

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

DOI: 10.15593/2409-5125/2022.1.01

УДК 674.81

А.В. Артёмов, А.С. Ершова, А.В. Савиновских, В.Г. Буриндин

Уральский государственный лесотехнический университет

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО НЕДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ НА ЭЛЕМЕНТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Данное исследование посвящено оценке некоторых санитарно-гигиенических показателей биоразлагаемых материалов на основе лигноуглеводного (недревесного) сырья, оценке возможного воздействия самих изделий и продуктов их деструкции на окружающую среду, а также сопоставлению полученных результатов с торговым (коммерческим) биоразлагаемым материалом. Объектом исследования являются пластики без связующего на основе растительного сырья: березовый лиственный опад, порубочные остатки борщевика Сосновского, отходы в виде костры технической конопли. Получение пластиков без связующего на основе различных видов древесного (опилки, стружка лиственных и хвойных деревьев) и недревесного растительного сырья (остатки, биомасса однолетних и многолетних растений) обусловлено содержанием в структуре исходного сырья природных полимеров – целлюлозы, лигнина и гемицеллюлоз. При выполнении работы изучалось биоразложение материалов в окружающей среде, их деструкция с последующей эмиссией компонентов, которые могут оказывать неблагоприятное воздействие на экологические и санитарно-гигиенические показатели атмосферного воздуха, почвы и поверхностных и подземных водных объектов. Оценка пластиков по санитарно-гигиеническим показателям осуществлялась по эмиссии формальдегида, по изменению показателя pH почвы и воды. Выявлено, что эксплуатация пластиков без связующего на основе костры конопли, а также продукты деструкции данного материала в окружающей среде будут оказывать воздействие на природную среду в пределах установленных нормативов. Материалы, полученные на основе листового опада и борщевика Сосновского, не следует рекомендовать для применения без дополнительных исследований по экологическим и санитарно-гигиеническим показателям.

Ключевые слова: пластик, растительные отходы, лигноцеллюлозное сырье, биоразложение, санитарно-гигиенические показатели.

Одним из направлений решения мировой проблемы по эффективной утилизации полимерных материалов и отходов в виде растительных остатков является их использование в качестве исходного сырья для производства композиционных материалов.

Результаты исследования [1] показали возможность и перспективу использования некоторых отходов деревообрабатывающей промышленности в качестве наполнителей для производства полимерных композиционных материалов с необходимыми потребительскими свойствами. Древесные композиционные материалы с биоразлагаемыми полимерами могут найти применение для производства изделий с требуемой динамикой изменения их физико-механических свойств и биоразложения в грунте после их эксплуатации.

В обзоре [2] обращено внимание на промышленное производство композитов с полимерной матрицей из двух или более смесей полимеров и предложена альтернатива для снижения себестоимости производимой продукции. Эти смеси в различных комбинациях использовались для производства традиционных и биоразлагаемых полимерных материалов, чтобы улучшить некоторые механические свойства, урегулировать жизненный цикл продукта и снизить производственные затраты.

В работе [3] предлагается переход на полимерные материалы на основе возобновляемого растительного сырья, в частности полилактидов, полигидроалканатов и др. В данном исследовании представлены результаты анализа полимолочных древесно-порошковых композиционных материалов, термически модифицированных высокими температурами в диапазоне от 200 до 240 °С. Проведенное исследование позволяет определить рациональные области использования композиционных материалов как эффективного фактора управления природными ресурсами.

Результаты научных исследований [4] полимерных композитов с термопластичной полимерной матрицей и лигноцеллюлозными наполнителями (TPLC) показывают, что на их свойства, в том числе и на срок биоразложения, может существенно влиять не только физическая, но и химическая структура всех компонентов данных композитов. Именно химические свойства полимерной матрицы, наполнителей и добавок различного назначения могут влиять на эффективность промышленного производства TPPLC.

В статье [5] описываются результаты исследования композита на основе полимера, способного к саморазложению, – поливинилового спирта и древесного наполнителя. Таким образом, регулируя температуру модифицирования древесного наполнителя, можно задавать время биоразложения композитов в естественной среде, что дает возможность изготовления изделий с заранее требуемыми параметрами разложения.

Получение пластиков без добавления связующих (ПБС) на основе различных видов древесного (опилки, стружка лиственных и хвойных деревьев) и недревесного растительного сырья (остатки, биомасса однолет-

них и многолетних растений) обусловлено содержанием в структуре исходного сырья целлюлозы, лигнина и гемицеллюлоз [6–8].

Установлено [9], что в первые сутки экспозиции в активном грунте наблюдается увеличение модуля упругости при изгибе у ПБС на основе свежих опилок. В первую очередь это обусловлено насыщением избыточной влагой грунта, которая приводит к первичному разбуханию образцов и увеличению их линейных размеров. Образцы на основе композиции из подгнивших опилок с первых суток выдержки имели тенденцию к ухудшению физико-механических показателей, а на 56-е сутки уже стали непригодны для испытаний.

В работе [10] рассматривается переработка сельскохозяйственных и деревообрабатывающих отходов в биоразлагаемые пластики без добавления связующих веществ на основе растительного сырья (шелуха проса и шелуха пшеницы, опилки сосны). Выдержка образцов ПБС в активном грунте в течение трех недель привела к снижению их физико-механических свойств: твердость снизилась на 66, 70 и 62 %, число упругости – на 43, 47 и 46 %, а модуль упругости при изгибе на 76, 80 и 73 % для образцов на основе сосновых опилок, проса и шелухи пшеницы соответственно. Прочность при изгибе и предел текучести снизились на 64 и 63 % для ПБС на основе древесины, на 60 и 68 % для образцов на основе растительных остатков соответственно.

Рассмотрено [11] влияние поверхностной обработки сырья сульфатом меди на свойства растительных пластиков без добавления связующих веществ (РП-БС). Изучена динамика изменения физико-механических свойств РП-БС на основе шелухи пшеницы при обработке сульфатом меди, по отношению к активному грунту в течение трех недель. Установлено, что на биостойкость влияет способ введения антисептика в пластик. После испытаний на биодеградацию выявлено повышение прочностных свойств и водостойкости у материала РП-БС на основе шелухи пшеницы с добавлением сульфата меди и при дополнительной поверхностной обработке им.

Рассмотрена [12] возможность повышения биостойкости местного растительного сырья – стеблей борщевика Сосновского – с целью дальнейшего его использования для производства теплоизоляционных материалов. Применение составов на основе моноэтаноламин (N→B) тригидроксидбората (МЭАТГБ) для модифицирования поверхности образцов измельченных стеблей борщевика Сосновского эффективно повышает биостойкость материала. В ходе исследования установлены оптимальные условия модифицирования для получения стопроцентно биостойкого ма-

териала: концентрация модификатора 30 % по массе; температура модифицирования 25 °С, температура сушки 25 °С.

Установлено [13], что существенное значение для поддержания определенного уровня плодородия лесных почв имеет процесс разложения гумуса микроорганизмами микроартроподами. Варианты эксперимента предусматривали деструкцию опада в температурных режимах +30; +100; +200 °С: а) при участии микроорганизмов; б) при участии микроорганизмов и вида ногохвосток *Sinella coeca*. Общая длительность наблюдений 7 мес. Эксперимент показал, что скорость микробиологического разложения листового опада березы зависит от температурного режима. Образцы при температуре разложения +200 °С при участии микроартропод и микроорганизмов подвергаются максимальной деструкции. За 7 мес. эксперимента разложению подверглось 42,7 % всей массы опада.

Представлены результаты [14] экспериментальных исследований по изучению комплекса физико-химических и биотехнологических параметров, обеспечивающих оптимальные условия для реализации биодеструктивных свойств используемого экобиопрепарата для нейтрализации промышленных отходов нитроцеллюлозы. Установлено, что полная биологическая деструкция нитроцеллюлозы с применением экобиопрепарата «Центрум-MMS» происходит при условиях: концентрация водородных ионов 6,2...7,8 ед. рН; температура окружающей среды 25...30 °С; удельная концентрация биологического препарата (при концентрации 107...108 кл·см⁻³) 5 %; продолжительность воздействия препарата 28 сут; кратность применения препарата 2...3 раза; уровень аэрируемости 5...20 мг·дм⁻³; количество биостимуляторов: суперфосфат гранулированный 5,0, калий хлористый 1,15 г·дм⁻³. Рекультивация содержимого прудков-накопителей после биодеструкции нитроцеллюлозы не требуется.

Описаны результаты эксперимента [15] по влиянию факторов (температуры и влажности) на скорость разложения растительного опада основных растений-торфообразователей болотных экосистем южнотаежной подзоны Западной Сибири (*Sphagnum fuscum*, *Chamaedaphne calyculata*, *Eriophorum vaginatum*) на начальных этапах разложения (3 мес.). Показано, что на динамику и интенсивность выделения CO₂ в процессе эксперимента заметное влияние оказывают все изучаемые факторы: температура, влажность и вид растительного опада. Во всех растительных образцах на начальных этапах разложения наблюдали усиленное выделение CO₂, вызванное всплеском активности микроорганизмов-деструкторов и наличием легкодоступных соединений в составе опада.

Выполнены исследования [16] химического состава почв и растений жилой и парковой зон Архангельска. Выполнен агрохимический и химический анализ по определению содержания некоторых макро-, микроэлементов и высокотоксичных поллютантов, в том числе и тяжелых металлов. В городских почвах содержится значительное количество свинца, мышьяка, подвижной меди, но довольно мало подвижных форм железа, цинка, кобальта и никеля. Большинство почв можно отнести к слабо- и среднезагрязненным с напряженной оценкой экологической обстановки. Отдельные пробные площади имеют высокий уровень загрязнения почвенного покрова с кризисной оценкой экологической обстановки, категория загрязнения их довольно опасная.

В работе [17] проведена оценка биомассы растений на содержание металлов-этоксикантов деревьев городской среды (береза, осина, яблоня) и биомассы крупных культур. В качестве биомассы крупных культур исследовали плодовые оболочки гречихи и солому овса (Челябинская область, 2018), плодовые оболочки и солому риса (Краснодарский край, 2019). Установлено, что поверхность листьев деревьев, расположенных вдоль автодорог, сорбирует соединения свинца с превышением 1,1–2,6 долей ПДК, соединения Си – в 6,8–14,2 раза; для цинка концентрации ниже значений ПДК. При горячей экстракции биомассы листьев установлено, что превышение содержания растворимых соединений свинца составляет 2,6–2,7 долей ПДК, для соединений цинка концентрации ниже значений ПДК. Накопление соединений меди не обнаружено. При делигнификации недревесного растительного сырья за счет эффекта накопления больше всего концентрированию подвержены соединения Fe, Zn, Pb, Sr, As, Cr, Cd. Наибольшее количество поллютантов содержится в плодовых оболочках гречихи. При делигнификации плодовых оболочек риса для всех поллютантов концентрация снижается. Это говорит о том, что большая часть тяжелых металлов входит в состав минерального компонента, а не в состав клеточной стенки.

Таким образом, деструкция материалов на основе растительного сырья в окружающей среде может приводить к эмиссии различных компонентов самого разрушаемого материала и оказывать неблагоприятное воздействие на различные аспекты окружающей среды по санитарно-гигиеническим показателям. При этом данное воздействие в первую очередь будет обусловлено не компонентами распада материала пластика, а веществами самого сырья, которые были приобретены ранее, в том числе в период вегетации растений.

Исходя из вышесказанного в работе поставлена цель – исследование санитарно-гигиенических показателей предлагаемых биоразлагаемых материалов на основе лигноуглеводного сырья (на основе растительных остатков) для оценки возможного воздействия самих изделий и продуктов их деструкции на окружающую среду, а также сопоставление полученных данных показателей с торговым (коммерческим) изделием на основе биоразлагаемого материала.

Экспериментальная часть. В качестве исходного сырья использовались следующие растительные остатки (биомасса): листовой опад березы Бородавчатой (*Betula pendula*), борщевика Сосновского (*Heracleum Sosnowskyi Manden*) и костры конопли технической (*Cannabis sativa L.*). Фракционный состав пресс-сырья 0,7 мм.

Морфологические и химические показатели исходного пресс-сырья представлены в табл. 1.

Таблица 1

Компонентный состав и влажность растительного пресс-сырья

№	Сырье	Источник образования	Показатель, %		
			лигнин (ГОСТ 11960)	целлюлоза (Кюршнера – Хоффера)	влажность (ГОСТ 16932)
1	Листовой опад березы Бородавчатой (<i>Betula pendula</i>)	Отходы лесопарковой зоны	30	11	12
2	Биомасса борщевика Сосновского (<i>Heracleum Sosnowskyi Manden</i>)	Порубочные остатки	26	34	12
3	Костра конопли технической (<i>Cannabis sativa L.</i>)	Отходы производства	12	33	12

Методом горячего компрессионного прессования в закрытой пресс-форме были изготовлены образцы ПБС в виде дисков диаметром 90 мм и толщиной 3 мм.

Условия прессования:

- давление 40 МПа;
- температура 170 °С;
- продолжительность прессования 10 мин;
- продолжительность охлаждения под давлением 10 мин;
- продолжительность кондиционирования 24 ч.

Оценка физико-механических свойств полученных ПБС осуществлялась по модулю упругости при изгибе образцов [18].

Оценка ПБС по санитарно-гигиеническим показателям осуществлялось:

1. По влиянию на атмосферный воздух по эмиссии компонентов деструкции (по выделению формальдегида).

Оценка ПБС по влиянию на атмосферный воздух выполнялась по эмиссии формальдегида по методу WKI [19]. Для количественного определения формальдегида по методу WKI использовались образцы размерами $20 \times 20 \times 3$ мм.

2. По влиянию на почвенный покров по эмиссии компонентов деструкции (по изменению pH почвы).

Для депонирования образцов в почве из полученных пластиков подготавливались образцы в виде квадратов $20 \times 20 \times 3$ мм. Исследуемые образцы ПБС помещались в контейнер с грунтом на глубину от 5 см в горизонтальном положении. После внесения образцов в грунт производилось его засеивание семенами трав. Для засева применялась следующая травосмесь (используемая для биологического этапа рекультивации нарушенных земель): кострец безостый – 40 %, тимофеевка луговая – 10 %, овсяница луговая – 10 %, овсяница красная – 30 %, пырей ползучий – 10 %. В качестве почвогрунта был принят грунт для рассады ТУ 0392-001-59264059-03. Перед началом испытания был определен pH исходной почвы (контроль). Время выдержки образцов в грунте при комнатной температуре (20 ± 2 °C) и влажности грунта 40 ± 5 % составило 90 сут. После выдержки образцов (7, 14, 21, 30, 60 и 90 сут) грунт изымался для определения его pH. Уровень pH почвы определялся согласно ГОСТ 26423-85 «Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки».

3. По влиянию на поверхностные и подземные водные объекты по эмиссии компонентов деструкции (по изменению pH воды).

Для депонирования образцов в воде из полученных пластиков подготавливались образцы в виде квадратов $20 \times 20 \times 3$ мм. Образцы для испытаний помещали в сосуд и наливали в него дистиллированную воду так, чтобы образцы полностью были покрыты водой, не соприкасались между собой и со стенками сосуда. Выдержка образцов ПБС в воде осуществлялась при температуре 22 ± 1 °C в течение 24 ч. Перед началом испытания был определен уровень pH исходной воды (контроль). После выдержки образцов определялся уровень pH воды согласно ГОСТ 4650-80 (СТ СЭВ 1692-79) «Пластмассы. Метод определения водопоглощения (с Изменением № 1)».

В качестве объекта сравнения использовались образцы в виде квадратов размером 20 × 20 мм из одноразовой биоразлагаемой посуды (тарелки) на основе сахарного тростника (багасса) торговой марки «Green» фирмы ООО «Мистерия» (далее БМб).

Результаты и обсуждение. У полученных образцов пластика были определены физико-механические свойства. Значения физико-механических показателей образцов ПБС приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения физико-механических показателей образцов ПБС

Физико-механические свойства ПБС	Исходное пресс-сырьё		
	листовой опад (ПБСл)	борщевик (ПБСб)	конопля (ПБСк)
Плотность, кг/м ³	1088	1024	999
Модуль упругости при изгибе, МПа	1155	1583	1181

По показателю модуля упругости при изгибе ПБС можно косвенно судить о физико-механических свойствах полученных материалов, которые оказались приемлемыми для дальнейших испытаний [18].

Оценка влияния ПБС на атмосферный воздух

Результаты определения содержания формальдегида по методу WKI в образцах ПБС представлены в табл. 3.

Таблица 3

Значения содержания свободного формальдегида в образцах ПБС

Пластик	Содержание формальдегида мг на 100 г абсолютно сухой плиты (по методу WKI)	Влажность пласти- ков, %	Коэф- фициент <i>F</i>	Содержание формальдегида к влажности 6,5 %, мг/ 100 г плиты	Стандарты по эмис- сии формальдегида для ДСтП Е0,5 формальдегида, мг/100 г плиты
ПБСл	2,6	5,1	1,18	3,8	4,0
ПБСб	2,5	5,1	1,18	3,7	4,0
ПБСк	0,8	4,9	1,21	2,0	4,0

С учетом положений ГОСТ 10632-2014 «Плиты древесно-стружечные. Технические условия» содержание выделяемого формальдегида из образцов ПБС приводилась к единой влажности (содержание формальдегида в плите установлено для плит с абсолютной влажностью 6,5 %).

Выделение формальдегида наблюдается в интервале 2,0–3,8 мг/100 г. Наибольшее выделение формальдегида из пластиков наблюдается у ПБСл

(3,8 мг/100 г). По-нашему мнению, выделение свободного формальдегида из пластиков обусловлено:

а) различным содержанием лигнина в исходном пресс-сырье. Исходя из предполагаемых химических реакций лигнина с формальдегидом с образованием сшитого полимера [20] можно предположить, что при наименьшем содержании лигнина в исходном пресс-материале требуется наименьшее количество формальдегида на образование фрагментов сшитого полимера. Соответственно тем выше выделение свободного формальдегида из готового материала;

б) различными видами лигнинов: лигнины лиственных пород (двудольных покрытосеменных) и лигнины пород травянистых растений различаются относительным содержанием G-, S- и H-единиц. Соответственно GS-лигнины (гваяцил-сирингильные) характерны для лиственных пород древесины, а GSH-лигнины (гидроксифенилгваяцилсирингильные) – для однодольных растений [21].

Оценка влияния ПБС на почвенный покров

В табл. 4 представлены результаты изменения рН почвы при выдержке в ней образцов.

Таблица 4

Результаты изменения рН почвы при выдержке ПБС

Пластик	рН почвы при времени выдержки образцов, сут						
	0	7	14	21	30	60	90
ПБСл	6,53	5,28	6,09	6,36	6,49	6,55	6,57
ПБСб	6,53	5,12	6,00	6,29	6,45	6,53	6,56
ПБСк	6,53	6,30	6,43	6,47	6,49	6,51	6,52
БМб	6,53	6,38	6,39	6,50	6,53	6,53	6,52
Контроль (грунт)	6,53	6,53	6,52	6,53	6,55	6,53	6,51

Наибольшее снижение кислотности почвы при выдержке образцов на первоначальном этапе выявлено у пластиков на основе листового опада и биомассы борщевика (ПБСл рН = 5,28 и 5,12 соответственно) и достигается на седьмые сутки выдержки в грунте (см. табл. 4).

Изменение рН почвы при выдержке ПБС может быть обусловлено рядом причин:

а) естественное выделение несконденсированных органических кислот в результате образования пластика, которые выделились из пресс-материала [22];

б) выделение избыточного формальдегида, который не вступил в реакции поликонденсации с компонентами целлюлозы и лигнина при структурообразовании пластика. Водный раствор формальдегида – формалин – имеет величину рН, которая колеблется от 2,8 до 4,0.

Низкое значение рН растительных пластиков на основе борщевика в первую очередь обусловлено, по нашему мнению, остаточным содержанием его сока, который содержит вещества из группы фуранокумаринов (псорален, бергаптен, метоксален). Кумарины – природные фенольные гетероциклические соединения, производные цис-ортооксикоричной кислоты, в основе строения которых лежит 9,10-бензо- α -пирон (ненасыщенный ароматический лактон цис-орто-оксикоричной кислоты). Кумарины имеют значение рН от 4 до 6 [23].

При выдержке образцов в почве выявлено, что в образцах БМб на основе сахарного тростника, вследствие их естественного разложения, происходит изменение показателя рН почвы – он принял кислую среду. В основу состава образцов БМб входит углевод сахара. Она не содержит свободных альдегидных групп, поэтому является невосстанавливающимся сахаром. Сахароза является слабой кислотой с величиной константы диссоциации такого же порядка, как и вода [24].

Оценка влияния ПБС на водные объекты

В табл. 5 представлены результаты изменения рН воды при выдержке в ней образцов ПБС.

Таблица 5

Значения результатов измерения рН воды после выдержки в ней образцов ПБС

Пластик	рН воды	
	до выдержки (контроль)	после выдержки
ПБСл	7,10	4,69
ПБСб	7,10	4,45
ПБСк	7,10	6,60
БМб	7,10	6,96
Контроль (вода)	7,10	7,10

Наибольшее снижение рН воды при выдержке образцов в течение суток наблюдалось у ПБСл (6,12), наименьшее – у ПБСб (6,73).

Изменение рН воды при выдержке образцов обусловлено:

а) для образцов ПБС происходит процесс гидролиза с выделением веществ. Так как у ПБС идет выделение несконденсированных органических кислот (муравьиной и уксусной) [22], рН воды становится кислой;

б) при выдержке образцов в воде выявлено, что в образцах БМб на основе сахарного тростника, вследствие их естественного разложения, происходит изменение рН воды – вода за период выдержки образца изменяет значения в сторону кислой среды. В основу состава образцов БМб входит сахароза, которая является слабой многоосновной кислотой [24].

Выводы. Можно сделать следующие выводы о влиянии на некоторые санитарно-гигиенические показатели ПБС на различном недревесном растительном сырье (рисунки):

1. Эмиссия формальдегида по методу WKI для всех образцов ПБС соответствует существующим требованиям по выделению эмиссии формальдегида стандарта Е 0,5 (4,0 мг/100 г) согласно ГОСТ 10632-2014 3 «Плиты древесно-стружечные. Технические условия».

2. Показатель рН естественной почвы, который зависит в первую очередь от минерального состава, в проведенном эксперименте варьировался с 5,12 до 6,57, т.е. на протяжении всего эксперимента изменений рН, связанных с внешними условиями (влажностью почвы, температурой окружающей среды), не осуществлялось.

Согласно ГОСТ 17.5.3.06-85 «Охрана природы (ССОП). Земли. Требования к определению норм снятия плодородного слоя почвы при производстве земляных работ» величина рН водной вытяжки в плодородном слое почвы должна составлять 5,5–8,2.

Изменение рН почвы наблюдалось в разной степени в первый месяц выдержки у всех образцов ПБС. Это говорит о том, что интенсивная миграция химических веществ из материалов на основе ПБС, которые влияют на существующий уровень рН почвы, проходит на начальном этапе, когда происходит насыщение образцов избыточной водой из самой почвы. Далее наблюдается выравнивание рН почвы до естественных условий (вероятнее всего из-за добавляемой воды для поддержания постоянной влажности).

3. Исходный уровень рН используемой воды в проведенном эксперименте составлял 7,1 (нейтральная среда). В ходе выдержки образцов ПБС в воде в течение 24 ч, показатель рН исследуемой воды изменился до слабокислого (от 4,45 до 6,60).

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» нормативный показатель рН для воды питьевой централизованного и нецентрализованного водоснабжения, а также для водоисточников хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования должен находиться в пределах 6,0–9,0.

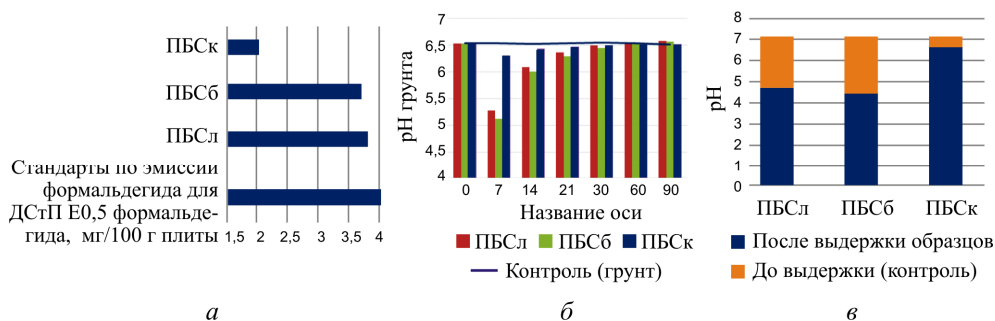


Рис. Результаты экологической оценки образцов ПБС по санитарно-гигиеническим показателям: *а* – по выделению формальдегида; *б* – по изменению рН почвы; *в* – по изменению рН воды

Таким образом, по выделению формальдегида, по изменению рН почвы и воды эксплуатация материалов ПБС на основе костры конопли, а также продукты деструкции данного материала в окружающей среде будут оказывать воздействие на природную среду в пределах требований, установленных природоохранным и санитарно-эпидемиологическим законодательством.

Материалы, полученные на основе листового опада и борщевика Сосновского, не следует рекомендовать для применения без дополнительных исследований по экологическим и санитарно-гигиеническим показателям.

Библиографический список

1. Глухих В.В., Шкуро А.Е. Получение древесных композитов для уменьшения вредного воздействия на окружающую среду твёрдых отходов // *Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды XVI Междунар. евраз. симпозиума, Екатеринбург, 21–24 сентября 2021 г.* / под науч. ред. В.Г. Новоселова; Мин-во науки и высшего образования РФ, Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2021. – С. 74–78.
2. Transition to biodegradable composites as a method for solving environmental problems / G. Sabirova, R. Safin, S. Mukhametzyanov, N. Galyavetdinov // *E3S Web of Conferences, Saint-Petersburg, 23–26 ноября 2020 г.* – Saint-Petersburg, 2020. – P. 01004. DOI 10.1051/e3sconf/202022101004
3. Daria M., Krzysztof L., Jakub M. Characteristics of biodegradable textiles used in environmental engineering: A comprehensive review // *Journal of Cleaner Production.* – 2020. – Vol. 268. – P. 122129. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.122129
4. Glukhikh V.V., Shkuro A.E., Krivonogov P.S. The effect of chemical composition on the biodegradation rate and physical and mechanical properties of polymer composites with lignocellulose fillers // *Bulletin of the Karaganda University. Chemistry Series.* – 2021. – No 3 (103). – P. 83–92. DOI 10.31489/2021Ch3/83-92
5. Сафин Р.Р., Ахунова Л.В. Влияние температуры термического модифицирования древесного наполнителя на биодеструкцию композита // *Деревообрабатывающая промышленность.* – 2016. – № 2. – С. 36–40.
6. Минин А.Н. Производство пьезотермопластиков из древесных отходов без добавления связующих. – Минск: Высшейшая школа, 1961. – 180 с.
7. Петри В.Н. Плитные материалы и изделия из древесины и одревесневших растительных остатков без добавления связующих. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 143 с.
8. Катраков И.Б. Древесные композиционные материалы без синтетических связующих. – Барнаул: Алтайский гос. ун-т, 2012. – 164 с.

9. Артемов А.В., Савиновских А.В., Бурындин В.Г. Влияние гнили древесины на эксплуатационные свойства пластиков без связующего // Вестник Технологического университета. – 2021. – Т. 24, № 2. – С. 36–40.
10. Plastics: physical-and-mechanical properties and biodegradable potential / V. Glukhikh, P. Buryndin, A. Artyemov [et al.] // Foods and Raw Materials. – 2020. – Vol. 8, № 1. – P. 149–154. DOI 10.21603/2308-4057-2020-1-149-154
11. Использование сульфата меди для получения биостойких растительных пластиков / А.В. Савиновских, А.В. Артемов, А.Е. Шкуро [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2020. – № 3. – С. 61–81. DOI 10.15593/2224-9400/2020.3.05
12. Повышение биостойкости стеблей борщевика Сосновского в качестве сырья для производства строительных материалов / И.В. Степина, М. Содомон, В.С. Семенов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2021. – № 2 (746). – С. 79–91. DOI 10.32683/0536-1052-2021-746-2-79-91
13. Дерешева З.В. Влияние микроартропод и микроорганизмов на разложение листового опада березы // Развитие современной науки: Теоретические и прикладные аспекты: сб. ст. – Пермь, 2017. – С. 119–120.
14. Забокрицкий А.А., Савиных Д.Ю. Изучение комплекса физико-химических и биотехнологических параметров, обеспечивающих оптимальные условия биологической деструкции нитроцеллюлозы // Деревообрабатывающая промышленность. – 2018. – № 4. – С. 90–94.
15. Влияние абиотических факторов на разложение опада растений-торфообразователей в инкубационном эксперименте / Л.Г. Никонова, И.Н. Курганова, В.О. Лопес Гереню де [и др.] // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2019. – № 46. – С. 148–170. DOI 10.17223/19988591/46/8
16. Попова Л.Ф., Корельская Т.А. Роль почвы в накоплении тяжелых металлов и элементов питания растениями в условиях промышленного города // Вестник Поморского университета. Серия: Естественные и точные науки. – 2005. – № 2. – С. 48–55.
17. Вураско А.В., Первова И.Г., Шаповалова И.О. Содержание металлов в биомассе растений и в материалах на их основе // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2021. – № 234. – С. 250–266. DOI 10.21266/2079-4304.2021.234.250-266
18. Артемов А.В., Савиновских А.В., Бурындин В.Г. Модуль упругости при изгибе как показатель физико-механических свойств древесных пластиков без добавления связующих // Системы. Методы. Технологии. – 2021. – № 1 (49). – С. 67–71. DOI 10.18324/2077-5415-2021-1-67-71
19. Елистратова Е.С., Бубнов А.Г., Буймова С.А. Контроль качества древесных плит по остаточной концентрации формальдегида // Контроль качества продукции. – 2019. – № 7. – С. 57–61.
20. Савиновских А.В., Артемов А.В., Бурындин В.Г. Закономерности образования древесных пластиков без добавления связующих с использованием дифференциальной сканирующей калориметрии // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15, № 3. – С. 37–40.
21. Кабалин Г.А., Каницкая Л.В., Кушнерев Д.Ф. Количественная спектроскопия ЯМР природного органического сырья и продуктов его переработки. – М.: Химия, 2000. – 408 с.
22. Влияние сушки древесины на свойства древесных пластиков без добавления связующих / А.С. Ершова, А.В. Артемов, А.В. Савиновских, В.Г. Бурындин // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды XV Междунар. евраз. симпозиума, Екатеринбург, 6–8 октября 2020 г. / под науч. ред. В.Г. Новоселова; Мин-во науки и высшего образования РФ, Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. – С. 34–37.
23. Ткаченко К.Г. Борщевики (род *Hieracium* L): pro et contra // Биосфера. – 2015. – Т. 7, № 2. – С. 209–219.
24. Силин П.М. Вопросы технологии сахаристых веществ. – М: Пищепромиздат, 1950. – 298 с.

References

1. V.V. Glukhikh, A.E. Shkuro Production of wood composites to reduce the harmful environmental impact of solid waste. *Woodworking: Technologies, equipment, management of the XXI century: Proceedings of the XVI International Eurasian Symposium, September 21–24, 2021*. Yekaterinburg. Ural State Forestry University. 2021. pp. 74–78.

2. G. Sabirova, R. Safin, S. Mukhametzyanov, N. Galyavetdinov. Transition to biodegradable composites as a method for solving environmental problems. *E3S Web of Conferences, Saint-Petersburg, 23–26 November 2020*. Saint-Petersburg, 2020. pp. 01004. DOI 10.1051/e3sconf/202022101004
3. M. Daria, L. Krzysztof, M. Jakub. Characteristics of biodegradable textiles used in environmental engineering: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 2020, vol. 268, pp. 122129. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.122129
4. V.V. Glukhikh, A.E. Shkuro, P.S. Krivonogov. The effect of chemical composition on the biodegradation rate and physical and mechanical properties of polymer composites with lignocellulose fillers. *Bulletin of the Karaganda University. Chemistry Series*, 2021, no 3 (103), pp. 83–92. DOI 10.31489/2021Ch3/83-92
5. R.R. Safin, L.V. Akhunova. Influence of temperature of thermal modification of wood filler on biodestruction of composite. *Woodworking industry*, 2016, no. 2, pp. 36–40.
6. Minin A.N. Production of piezothermoplastics from wood waste without the addition of binders. Minsk: Higher School, 1961. 180 p.
7. Petri V.N. Plate materials and products made of wood and lignified plant residues without the addition of binders. *Forest industry*. Moscow. 1976. 143 p.
8. Katrakov I.B. Wood composite materials without synthetic binders. Barnaul: Altai State University, 2012. pp. 164.
9. Artemov A.V., Savinovskikh A.V., Buryndin V.G. The influence of wood rot on the operational properties of plates without binder. *Bulletin of the Technological University*, 2021, vol. 24, no. 2, pp. 36–40.
10. Glukhikh V., Buryndin P., Artyemov A. [et al.]. Plastics: physical-and-mechanical properties and biodegradable potential. *Foods and Raw Materials*, 2020, vol. 8, no. 1, pp. 149–154. DOI 10.21603/2308-4057-2020-1-149-154
11. Savinovskikh A.V., Artemov A.V., Skins A.E. [et al.]. The use of copper sulphate to obtain a bio-resistant plastics plant. *Bulletin of Perm national research Polytechnic University. Chemical technology and biotechnology*, 2020, no. 3, pp. 61–81. DOI 10.15593/2224-9400/2020.3.05
12. Stepina I.V., Sodomon M., Semenov V.S. [et al.]. Increasing the biostability of the stems of borscht of Sosnovsky as raw materials for the production of building materials *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Construction*, 2021, no. 2 (746), pp. 79–91. DOI 10.32683/0536-1052-2021-746-2-79-91
13. Deresheva Z.V. The influence of microarthropods and microorganisms on the decomposition of birch leaf litter. *The development of modern science: Theoretical and applied aspects: an article in the collection*. Perm. 2017, pp. 119–120.
14. Zabokritsky A.A., Savinykh D.Yu. Study of the complex of physico-chemical and biotechnological parameters providing optimal conditions for the biological destruction of nitrocellulose. *Woodworking industry*, 2018, no. 4, pp. 90–94.
15. Nikonova L.G., Kurganova I.N., Lopez V.O. Guerenu de [et al.] The influence of abiotic factors on the decomposition of the litter of peat-forming plants in an incubation experiment. *Bulletin of Tomsk State University. Biology*, 2019, no. 46, pp. 148–170. DOI 10.17223/19988591/46/8
16. Popova L.F., Korelskaya T.A. The role of soil in the accumulation of heavy metals and elements of nutrition by plants in the conditions of an industrial city. *Bulletin of the Pomeranian University. Series: Natural and Exact Sciences*, 2005, no. 2, pp. 48–55.
17. Vurasko A.V., Pervova I.G., Shapovalova I.O. The content of metals in plant biomass and in materials based on them. *Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy*, 2021, no. 234, pp. 250–266. DOI 10.21266/2079-4304.2021.234.250-266
18. Artemov A.V., Savinovskikh A.V., Buryndin V.G. Modulus of elasticity in bending as an indicator of the physico-mechanical properties of wood plastics without the addition of binders. *Systems. Methods. Technologies*, 2021, No. 1 (49), pp. 67–71. DOI 10.18324/2077-5415-2021-1-67-71
19. Elistratova E.S., Bubnov A.G., Bujnova S.A. Quality Control of wood-based panels residual concentration of formaldehyde. *Control product quality*, 2019, no. 7, pp. 57–61.
20. Savinovskikh A.V., Artemov A.V., Buryndin V.G. Regularities of the formation of wood plastics without the addition of binders using differential scanning calorimetry. *Bulletin of Kazan Technological University*, 2012, vol. 15, no. 3, pp. 37–40.

21. Kabalin G.A., Kanitskaya L.V., D.F. Kushnev Quantitative NMR spectroscopy of natural organic raw materials and products of its processing. *Chemistry*. Moscow. 2000. 408 p.
22. Ershova A.S., Artemov A.V., Savinovskikh A.V., Buryndin V.G. The influence of wood drying on the properties of wood plastics without the addition of binders. *Processing: Technologies, equipment, management of the XXI century: Proceedings of the XV International Eurasian Symposium, October 6–8, 2020, Yekaterinburg, October 06–08, 2020*. Yekaterinburg. Ural State Forestry University, 2020, pp. 34–37.
23. Tkachenko K.G. Borscheviki (genus *Heraculum* L): pro et contra. *Biosphere*, 2015, vol. 7, no. 2, pp. 209–219.
24. Silin P.M. Questions of technology of sugary substances. *Pishchepromizdat*. Moscow. 1950. 298 p.

A. Artyomov, A. Ershova, A. Savinovskikh, V. Bryndin

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF BIODEGRADABLE MATERIALS BASED ON PLANT NON-WOOD RAW MATERIALS ON ENVIRONMENTAL ELEMENTS

This study is devoted to the assessment of sanitary and hygienic indicators of biodegradable materials based on lignite-carbon (non-wood) raw materials, assessment of the possible impact of the products themselves and the products of their destruction on the environment, as well as the comparison of the results obtained a commercial biodegradable material. The object of the study is plastics without resins (PWR) based on vegetable raw materials: birch tree waste, cut residues of Sosnovsky hogweed, waste in the form of technical hemp boons. When performing the work, the biodegradation of materials in the environment and their destruction followed by the emission of components that can have an adverse effect on the environmental and sanitary-hygienic indicators of atmospheric air, soil and surface and underground water bodies were studied. The assessment of plastics by sanitary-hygienic indicators was carried out by the emission of formaldehyde and by changes in the pH of soil and water.

Keywords: plastic, vegetable waste, lignite-cellulose raw materials, biodegradation, sanitary and hygienic indicators.

Артёмов Артём Вячеславович (Екатеринбург, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров, Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург, Россия, e-mail: artemovav@m.usfeu.ru.

Ершова Анна Сергеевна (Екатеринбург, Россия) – аспирант кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров, Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург, Россия, e-mail: ershovaas@m.usfeu.ru

Савиновских Андрей Викторович (Екатеринбург, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров, Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург, Россия, e-mail: savinovskihav@m.usfeu.ru.

Бурьндин Виктор Гаврилович (Екатеринбург, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров, Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург, Россия, e-mail: buryndinvg@m.usfeu.ru.

Artyom Artyomov (Yekaterinburg, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of Department Technology pulp and paper industries and polymer processing of Federal State Budget Education Institution of Higher Education «The Ural State Forest Engineering University» (37/5, Siberian tract str., Yekaterinburg, 620100; e-mail: artemovav@m.usfeu.ru).

Anna Ershova (Yekaterinburg, Russian Federation) – Postgraduate Student of Department of Technology pulp and paper industries and polymer processing, Ural State Forest Engineering University (37/5, Siberian tract str., Yekaterinburg, 620100; e-mail: ershovaas@m.usfeu.ru).

Victor Buryndin (Yekaterinburg, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor of Department Technology pulp and paper industries and polymer processing, Ural State Forest Engineering University (37/5, Siberian tract str., Yekaterinburg, 620100; e-mail: buryndinv@m.usfeu.ru).

Andrey Savinovskih (Yekaterinburg, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of Department Technology pulp and paper industries and polymer processing, Ural State Forest Engineering University (37/5, Siberian tract str., Yekaterinburg, 620100; e-mail: savinovskihav@m.usfeu.ru).

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках научного проекта FEUG-2020-0013.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Поступила: 23.12.2021

Одобрена: 19.01.2022

Принята к публикации: 04.03.2022

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Оценка воздействия биоразлагаемых материалов на основе растительного недревесного сырья на элементы окружающей среды / А.В. Артёмов, А.С. Ершова, А.В. Савиновских, В.Г. Бuryндин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2022. – № 1. – С. 5–20. DOI: 10.15593/2409-5125/2022.1.01

Please cite this article in English as: Artyomov A., Ershova A., Savinovskih A., Bryndin V. Assessment of the impact of biodegradable materials based on plant non-wood raw materials on environmental elements. *PNRPU Bulletin. Applied ecology. Urban development*, 2022, no. 1, pp. 5-20. DOI: 10.15593/2409-5125/2022.1.01