытных делянках мы зафиксировали изменения раз-  
вития у многолетних бобовых и злаковых по сравне-  
нию с тем, что свойственно нашему региону: сниже-  
ние темпов развития в первой половине вегетации и  
ускорение развития во второй половине. В какой-то  
степени эти изменения аналогичны особенностям  
развития травянистых растений на засоленных (сол-  
онцеватых) почвах южных районов страны и, веро-  
ятно, могут быть связаны с повышенной степенью  
минерализации грунтовых растворов в грунтах тех-  
ногенных. Этим же, по-видимому, можно объяснить  
и выявленное в эксперименте более активное образо-  
вание биомассы злаковых (райграсов и овсяниц) по  
сравнению с бобовыми: известно, что солеустойчи-  
вость у злаковых выше, чем у бобовых [17]. Неодно-  
кратно высказывалась мысль, что солеустойчивость  
сортов и видов растений связана с экологическими  
(в частности, почвенно-климатическими) условиями  
места их происхождения и основного ареала возделы-  
вания. Более высокая солеустойчивость злаковых по  
сравнению с бобовыми может объясняться в значи-

Табл. 1

Агрохимические свойства грунтов техногенных в начале и конце опыта  
в сравнении с фоновой дерново-подзолистой почвой

Субстрат	Срок отбора	pH	C <sub>орг</sub> , %	N <sub>общ</sub> , %	C:N	Содержание подвижных питательных элементов, мг/100 г			
						P	K	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>
Грунт техногенный	Май	6,9	11,5	0,52	20,4	340 ± 15*	390 ± 35*	24 ± 2	32 ± 6
	Сентябрь	7,1	11,0	0,56	19,6	350 ± 20*	275 ± 32*	17 ± 4*	31 ± 6
Почва	Май	5,5	2,5	0,17	14,7	25 ± 5	20 ± 5	25 ± 3	30 ± 5
	Сентябрь	5,6	2,5	0,16	15,6	22 ± 3	19 ± 4	21 ± 2	31 ± 4

Примечание: \*  $p < 0,05$  для отличия грунта от почвы на таком же сроке.

тельной степени тем, что центрами происхождения и формирования многих из них являются аридные районы Северной Африки и Юго-Восточной Азии, отличающиеся значительным распространением засоленных земель.

Выявленные особенности развития изучаемых травянистых растений привели к тому (табл. 2), что во время первого учета зеленой массы (выход в трубку-колошение злаковых трав) только посе́вы двух видов райграса достигли укосной спелости.

Табл. 2

### Хозяйственно ценные признаки травостоев и древесных растений, вегетационный сезон 2017 г.

Варианты	Виды растений в смеси	1-й укос, 20.07.2017				2-й укос, 17.08.2017			
		Масса, (кг/м <sup>2</sup> )	Высота (см)	Плотность (%)	М**	Масса (кг/м <sup>2</sup> )	Высота (см)	Плотность (%)	М**
Смесь 1	Овсяница красная	0,26 ± 0,04	16,4 ± 3,1	95,6	3	0,45 ± 0,07	28,0 ± 5,3	95,0	4
	Клевер луговой	0,13 ± 0,02	8,2 ± 2,2	50,0	1	0,23 ± 0,04	14,4 ± 3,9	48,0	2
Смесь 2	Райграс пастбищный	0,90 ± 0,10*	43,0 ± 7,7	88,0	5	1,12 ± 0,12*	70,2 ± 12,6	90,0	5
	Клевер луговой	0,13 ± 0,04	8,2 ± 2,1	50,0	1	0,20 ± 0,06	12,2 ± 3,1	47,0	2
Смесь 3	Овсяница красная	0,21 ± 0,07	13,1 ± 3,7	96,0	2	0,32 ± 0,11	20,0 ± 5,6	80,0	4
	Клевер луговой	0,13 ± 0,04	8,2 ± 3,8	96,0	1	0,19 ± 0,06	11,8 ± 5,5	45,0	2
Смесь 4	Райграс пастбищный	0,25 ± 0,05*	15,4 ± 3,7	92,0	5	0,89 ± 0,18*	55,8 ± 13,4	95,0	4
	Клевер луговой	0,13 ± 0,05	8,2 ± 2,2	15,4	1	0,23 ± 0,09	14,6 ± 3,9	49	3
	Овсяница красная	0,26 ± 0,06	16,4 ± 4,4	96,0	2	0,35 ± 0,08	21,8 ± 5,8	80,0	2
Смесь 5	Райграс пастбищный	0,43 ± 0,07	26,8 ± 5,8	96,0	5	1,34 ± 0,22	83,8 ± 18,1	90,0	4
	Овсяница красная	0,28 ± 0,06	17,4 ± 2,1	90,0	2	0,43 ± 0,09	26,8 ± 3,2	46,0	1
Смесь 6	Овсяница красная	0,13 ± 0,04	8,2 ± 1,1	92,0	2	0,31 ± 0,10	19,4 ± 2,6	55,0	3
	Клевер луговой	0,13 ± 0,04	8,2 ± 2,1	50,0	1	0,26 ± 0,08	16,0 ± 4,1	45,0	1
	Райграс однолетний	1,10 ± 0,21	111,2 ± 25,7*	90,0	5	1,12 ± 0,21	69,8 ± 16,1*	80,0	4
Смесь 7	Райграс однолетний	1,24 ± 0,30*	104,2 ± 20,8	91,0	5	1,22 ± 0,30*	76,0 ± 15,2	85,0	5
	Райграс пастбищный	1,21 ± 0,28*	104,2 ± 23,4	93,0	5	1,23 ± 0,28	75,0 ± 16,8	85,0	5
	Клевер луговой	0,19 ± 0,04	11,8 ± 0,4	40,0	3	0,19 ± 0,04	11,8 ± 0,4	80,0	3
	Овсяница красная	0,25 ± 0,05*	15,8 ± 0,8	86,0	4	0,52 ± 0,10*	32,4 ± 1,6	90,0	5
	Овсяница луговая	0,45 ± 0,05	28,4 ± 4,4	86,0	5	0,45 ± 0,05	28,4 ± 4,4	95,0	5
	Контроль (самозарастание)	1,81 ± 0,211	87,1 ± 16,9	40,0	3	1,28 ± 0,15	125,2 ± 24,3	55,0	4
	НСР 0,5	1,1	10,3	8,1	–	1,1	9,6	7,9	–
	Х ср.	0,45	29,8	76,7	–	0,59	39,7	71,6	–

Примечания. \*  $p < 0,05$ ; сравнение по укосам. \*\* М = мощность (баллы).

Райграс однолетний и райграс пастбищный обеспечили наивысший урожай зеленой массы – 1,24 и 1,21 кг/м<sup>2</sup>, при высоте 104,2 см, соответственно. В двойной смеси с клевером луговым и в тройной – плюс овсяница красная урожай ниже (0,9–1,1 кг/м<sup>2</sup>) при высоте стеблестоя в 43,0–111,2 см. К первому укосу сформировался плотный травостой (88–93%). При втором укосе через месяц по высоте подтянулся клевер луговой, кусты в фазе розетки достигали 11,8–16,0 см высоты. Активный рост овсяницы красной продолжался до выпадения снега в ноябре. Подобные положительные характеристики отмечены и для травостоя овсяницы луговой сорта Шведская. Ко времени первого укоса злаковых трав травостой клевера лугового, как в чистом виде, так и в смесях 1, 3, 4, был развит слабо, что не позволило провести учет зеленой массы растений. Подобное наблюдалось и в травосмеси 5. В конце июня в начальных стадиях роста и развития также была овсяница луговая.

Декоративность и способность формировать крепкий газон на грунте техногенном видами овсяниц – одна из находок данного исследования. Овсяница красная и овсяница луговая – еще слабо окультуренные виды, не затронутые активной селекцией, они оказались вполне эффективными для рекультивации полигона ТКО и для выполнения черновой работы – нивелирования антропогенной нагрузки на среду [13].

Медоносы (фацелия, синяк, горчица) обладали слабой холодостойкостью, при первом слабом морозе (0–2 °С) растения пожухли и прекратили рост, проявив таким образом малую пригодность для использования их при рекультивации полигона ТБО.

Помимо травянистых растений, были высажены селекционные образцы сосны (*Pinus sylvestris*) и однолетние саженцы и гибридные формы тополя (*Populus sp.*) – 3-е скрещивание Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Молодые саженцы прижились у сосны на 29,4% и у тополя – на 36,4%. Отмечено засыхание верхушки у отдельных особей молодых саженцев тополя. По этим предварительным результатам использование сосны и тополя в качестве посадочного материала при рекультивации полигонов ТКО путем нанесения грунтов техногенных с посадкой в них вышеприведенных видов мало перспективно и нуждается в дальнейших исследованиях.

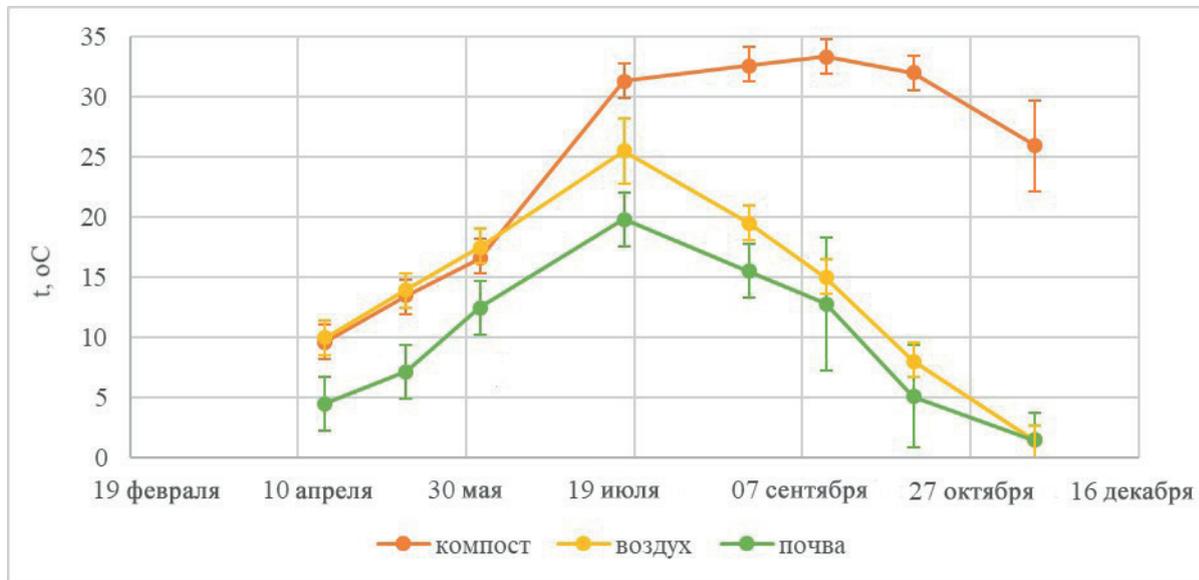
Необходимо подчеркнуть, что визуальные наблюдения, проводимые и после 2-го укоса, выявили, что на большинстве опытных площадок активная вегетация продолжалась гораздо дольше обычного, вплоть до ноября. Эта особенность, по нашему мнению, связана со специфическим температурным режимом на полигоне при использовании грунта техногенного в качестве поверхностного слоя, а именно, со значительно более высокими температурами корнеобитаемого слоя по сравнению с фоновыми почвами.

Известно, что органические субстраты (органические удобрения – навоз, помет, бытовые и пищевые отходы,

торфокомпосты) при компостировании могут значительно нагреваться вследствие экзотермических реакций. Так, навоз при компостировании в буртах может разогреваться до температуры 60–70 °С, на чем основано его обеззараживание от семян сорной растительности и патогенной микрофлоры [16]. Для полигонов ТКО значительное разогревание масс внутри массива отходов и образование биогазов – одна из серьезных экологических проблем. Однако, с другой стороны, в практике овощеводства широко распространены методы выращивания таких культур, как тыква и кабачки, на компостных «подушках», что обеспечивает для этих теплолюбивых растений оптимальный температурный режим. В этой связи был изучен температурный режим корнеобитаемого слоя грунта техногенного в течение вегетационного сезона, поскольку он является одним из важнейших экологических факторов для роста растений. Сравнения проводили с температурой фоновой почвы, расположенной в непосредственной близости от полигона. Полученные результаты обобщены на рис. 1.

Установлено, что для техногрунта из компоста ТБО свойствен специфический температурный режим, связанный с активным протеканием экзотермических процессов биохимического разложения органического вещества, вследствие чего наблюдалось увеличение температуры корнеобитаемого слоя с середины лета до конца осени, и в октябре она составляла 27–32 °С, превышая дневную температуру воздуха на 20–24 °С. Такой своеобразный температурный режим позволил продлить вегетационный период злаковых многолетних трав до декабря 2017 г.

Известно, что основным неблагоприятным фактором, препятствующим широкому применению компостов/грунтов техногенных из ТКО в качестве удобрений или плодородного грунта при озеленении, является повышенное содержание тяжелых металлов. Поэтому при использовании этих органических отходов в качестве удобрений или плодородных грунтов при рекультивации или в озеленении санитарно-химические исследования являются обязательными. Проведенными ранее исследованиями [10] было установлено, что все изученные пробы компоста соответствовали нормативам для компостов из ТБО/ТКО. По двум элементам – свинцу (три пробы) и меди (одна проба) – отмечено незначительное превышение нормативов для компостов ТБО – в 1,1–1,3 раза. Тем не менее, в данном эксперименте было сочтено целесообразным оценить экологическую безопасность выросших на исследуемом грунте техногенном трав и определить в них содержание нормируемых санитарными нормами показателей – тяжелых металлов и нитратов, поскольку на объектах с высоким уровнем содержания токсичных элементов необходимо контролировать химический состав естественно произрастающего или искусственно созданного травостоя. Так как



**Рис. 1.** Изменение температуры корнеобитаемого слоя техногрунта (компоста из ТБО), воздуха и почвы в течение вегетационного сезона. Точки: средние по четырем измерениям. Окончания «усов» – минимальные и максимальные результаты измерений

Табл. 3

**Содержание нитратов и металлов (мг/кг) в зеленой массе растений**

Показатель	Усредненные показатели по двум укосам				Допустимый уровень
	Смесь 3	Смесь 6	Смесь 7	Контроль	
Нитраты	254,5	312,1	405,0	686,5	500
Медь	1,24	1,55	1,85	0,90	30,0
Свинец	1,32	0,52	0,75	0,25	5,0
Кадмий	0,049	<0,01	<0,01	0,012	0,3
Никель	0,167	0,028	0,247	<0,01	3,0
Цинк	18,38	36,58	45,49	46,18	50,0
Марганец	3,73	6,58	6,22	10,26	–
Железо	60,36	21,38	26,89	12,12	100
Хром	<0,10	<0,10	<0,10	0,029	0,5
Кобальт	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	2,0
Ртуть	0,014	<0,001	<0,001	<0,001	0,05

использованные в эксперименте культуры потенциально могут рассматриваться как кормовые для сельскохозяйственных животных, сравнение полученных результатов проводили по существующей в РФ системе оценки кормов для сельскохозяйственных животных, а именно: содержание токсичных элементов – по ВМДУ 123-4/281-8-87, а содержание нитратов согласно нормам предельно допустимой концентрации (ПДК нитратов и нитритов в кормах для сельскохозяйственных животных и основных видах сырья для комбикормов, утв. Главным государственным ветеринарным инспектором СССР 18 февраля 1989 г.). В качестве контроля была использована

проба трав, отобранная с откоса, отсыпанного грунтом, образовавшимся в результате землеройных работ 5-го класса. Полученные результаты представлены в табл. 3.

В пробах растительных образцов, отобранных с участков нанесения грунта техногенного (травосмеси 3, 6, 7), превышения нормативов по содержанию токсичных элементов согласно ВМДУ 123-4/281-8-87 и превышения ПДК по содержанию нитратов не выявлено. Зафиксированное повышенное содержание нитратов в пробе трав, отобранной с откоса, отсыпанного грунтом, может быть связано с миграцией азотистых соединений с грунтовыми и поверхностными водами в корнеобитаемый слой.

## ВЫВОДЫ

– Грунт техногенный/компост из ТКО, использованный в качестве плодородного поверхностного слоя при рекультивации полигона, характеризуется благоприятными агрохимическими свойствами, слабо загрязнен тяжелыми металлами и пригоден для роста и развития травянистых растений.

– Опыты, проведенные по подбору ассортимента трав для рекультивации полигона ТБО/ТКО, выявили высокую эффективность злаковых растений (райграса пастбищного, райграса однолетнего, овсяницы луговой и овсяницы красной). Особенно перспектив-

ными являются овсяницы, особенно сорт Шведская селекции ЛенНИИСХ «Белогорка».

– Травы, выросшие на грунте техногенном, не превышают допустимых значений по содержанию тяжелых металлов и нитратов и являются экологически безопасными даже при использовании их в сельском хозяйстве.

– Требуется масштабирование подобного рода исследований, особенно для условий с небогатými почвами и тяжелыми климатическими условиями, где применение грунтов техногенных позволит нивелировать неблагоприятные условия местопроизрастания окружающей среды.

## Литература

### Список русскоязычной литературы

1. Арчегова ИБ, Панюков АН, Кузнецова ЕГ, Ковалева ВА. Роль биологического фактора в процессе формирования почвы в таежной зоне. Вестн СПбГУ Сер 3 Биол. 2016;2:127-39.
2. Ашихмина ТВ. Геоэкологический анализ состояния окружающей среды и природоохранные рекомендации в районе расположения полигонов ТБО Воронежской области. Автореф дисс. ... канд геол наук. Воронеж; 2014.
3. Барцев ИА, Трофимов ОВ, Доценко ИС. Анализ стратегий утилизации и переработки ТБО в Российской Федерации. Управление экономическими системами. 2013;9(57):34.
4. Бехтин НС. Методические указания ВИК по селекции многолетних трав. М.; 1985.
5. Вендюлис ЛС, Скорик ЮИ, Флоринская ТМ. Система обращения с отходами: принципы организации и оценочные критерии. СПб.: ПИЯФ РАН; 2007.
6. Девяткин В. Обращение с отходами: отечественный и зарубежный опыт. Экол вестн России. 2009;2:37-40.
7. Жилинская ЯА. Рекультивация полигонов захоронения твердых бытовых отходов продуктами механо-биологической переработки отходов. Автореф дисс. ... канд техн наук. Пермь; 2010.
8. Застенский ЛС. Эколого-агротехнические основы облесения рекультивируемых карьеров. Автореф дисс. ... д-ра с.-х. наук. Л.; 1983.
9. Зеньков ИВ, Мордвинов АВ, Волков АВ, Сибирякова ОВ, Кирюшина ЕВ, Вокин ВН. Технология формирования почвенного слоя в рекультивации земельных участков под промышленными и твердыми бытовыми отходами. Экология и промышленность России. 2013;3:40-3.

10. Малюхин ДМ, Бакина ЛГ, Орлова ЕВ, Орлова ЕЕ. Агроэкологическая оценка органомных субстратов, используемых при рекультивации полигона ТБО. Агрохимия. 2016;10:80-8.
11. Малюхин ДМ, Колычев НА, Бакина ЛГ, Теплякова ТЕ. Техногенный грунт из органической фракции ТКО. Твердые бытовые отходы. 2018;5(143):40-4.
12. Подлипский ИИ. Полигоны бытовых отходов как объекты геологического исследования. Вестн СПбГУ Сер 7 Геол Геогр. 2010;1:15-31.
13. Поздняков ВА, Бекушева ТН, Поздняков АВ. Гармонизация биогеохимических анкетных данных и мест репродукции новых сортов многолетних трав. Труды Кубанского ГАУ. 2016;5(62):101-4.
14. Пронько НА, Крашенинников ДА, Афонин ВВ. О восстановлении нарушенных свалками и полигонами земель Саратовской области. Аграрный научный журн. 2017;2:20-3.
15. Соколов АВ, ред. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука; 1975.
16. Тюрин ВГ, Мысова ГА, Бирюков КН, Аббасов ТГ. Режимы обеззараживания навоза при ускоренном его компостировании. Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2012;2(8):58-60.
17. Удовенко ГВ. Солеустойчивость культурных растений. Л.: Колос; 1977.

### Общий список литературы/List of References

1. Archegova IB, Paniukov AN, Kuznetsova EG, Kovaleva VA. [The role of the biological factor in the process of soil formation in the taiga zone]. Vestnik SPbGU Ser 3 Biologiya. 2016;2:127-39. (In Russ.)
2. Ashihmina TV. Geoekologicheskii Analiz Sostoyaniya Okruzhayushey Sredy i Prirodokhrannye

- Rekomendatsii v Rayone Raspolozheniya Poligonov Voronzhskoy Oblasti. [Geoecological Analysis of Environmental Conditions and Environmental Recommendations in the Area of Solid Waste Landfills of Voronezh Region]. Candidate of Geological Sciences theses. Voronezh; 2014. (In Russ.)
3. Bartsev IA, Trofimov OV, Dotsenko IS. [Analysis of strategies for disposal and recycling of solid waste in the Russian Federation]. Upravlenie Ekonomicheskimi Sistemami. 2013;9(57):34. (In Russ.)
  4. Bekhtin NS. Metodicheskiye Ukazaniya VIK po Selektzii Mnogoletnykh Trav. [Methodological Guidelines for Breeding of Perennial grass]. Moscow; 1985. (In Russ.)
  5. Ventsulis LS, Skorik YuI, Florinskaya TM. Sistema Obrashcheniya s Otkhodami: Printsipy Organizatsii i Otsenochnye Kryterii. [Waste Management System: Principles of Organization and Evaluation Criteria]. Saint Petersburg: PIYAF RAN; 2007. (In Russ.)
  6. Deviatkin V. [Waste management: domestic and foreign experience]. Ekologichyeskiy Vestnik Rossii. 2009;2:37-40. (In Russ.)
  7. Zhilinskaya YaA. Rekultivatsiya Poligonov Zakhoroneniya Tverdykh Bytovykh Otkhodov Produktami Mekhano-Biologicheskot Pererabotki Otkhodov. [Reclamation of Solid Household Waste Products Landfills with Products of Mechano-Biological Waste Treatment]. Candidate of Technical Sciences theses. Perm'; 2010. (In Russ.)
  8. Zastenskiy LS. Ekologo-Agrotekhnicheskiye Osnovy Obleseniya Rekultiviruyemykh Karyerov. [Ecological-Agrotechnical Foundations of Afforestation of Quarries under Reclamation]. Candidate of Sciences theses. Leningrad; 1983. (In Russ.)
  9. Zenkov IV, Mordvinov AV, Volkov AV, Sibiriakova OV, Kiriushina EV, Vokin VN. [Technology for soil layer formation upon reclamation of lands occupied with industrial and solid waste]. Ekologiya i Promyshlennost Rossii. 2013;3:40-3. (In Russ.)
  10. Maliukhin DM, Bakina LG, Orlova YeV, Orlova YeYe. [Agroecological assessment of organogenic substrates used in landfill reclamation]. Agrokhimiya. 2016;10:80-8. (In Russ.)
  11. Maliukhin DM, Kolychev NA, Bakina LG, Teplyakova TYe. [Artificial soil from the organic fraction of solid household waste]. Tverdye Bytovye Otkhody. 2018;5(143):40-4. (In Russ.)
  12. Podlipskiy II. [Landfills as an object of geological research]. Vestnik SPbGU Ser 7 Geol Geogr. 2010;1:15-31. (In Russ.)
  13. Pozdnyakov VA, Bekusheva TN, Pozdnyakov AV. [Harmonization of biogeochemical profile data and places of reproduction of new varieties of perennial herbs]. Trudy Kubanskogo GAU. 2016;5(62):101-4. (In Russ.)
  14. Pronko NA, Krashennikov DA, Afonin VV. [On the restoration of lands affected by dumps and landfills in Saratov region]. Agrarniy Zhurnal. 2017;2:20-3. (In Russ.)
  15. Sokolov AV, ed. Agrohicheskkiye Metody Issledovaniya Pochv. [Agrochemical Methods of Soil Research]. Moscow: Nauka; 1975. (In Russ.)
  16. Tiurin VG, Mysova GA, Biriukov KN, Abbasov TG. [Modes of disinfection of manure upon accelerated composting]. Problemy Veterinarney Sanitarii Gigieny i Ekologii. 2012;2(8):58-60. (In Russ.)
  17. Udovenko GV. Soleustoychivost Kulturnykh Rasteniy. [Salt Tolerance of Cultivated Plants]. Leningrad; 1977. (In Russ.)
  18. Environmental Indicator Report 2012 – Ecosystem Resilience and Resource Efficiency in a Green Economy in Europe. Copenhagen: EEA; 2012.