

**А.В. Артёмов, А.В. Вураско, А.Е. Шкуро, В.Г. Бурындин**

**ИССЛЕДОВАНИЕ САНИТАРНО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ПРОДУКТАМИ  
БИОРАЗЛОЖЕНИЯ ПЛАСТИКА БЕЗ СВЯЗУЮЩЕГО  
НА ОСНОВЕ НЕДРЕВЕСНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**

*Введение.* В настоящее время для получения древесно-композиционных материалов широко применяется сырьё на основе древесины как в чистом исходном виде [Кулаженко и др., 2024; Norta et al., 2017], так и предварительно подготовленное и обработанное (термомодифицированное, ацетилованное, озонированное и пр.) [Аникеева, Сафин, 2024; Прокопьев и др., 2024; Rozman et al., 1997].

Анализ литературных данных свидетельствует о высоком потенциале применения древесных отходов в виде опилок с целью получения иных материалов и изделий на их основе с широким кругом потребительских возможностей [Дворянкин и др., 2024; Лаврентьев и др., 2024].

Альтернативным ресурсом для получения композиционных материалов в полном объеме может выступать сырьё различных недревесных растений в виде порубочных остатков, биомассы, лузги, шелухи и проч. [Мичуров и др., 2024; Подденежный и др., 2024; Радайкина и др., 2024; Zyкова et al., 2021].

Приобретает актуальность и представляет практический интерес получение композиционных материалов и изделий на их основе из недревесного растительного сырья без применения связующих веществ [Ершова и др., 2023; Artemov et al., 2023]. Данные композиционные материалы – пластики без применения синтетических связующих веществ (ПБС) – получают из растительного недревесного сырья природного происхождения путем его пьезотермической обработки.

Так, например, в работах [Савиновских и др., 2014; Бурындин и др., 2016] неизмельчённая шелуха пшеницы и овса с добавлением активатора из смеси пероксида водорода и марганецсодержащего ванадомолибдофосфата натрия была использована для получения ПБС методом компрессионного прессования в закрытых пресс-формах. Применение данного активатора при получении ПБС из рассматриваемых растительных остатков

обеспечивает получение более высоких значений прочности при изгибе и ударной вязкости этих материалов по сравнению с ПБС, полученными из древесных (сосновых) опилок.

В работе [Ершова и др., 2020a] представлены результаты изучения влияния технологических факторов при получении растительного пластика на основе шелухи проса (*Panicum miliaceum* L.) и оценка его физико-механических свойств. На основании испытаний на биостойкость был сделан вывод о возможной эксплуатации исследуемых материалов в местах, подверженных биологической деградации, только после соответствующей антисептической обработки.

В другом исследовании [Ершова и др., 2020b] были изучены физико-механические свойства (показатели водостойкости и прочностные показатели) ПБС на основе биомассы борщевика Сосновского. По результатам выполненной работы был сделан вывод, что физико-механические свойства ПБС, полученного из пресс-сырья на основе биомассы борщевика Сосновского, не уступают, а по некоторым показателям даже и превосходят свойства ПБС, полученного из традиционного древесного пресс-сырья.

В продолжение работ по применению биомассы борщевика был исследован процесс предварительной щелочной обработки исходного пресс-сырья с целью химической активации лигнин-углеводного комплекса [Артёмов и др., 2023a]. Было установлено, что из биомассы борщевика, подверженного щелочной обработке, можно получать изделия повышенной прочности с низкой водостойкостью.

Аналогичное исследование по щелочной обработке исходного растительного сырья было выполнено для ПБС на основе шелухи риса [Артёмов и др., 2023b]. На основании экспериментальных данных сделаны выводы о влиянии на формирование материалов на основе ПБС самой структуры исходного пресс-сырья, подверженного щелочной обработке. Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что из растительного сырья, подверженного щелочной обработке, можно получать изделия повышенной прочности с низкой водостойкостью, которая обуславливает подверженность деструкции.

Таким образом, композиты на основе ПБС относятся к деструктируемым материалам в естественных условиях окружающей природной среды и обладающим биоразлагаемым потенциалом, который подвержен регуляции за счет оптимизации технологии получения или использования различных химических добавок.

Стоит отметить, что в настоящее время благодаря высокому техногенному воздействию на окружающую среду наблюдается загрязнение потенциального растительного сырья [Вураско и др., 2021; Анищенко и др., 2022].

Сообщается [Артёмов и др., 2022], что при выдержке образцов ПБС на основе растительного сырья в виде костры конопли, листового опада и биомассы борщевика в почвогрунте происходит изменение pH почвенной среды. Показатель pH почвы в выполненном исследовании варьировался от 5,12 до 6,57 за 90 суток выдержки. Изменение pH почвы наблюдалось в разной степени в первые 30 суток выдержки у всех образцов ПБС, что говорит об интенсивных процессах миграции химических веществ из материалов на основе ПБС.

Возможная загрязненность растительного сырья может быть причиной химического поражения почв при деструкции исследуемых биоразлагаемых материалов на основе ПБС.

*Цель и задачи.* Цель данной работы – получение ПБС на основе растительного сырья в виде шелухи риса и шелухи пшеницы методом пьезотермической обработки в герметичной пресс-форме и их испытание на биоразлагаемость по отношению к почвогрунту с последующей оценкой уровня химического загрязнения почв продуктами деструкции ПБС.

Задачи данной работы состояли в изучении физико-механических показателей полученных ПБС, оценке биодеструкции полученных ПБС по отношению к почвогрунту, определении санитарно-химических показателей загрязнения почв продуктами биоразложения ПБС.

*Методика исследования.* Объектом исследования были образцы ПБС на основе растительных вторичных ресурсов в виде шелухи риса и шелухи пшеницы.

Неизмельченная шелуха риса и пшеницы была предоставлена учебно-опытным хозяйством Уральского государственного аграрного университета (г. Екатеринбург).

Шелуха промывалась холодной водой для удаления пыли и минеральных примесей и высушивалась при комнатной температуре. Далее сырье измельчалось в лабораторной мельнице и фракционировалось на сите. Для исследований принималась фракция частиц  $0,7 \div 1,2$  мм.

У измельченного пресс-сырья было определено содержание лигнина (ГОСТ 11960-79 «Полуфабрикаты волокнистые и сырье из однолетних растений для целлюлозно-бумажного производства. Метод определения

лигнина)), целлюлозы (по методу Кюршнера-Хоффера), экстрактивных веществ (по методу TAPPIT-5-59) и минеральных веществ (ГОСТ Р 56881-2016 «Биомасса. Определение зольности стандартным методом»).

Были изготовлены образцы-диски диаметром 90 мм и толщиной 2 мм методом горячего компрессионного прессования при следующих условиях: давление прессования – 40 МПа, температура прессования – 170 °С, продолжительность прессования – 10 мин, продолжительность охлаждения под давлением – 10 мин. Влажность исходного сырья – 12%.

По завершении кондиционирования полученных образцов в комнатных условиях (24 ч) подвергались испытаниям их физико-механические свойства: плотность и прочность при изгибе (ГОСТ 4648-2014), твердость по вдавливанию шарика (ГОСТ 4670-2015), модуль упругости при изгибе по прогибу образца-диска [Артёмов и др., 2021], водопоглощение по объёму и разбухание по толщине за 24 ч (ГОСТ 4650-2014), угол смачивания [Мичуров и др., 2024].

Для оценки биостойкости исследуемого материала применялась методика на основе ГОСТ Р 57222-2016 «Пластмассы. Методы приготовления образцов для испытания пластмасс на биологическое разложение», которая включала следующие этапы:

1. Подготовка образцов с геометрическими размерами 2,5 x 2,5 x 2 см. Определение линейных размеров и массы, морфологических характеристик (внешний вид лицевой поверхности и бокового среза);

2. Подготовка почвогрунта (согласно ГОСТ Р 57226-2016 «Пластмассы. Определение степени разложения в установленных условиях компостирования в процессе пробных испытаний») на основе рассадного почвенного субстрата (ТУ 0392-001-59264050-03) и компоста (ТУ 0392-001-59264059-03). Достигалась влажность почвенного компоста в 60%, которая поддерживалась на данном уровне на протяжении всего испытания;

3. Выдержка образцов в контейнерах с почвенной средой. Контейнеры на время испытания находились при температуре окружающей среды  $20 \pm 2$  °С;

4. Микроскопирование и оценка степени биоразлагаемости по характерным морфологическим признакам [Артёмов и др., 2024] по завершении наблюдений (общее время выдержки в почвогрунте составило 84 суток);

5. Определение уровня химического загрязнения почв продуктами деградации ПБС (согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»).



При оценке экологической опасности почвенных аномалий принимаются во внимание не только их интенсивность, но и элементный состав, в первую очередь, присутствие элементов, относимых к 1 и 2 классам гигиенической опасности в соответствии с ГОСТ Р 70281-2022 «Охрана окружающей среды. Почвы. Классификация химических веществ»: I класс – мышьяк (As), ртуть (Hg), кадмий (Cd), свинец (Pb), цинк (Zn); II класс – никель (Ni), медь (Cu).

Основными показателями, характеризующими степень загрязнения почв, являются коэффициент концентрации ( $K_c$ ) и суммарный показатель концентрации ( $Z_c$ ).

Коэффициент концентрации ( $K_c$ ) – безразмерная величина, характеризующая степень загрязнения почвы каким-либо одним химическим элементом и показывающая, во сколько раз содержание элемента-загрязнителя в пробе выше его фоновое природного аналога. Расчет коэффициента концентрации проводится по формуле (1):

$$K_c = C_i / C_{\phi}, \quad (1)$$

где  $C_i$  – содержание элемента в исследуемом образце, мг/кг;  $C_{\phi}$  – фоновое содержание, мг/кг.

В качестве фонового загрязнения почвогрунта принимались данные по исходному содержанию в почвогрунте исследуемых химических веществ (контроль).

Определение валового содержания тяжелых металлов I и II класса и мышьяка осуществлялось по методике РД 52.18.685-2006 «Методические указания. Определение массовой доли металлов в пробах почв и донных отложений. Методика выполнения измерений методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии», ПНД Ф 16.1:2.2:3.17-98 «Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли (валового содержания) мышьяка и сурьмы в твердых сыпучих материалах атомно-абсорбционным методом с предварительной генерацией гидридов» на атомно-абсорбционном спектрометре «КВАНТ-2», ПНД Ф 14.1:2.3.172-2000 «Методика выполнения измерений массовой доли общей ртути в пробах почв и грунтов на анализаторе ртути РА-915+ с приставкой РП-91С» на приборе «Анализатор ртути РА-915+».

Величины допустимых уровней содержания тяжелых металлов и мышьяка (ПДК/ОДК) приняты согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Используемый для исследо-

ваний почвогрунт, состоящий из рассадного почвенного субстрата и компоста на основе навоза крупного рогатого скота, по составу и морфологическим характеристикам можно отнести к дерново-подзолистым суглинистым и глинистым типам почв. Показатели ПДК/ОДК химических веществ в почве приняты для данного типа почв в зависимости от их величины рН солевой вытяжки ( $\text{pH KCl} > 5,5$ ).

Обычно зоны технического загрязнения представляют собой избыточную концентрацию не одного, а целого комплекса химических элементов. Их суммарное содержание, характеризующее интегральное воздействие на окружающую среду, оценивается по величине суммарного показателя концентрации ( $Z_c$ ), который представляет собой сумму превышений над фоновым уровнем накапливающихся элементов и является индикатором неблагоприятного воздействия на здоровье населения, и рассчитываются по формуле (2):

$$Z_c = \Sigma(KC_i + \dots + KC_n) - (n - 1), \quad (2)$$

где  $n$  – число определяемых компонентов;  $KC_i$  – коэффициент концентрации  $i$ -го загрязняющего компонента, равный кратности превышения содержания данного компонента над фоновым значением.

Для оценки категории загрязнения почвогрунтов и расчета  $Z_c$  для обобщенной оценки принимались во внимание справочные материалы согласно приложению Д «Ориентировочные значения фоновых концентраций химических элементов в почвах» по СП 502.1325800.2021 «Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ» (применение данного документа носит информационно-справочный характер с целью всесторонней оценки экологических условий, а также составления прогноза возможных изменений этих условий).

Результаты всех испытаний были подвергнуты статистической обработке для выявления грубых промахов и определения доверительных границ погрешности (при доверительной вероятности 0,95) [Глухих и др., 2023].

*Результаты и обсуждение.* Результаты исследования химико-физических характеристик исходного растительного пресс-сырья представлены в табл. 1.

Содержание в растительном сырье лигнина и целлюлозы, а также их соотношение обуславливают как возможность получения самого материала на основе ПБС, так и его физико-механические свойства.

Таблица 1

**Характеристика исходного пресс-сырья**  
**Characteristics of the initial press raw materials**

№ п/п	Характеристика	Шелуха пшеницы	Шелуха риса
3	Фракция пресс-сырья, мм	0,7÷1,2	0,7÷1,2
4	Влажность пресс-сырья, %	12±0,1	12±0,1
5	Содержание лигнина, %	21,2±0,2	20,8±0,2
6	Содержание целлюлозы, %	21,0±1,0	34,0±1,0
7	Содержание экстрактивных веществ, %	3,8±0,5	4,2±0,5
8	Зольность, %	4,5±0,1	12,3±0,1
9	рН солевой вытяжки (±Δ)	5,6±0,1	5,6±0,1

В ранее выполненных исследованиях [Минин, 1965; Плитные..., 1976] было высказано предположение, что при образовании таких материалов из растительного сырья как древесного, так и недревесного происхождения, в условиях его пьезотермической обработки, целлюлоза выступает в качестве наполнителя и армирующего элемента. Она связывается в монолитный материал за счет лигнина, который преобразуется в естественную термореактивную смолу. Недостаточное или избыточное содержание целлюлозы или лигнина сказывается на самом механизме образования ПБС, а также предопределяет его физико-механические свойства.

Установленное содержание лигнина в исследуемом пресс-сырье (более 20%) обуславливает возможность получения ПБС [Glukhikh et al., 2020]. Однако в пресс-материале в виде шелухи риса наблюдается смещение соотношения «лигнин – целлюлоза» в сторону увеличения содержания последней. Высокое содержание целлюлозы в пресс-сырье может быть причиной низкой водостойкости материала и значительной подверженности биодеструкции [Артёмов и др., 2024].

Также необходимо отметить относительно высокое содержание минеральных веществ (зольность) в исходном сырье в виде шелухи риса, которое обусловлено в первую очередь содержанием диоксида кремния [Вураско и др., 2015]. Наличие труднорастворимых соединений в пресс-массе в момент прессования приводит к увеличению коэффициента трения между частицами, препятствуя заполнению пространства между ними, а также

сближению частиц и их взаимному притяжению и, как следствие, приводит к снижению прочностных свойств и показателей водостойкости получаемого материала.

Установленный показатель pH рассматриваемого пресс-сырья относится к слабокислой среде, которая обуславливает гидролизацию кислотами частиц сырья, что приводит к повышению текучести пресс-материала [Минин, 1965; Плитные..., 1976]. Пресс-сырье с низкой текучестью в силу структурных особенностей медленнее прогревается, менее уплотняется и, как следствие, плотность материала, а соответственно и его прочностные показатели, получается невысокой. Кроме того, наличие более кислой среды способствует интенсификации процессов поликонденсации и полимеризации растительного сырья при пьезотермической обработке.

Результаты микрофотографирования исходного пресс-сырья представлены на рис. 1.

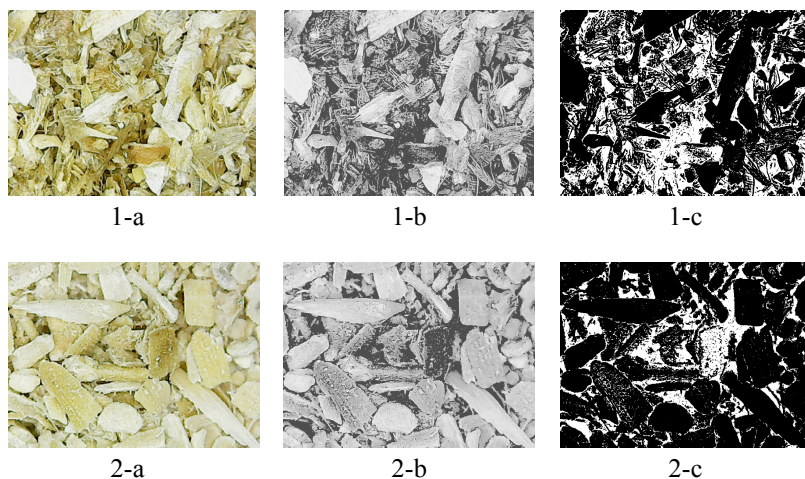


Рис. 1. Микрофотографии пресс-сырья ( $1 \times 400$ ): 1 – шелуха пшеницы, 2 – шелуха риса; а) цветное; б) серое; в) бинарное изображение

Fig 1. Micrographs press raw materials ( $1 \times 400$ ): 1 – wheat husk, 2 – rice husk; а) color; б) gray; в) binary image

Визуальный анализ изучаемого пресс-сырья (рис. 1) позволяет говорить о том, что в результате его фракционирования образуются частицы, у которых преобладают игольчатая и волокнистая формы. В большей степени такая форма частиц характерна для шелухи риса. При этом у данного сырья образуются и более крупные частицы.

Форма и размер таких частиц при горизонтальном ориентировании (компрессионное прессование осуществляется с вертикальным усилием) позволяют получать слоистый материал. Основным отличием слоистых композиционных материалов является анизотропность физико-механических свойств. Формируемая структура материала обуславливает высокие пластинчато-прочностные свойства (по длине образуется монолитный материал) и низкие показатели водостойкости из-за несплошности внутренней структуры.

Результаты испытаний на физико-механические свойства образцов ПБС представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Физико-механические свойства (средние показатели) образцов ПБС**

**Physical and mechanical properties (average values) of PWR samples**

№	Физико-механические свойства	Шелуха пшеницы	Шелуха риса
1	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1015±17	1180±56
2	Модуль упругости при изгибе (по прогибу образца диска), МПа	335±15	2386±26
3	Твердость по вдавливанию шарика, МПа	16,3±1,3	80,5±1,5
4	Число упругости, %	43±2	88±4
5	Водопоглощение по объему за 24 часа, %	69±8	119±11
6	Разбухание по толщине за 24 часа, %	7,2±0,4	14,6±0,3
5	Краевой угол смачивания, °	61±1	62±1

ПБС на основе шелухи риса обладают более высокими пластинчато-прочностными свойствами, а ПБС на основе шелухи пшеницы – показателями водостойкости. Это подтверждает высказанные выше положения о влиянии свойств растительного сырья (прежде всего химического состава) и способов его подготовки (фракционирования) на ПБС.

Результаты фото- и микрофотографирования образцов ПБС при испытаниях на биоразлагаемость представлены на рис. 2.

Результаты испытаний на биоразлагаемость показали, что определение количественных характеристик маркерных показателей биоразлагаемости на конец испытаний не представлялось возможным: образцы полностью разрушились в почвогрунте за 84 суток (рис. 2). Оценка степени биоразлагаемости ПБС по каждому показателю в таком случае принималась максимальной [Артемов и др., 2024], а исследуемые образцы ПБС были отнесены к полностью биоразлагаемым материалам.

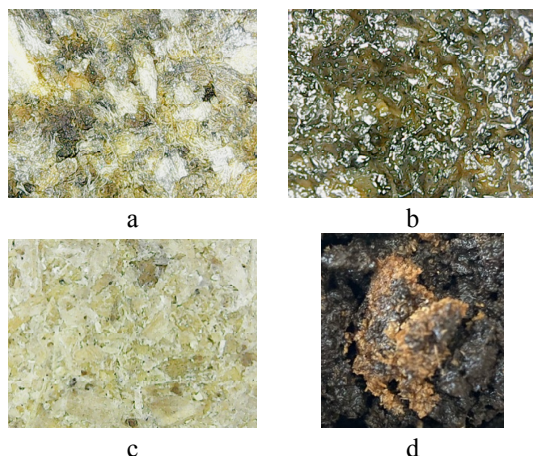


Рис. 2. Фото- и микрофотографии ( $1 \times 400$ ) ПБС: а) лицевая поверхность образца ПБС на шелухе пшеницы до испытаний; б) лицевая поверхность образца ПБС на шелухе пшеницы после 30 суток испытаний; в) лицевая поверхность образца ПБС на шелухе риса до испытаний; д) образец ПБС на шелухе риса после 84 суток испытаний

*Fig 2. Photo and micrographs ( $1 \times 400$ ) of PWR: а) front surface of PWR sample on wheat husk before testing; б) front surface of PWR sample on wheat husk after 30 days of testing; в) front surface of PWR sample on rice husk before testing; д) PWR sample on rice husk after 84 days of testing*

Результаты эколого-геохимического исследования почв при испытаниях ПБС на биоразлагаемость, а также результаты расчетов суммарного показателя химического загрязнения представлены в табл. 3.

В рассматриваемом растительном сырье выявлены тяжелые металлы: свинец, кадмий, цинк, – а также медь и мышьяк (только в шелухе пшеницы) и ртуть (в шелухе риса). При сравнении содержания химических загрязнителей по разным видам сырья отмечается наибольшая степень загрязненности шелухи пшеницы. В других ранее выполненных работах отмечается сильная подверженность загрязнению газопылевыми выбросами сельскохозяйственных земель, что сказывается на содержании и накоплении тяжелых металлов в сельскохозяйственных растениях, в том числе в соломе пшеницы [Самусик, Головатый, 2021]. [Соколова и др., 2006] делают заключение, что первоначальное загрязнение растений происходит

через почву. Южные районы страны, связанные с выращиванием риса, менее подвержены техногенному воздействию в отличие от районов с высокой степенью нагрузки на окружающую природную среду, используемых для культивирования пшеницы.

Таблица 3

**Результаты расчетов суммарного показателя химического загрязнения исследуемого почво-грунта**

**The results of calculations of the total indicator of chemical pollution of the studied soil**

Показатель	Содержание, мг/кг				
	ПДК (ОДК)	Сырье	Пластик	Грунт (фоновый)	Грунт после испытаний
рН	5,5–8,2	5,6±0,1	5,1±0,2	5,8±0,1	6,4±0,1
		5,6±0,1	5,4±0,2		6,5±0,1
Pb	130	0,65±0,20	0,0	< 20	6,0±1,8
		0,37±0,11	0,0		5,1±1,8
Cd	2,0	0,15±0,05	0,10±0,03	неопред,	< 0,1
		0,35±0,11	<0,10±0,03		< 0,1
Zn	220	28±8	68±20	49±15	85±26
		31±9	10±3		68±20
Cu	132	6,6±2	7.0±2	23±7	20±6
		< 5	< 5		15±4
Hg	2,1	< 0,005	0,0012±0,005	0,034±0,015	0,056±0,025
		0,010±0,005	0,021±0,009		0,044±0,020
Ni	80,0	< 10	4,1±1,2	72±25	65±31
		< 10	1,8±0,53		61±18
As	10,0	< 0,20	< 0,20	5,1±3,0	5,3±3,2
		0,20±0,12	< 0,20		4,5±2,7
Z <sub>c</sub>				1,82	1,95
					1,70
Категория загрязнения почв				«допустимая»	«допустимая»
					«допустимая»

*Примечание:* В верхней части спаренных строк представлены данные по шелухе пшеницы, в нижней – по шелухе риса

Анализируемые тяжелые металлы и мышьяк относятся к легко поглощаемым самими растениями и имеют среднюю степень биоаккумуляции [Соколова и др., 2006]. Наличие исследуемых неорганических веществ в растительном сырье обусловлено, скорее всего, высокой сорбционной способностью почв и высокой степенью их антропогенной «металлизации» [Алексеев, Алексеев, 2013]. Однако в большинстве случаев загрязнение культурных растений не превышает установленных санитарно-гигиенических нормативов.

Наблюдается изменение концентрации тяжелых металлов и мышьяка в готовых образцах ПБС (следует подчеркнуть, что представленные результаты выходят за рамки применяемой методологии исследования и приведены исключительно для наглядности). Можно говорить о том, что процессы образования ПБС при пьезотермической обработке оказывают влияние на распределение химических компонентов в готовом материале (за счет различной растворимости и химико-физической активности). Это обуславливает необходимость выборочного контроля за содержанием тяжелых металлов и мышьяка получаемых изделий.

Отмечается также изменение показателя pH, по которому можно косвенно судить о миграции загрязняющих веществ из материала в почвенный покров, а также о типе протекающего процесса деструкции материала. К концу испытания показатель pH изменяется от слабокислого до практически нейтрального. Это говорит о том, что наблюдается протекание процессов гидролитической деструкции ПБС, что подтверждается микрофотографиями его лицевой поверхности (рис. 2b) – наличие ослизненной пористой структуры в виде губки.

В соответствии с полученными значениями химического загрязнения почвы по каждому элементу-загрязнителю были рассчитаны значения коэффициентов концентрации токсичных элементов, демонстрирующие, какие из токсических элементов имеют (не имеют) концентрации выше фоновых. Превышений ПДК (ОДК) по содержаниям элементов-загрязнителей I и II класса не зафиксировано.

Рассчитанный суммарный показатель концентрации (загрязнения) почвы по всем пробам не превышает пороговый уровень ( $Z_c < 16$ ) по исследуемым 7 токсичным показателям, следовательно, категория загрязнения почвы согласно СанПиН 1.2.3685-21 – «допустимая».

**Выводы.** В соответствии с поставленной целью исследования были получены образцы ПБС на основе шелухи риса и шелухи пшеницы путем пьезотермической обработки в герметичной пресс-форме. Полученные образцы прошли испытания на биоразлагаемость по отношению к поч-



вогрунту, после чего был проведен анализ уровня химического загрязнения почвы в результате их деструкции.

В результате комплексной оценки уровня химического загрязнения почвогрунтов продуктами деструкции биоразлагаемого композиционного материала без связующего на основе растительного сырья категория загрязнения исследованной почвы была отнесена к «допустимой».

В соответствии с СанПиНом 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» почвы с категорией «допустимая» могут быть использованы без ограничений и под любые культуры растений.

Основной вклад в общий уровень загрязнения почвы продуктами биоразложения ПБС оказывает существующее фоновое загрязнение самого почвенного субстрата, а ожидаемые уровни воздействия продуктов деструкции будет оказывать воздействие на окружающую природную среду в пределах требований, установленных природоохранным и санитарно-гигиеническим законодательством согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Учитывая высокий уровень антропогенного воздействия на окружающую среду, применение изделий на основе растительного сырья в качестве биоразлагаемых материалов требует проведения всесторонней оценки самого исходного сырья, а также контроля качества получаемых материалов и изделий на их основе. При этом необходимо учитывать существующее химическое загрязнение почв (в первую очередь тяжелыми металлами) в предполагаемых районах применения продукции на основе исследуемых материалов.

Также необходимо отметить, что согласно существующим российским нормативно-правовым актам в настоящее время к биоразлагаемым материалам отнесены только изделия из материалов на основе целлюлозы (такие, как бумага, картон) и натуральных материалов (в виде хлопчатобумажной тканей и других естественных волокон). Расширение списка биоразлагаемых материалов с включением в него композитов на основе различного растительного сырья позволит инициировать разработку регламента по обязательному проведению мониторинга содержания химических веществ на всех стадиях обработки сырья и получения материала.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

Алексеев В.А., Алексеев А.В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв седиментных ландшафтов: монография. Ростов н/Д: Южный федеральный университет, 2013. 388 с.

Аникеева К.Г., Сафин Р.Р. Влияние двухступенчатой обработки наполнителя на свойства древесно-полимерного композита // Аграрный научный журнал. 2024. № 6. С. 88–98. DOI: 10.28983/asj.y2024i6pp88-98.

Анищенко Л.Н., Поцепай С.Н., Капошко С.Н. Ресурсные и эколого-химические показатели луговых лекарственных растений среднего Подесенья // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: мат. XIX межд. науч. конф. Брянск, 2022. Том I. С. 210–223.

Артёмов 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.

Артёмов А.В., Ершова А.С., Савиновских А.В., Бурындин В.Г. Оценка воздействия биоразлагаемых материалов на основе растительного недревесного сырья на элементы окружающей среды // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2022. № 1(45). С. 5–20. DOI: 10.15593/2409-5125/2022.1.01.

Артёмов А.В., Вураско А.В., Ершова А.С., Бурындин В.Г. Влияние щелочной обработки пресс-сырья на свойства пластика без связующего на основе растительных остатков борщевика Сосновского // Вестник Технологического университета. 2023а. Т. 26, № 3. С. 44–49. DOI: 10.55421/1998-7072\_2023\_26\_3\_44.

Артёмов А.В., Вураско А.В., Ершова А.С. Исследование влияния предварительной химической обработки исходного пресс-сырья для получения пластика без связующего на основе шелухи риса // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2023б. № 1. С. 61–76. DOI: 10.15593/2224-9400/2023.1.05.

Артёмов А.В., Ершова А.С., Шкуро А.Е., Бурындин В.Г. Методика для оценки степени биоразлагаемости пластиков на основе лигноцеллюлозосодержащего сырья без добавления связующих веществ // Лесотехнический журнал. 2024. Т. 14, № 1(53). С. 134–150. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2024.1/8.

Бурындин В.Г., Савиновских А.В., Глухих В.В., Кривоногов П.С. Получение пластиков из растительных отходов // XX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: тез. докл. в пяти т. Екатеринбург, 2016. Том 2б. С. 243.

Вураско А.В., Шаповалова И.О., Петров Л.А., Стоянов О.В. Применение плодовых оболочек риса в качестве углерод-кремнеземных пористых материалов для каталитических систем (обзор) // Вестник Технологического университета. 2015. Т. 18, № 11. С. 49–56.

*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. Вып. 234. С. 250–266. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.234.250-266.

*Глухих В.В., Шкуро А.Е., Артемов А.В., Шишилов О.Ф., Кривоногов П.С.* Математическое планирование экспериментов и анализ их результатов с применением компьютерных программ: учеб. пособ. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2023. 104 с.

*Дворянкин Д.Ю., Сафонова М.Е., Клепалова И.А., Первова И.Г.* Углеродные сорбенты на основе древесных и растительных отходов // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 1(88). С. 171–180.

*Ершова А.С., Савиновских А.В., Васильева А.А., Артемов А.В.* Растительные пластики на основе шелухи проса // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2020а. № 3(47). С. 39–48. DOI: 10.25686/2306-2827.2020.3.39.

*Ершова А.С., Савиновских А.В., Артемов А.В., Бурындин В.Г.* Борщевик Сосновского как сырье для получения пластиков // Вестник Технологического университета. 2020b. Т. 23, № 10. С. 34–37.

*Ершова А.С., Савиновских А.В., Артемов А.В., Бурындин В.Г., Садыкова К.В.* Получение и исследование свойств пластика без связующего на основе волокна конопли технической // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2023. № 2. С. 5–16. DOI: 10.25686/2542-114X.2023.2.5.

*Кулаженко Ю.М., Шкуро А.Е., Глухих В.В.* Исследование физико-механических свойств композитов на основе пластифицированного ПВХ и сосновых опилок // Деревообрабатывающая промышленность. 2024. № 2. С. 50–59.

*Лаврентьев И.В., Гедьо В.М., Симонова Е.И., Демьянцева Е.Ю.* Исследование влияния факторов на водопоглощение целлюлозного композита // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 248. С. 317–328. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.248.317-328.

*Минин А.Н.* Технология пьезотермопластиков. М.: Лесная промышленность, 1965. 296 с.

*Мичуров Д.М., Шкуро А.Е., Глухих В.В.* Исследование физико-механических свойств композитов с полимерной фазой полилактида и кострой конопли // Вестник Технологического университета. 2024. Т. 27, № 1. С. 59–63. DOI: 10.55421/1998-7072\_2024\_27\_1\_59.

Плитные материалы и изделия из древесины и других одресневевших остатков без добавления связующих. М.: Лесная промышленность, 1976. 360 с.

*Подденежный Е.Н., Дробышевская Н.Е., Бойко А.А., Шаповалов В.М., Кузьмин А.М.* Биоразлагаемые композиционные материалы на основе поликапролактона с наполнением соломой зерновых культур // Вестник Гомельского государ-

ственного технического университета им. П.О. Сухого. 2024. № 2(97). С. 27–33. DOI: 10.62595/1819-5245-2024-2-27-33.

Прокопьев А.А., Галяветдинов Н.Р., Сафин Р.Р. Эксплуатационные характеристики древесно-полимерных композитов на основе ацетилированного древесного наполнителя // ИВУЗ. Лесной журнал. 2024. № 4. С. 147–158. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-4-147-158.

Радайкина Е.А., Кузьмин А.М., Конаков А.В. Влияние лузги подсолнечника на свойства пленок поливинилового спирта // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. 2024. Т. 14, № 1. С. 73–76.

Савиновских А.В., Бурьиндин В.Г., Стоянов О.В., Ахтямова С.С., Масленникова Е.В. Закономерности образования растительных пластиков на основе шелухи пшеницы без добавления связующих // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 13. С. 231–233.

Самусик Е.А., Головатый С.Е. Тяжелые металлы в почвах и в растениях пшеницы в зоне воздействия предприятия по производству строительных материалов // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2021. № 4. С. 76–88. DOI: 10.46646/2521-683X/2021-4-76-88.

Соколова О.Я., Стряпков А.В., Антимонов С.В., Соловых С.Ю. Тяжелые металлы в системе элемент – почва – зерновые культуры // Вестник Оренбургского государственного университета. 2006. № 4(54). С. 106–110.

Artemov A.V., Buryndin V.G., Krivonogov P.S., Savinovskikh A.V., Kolpakova M.V., Stoyanov O.V. An Investigation of Complexes of Lignin Found in Plant Raw Materials as a Natural Binder in Obtaining Plastic in Closed Molds // Polymer Science. Series D. 2023. Vol. 16, no. 2. P. 278–284. DOI: 10.1134/s1995421223020028.

Glukhikh V.V., Buryndin V.G., Artyemov A.V., Savinovskikh A.V., Krivonogov P.S., Krivonogova A.S. Plastics: physical-and-mechanical properties and biodegradable potential // Foods and Raw Materials. 2020. Vol. 8, no. 1. P. 149–154. DOI: 10.21603/2308-4057-2020-1-149-154.

Horta J.F., Simões F.J., Mateus A. Study of Wood-Plastic Composites with reduced High Density Polyethylene and Wood Sawdust // Procedia Manufacturing. 2017. Vol. 12. P. 221–229.

Rozman H.D., Kumar R.N., Khalil H.P.S.A., Abusamah A., Abu R. Chemical Modification of Wood with Maleic Anhydride and Subsequent Copolymerization with Dialllyl Phthalate // Journal of Wood Chemistry and Technology. 1997. Vol. 17, iss. 4. P. 419–433. DOI: 10.1080/02773819708003142.

Zykova A.K., Pantyukhov P.V., Mastalygina E.E., Chaverri-Ramos C., Nikolaeva S.G., Saavedra-Arias J.J., Popov A.A., Wortman S.E., Poletto M. Biocomposites of low-density polyethylene plus wood flour or flax straw: Biodegradation kinetics across three environments // Polymers. 2021. Vol. 13, no. 13. Art. no. 2138. DOI: 10.3390/polym13132138.

## References

Alekseenko V.A., Alekseenko A.V. Chemical elements in geochemical systems. Clarks of soils of residential landscapes: monograph. Rostov-on-Don: Southern Federal University, 2013. 388 p. (In Russ.)

Anikeeva K.G., Safin R.R. The effect of two-stage filler processing on the properties of a wood-polymer composite. *Agrarian Scientific Journal*, 2024, no. 6, pp. 88–98. DOI: 10.28983/asj.y2024i6pp88-98. (In Russ.)

Anishchenko L.N., Potsepai S.N., Kaposhko N.A. Resource and ecological-chemical indicators of meadow medicinal plants of the middle forest. *Agroecological aspects of sustainable development of the agro-industrial complex*: proceedings of the XIX int. sci. conf. Bryansk, 2022, vol. 1, pp. 210–223. (In Russ.)

Artyomov 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. (In Russ.)

Artyomov A.V., Ershova A.S., Savinovskikh A.V., Buryndin V.G. Assessment of the impact of biodegradable materials based on non-wood plant raw materials on environmental elements. *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Applied ecology. Urbanistics*, 2022, no. 1(45), pp. 5–20. DOI: 10.15593/2409-5125/2022.1.01. (In Russ.)

Artemov A.V., Buryndin V.G., Krivonogov P.S., Savinovskikh A.V., Kolpakova M.V., Stoyanov O.V. An Investigation of Complexes of Lignin Found in Plant Raw Materials as a Natural Binder in Obtaining Plastic in Closed Molds. *Polymer Science. Series D*, 2023, vol. 16, no. 2, pp. 278–284. DOI: 10.1134/s1995421223020028.

Artyomov A.V., Vurasko A.V., Ershova A.S., Buryndin V.G. The influence of alkaline processing of press raw materials on the properties of plastic without a binder based on plant residues of Sosnowsky's hogweed. *Bulletin of the Technological University*, 2023a, vol. 26, no. 3, pp. 44–49. DOI: 10.55421/1998-7072\_2023\_26\_3\_44. (In Russ.)

Artyomov A.V., Vurasko A.V., Ershova A.S. Investigation of the effect of preliminary chemical treatment of the initial press raw materials for the production of plastic without a binder based on rice husk. *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Chemical technology and biotechnology*, 2023b, no. 1, pp. 61–76. DOI: 10.15593/2224-9400/2023.1.05. (In Russ.)

Artemov A.V., Ershova A.S., Shkuro A.E., Buryndin V.G. A methodology for assessing the degree of biodegradability of plastics based on lignocellulose-containing raw materials without the addition of binders. *Forestry Journal*, 2024, vol. 14, no. 1(53), pp. 134–150. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2024.1/8 (In Russ.)

Buryndin V.G., Savinovskikh A.V., Glukhikh V.V., Krivonogov P.S. Obtaining plastics from plant waste. *XX Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry*: abstracts in five volumes. Yekaterinburg, 2016, vol. 2b, p. 243. (In Russ.)

Dvoryankin D.Y., Safonova M.E., Klepalova I.A., Pervova I.G. Carbon sorbents based on wood and plant waste. *Forests of Russia and their management*, 2024, no. 1(88), ppp. 171–180. (In Russ.)

Ershova A.S., Savinovskikh A.V., Vasilyeva A.A., Artemov A.V. Plant plastics based on millet husk. *Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Environmental management*, 2020a, no. 3(47), pp. 39–48. DOI: 10.25686/2306-2827.2020.3.39. (In Russ.)

Ershova A.S., Savinovskikh A.V., Artemov A.V., Buryndin V.G. Sosnowsky's hogweed as a raw material for the production of plastics. *Bulletin of the Technological University*, 2020b, vol. 23, no. 10, pp. 34–37. (In Russ.)

Ershova A.S., Savinovskikh A.V., Artemov A.V., Buryndin V.G., Sadykova K.V. Obtaining and researching the properties of plastic without a binder based on technical hemp fiber. *Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Materials. Constructions. Technologies*, 2023, no. 2, pp. 5–16. DOI: 10.25686/2542-114X.2023.2.5. (In Russ.)

Glukhikh V.V., Buryndin V.G., Artyemov A.V., Savinovskikh A.V., Krivonogov P.S., Krivonogova A.S. 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.

Glukhikh V.V., Shkuro A.E., Artemov A.V., Shishlov O.F., Krivonogov P.S. Mathematical planning of experiments and analysis of their results using computer programs: textbook. Yekaterinburg: Ural State Forestry University, 2023. 104 p. (In Russ.)

Horta J.F., Simões F.J., Mateus A. Study of Wood-Plastic Composites with reused High Density Polyethylene and Wood Sawdust. *Procedia Manufacturing*, 2017, vol. 12, pp. 221–229.

Kulazhenko Yu.M., Shkuro A.E., Glukhikh V.V. Investigation of the physico-mechanical properties of composites based on plasticized PVC and pine sawdust. *The woodworking industry*, 2024, no. 2, pp. 50–59. (In Russ.)

Lavrentiev I.V., Gedyo V.M., Simonova E.I., Demyantseva E.Y. Investigation of the influence of factors on the water absorption of a cellulose composite. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2024, iss. 248, pp. 317–328. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.248.317-328. (In Russ.)

Michurov D.M., Shkuro A.E., Glukhikh V.V. Investigation of the physico-mechanical properties of composites with a polymer phase of polylactide and hemp bark. *Bulletin of the Technological University*, 2024, vol. 27, no. 1, pp. 59–63. DOI: 10.55421/1998-7072\_2024\_27\_1\_59. (In Russ.)

Minin A.N. Technology of piezothermoplastics. Moscow: Forest industry, 1965. 296 p. (In Russ.)

Poddenezhny E.N., Drobyshevskaya N.E., Boyko A.A., Shapovalov V.M., Kuzmin A.M. Biodegradable composite materials based on polycaprolactone with

straw filling of grain crops. *Bulletin of the Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoi*, 2024, no. 2(97), pp. 27–33. DOI: 10.62595/1819-5245-2024-2-27-33. (In Russ.)

Prokopyev A.A., Galyavetdinov N.R., Safin R.R. Operational characteristics of wood-polymer composites based on acetylated wood filler. *IVUZ. Forestry Journal*, 2024, no. 4, pp. 147–158. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-4-147-158. (In Russ.)

Radaikina E.A., Kuzmin A.M., Konakov A.V. The influence of sunflower husks on the properties of polyvinyl alcohol films. *Izvestiya Kabardino-Balkarian State University*, 2024, vol. 14, no. 1, pp. 73–76. (In Russ.)

Rozman H.D., Kumar R.N., Khalil H.P.S.A., Abusamah A., Abu R. Chemical Modification of Wood with Maleic Anhydride and Subsequent Copolymerization with Diallyl Phthalate. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 1997, vol. 17, iss. 4, pp. 419–433. DOI: 10.1080/02773819708003142.

Samusik E.A., Golovaty S.E. Heavy metals in soils and in wheat plants in the impact zone of the enterprise for the production of building materials. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*, 2021, no. 4, pp. 76–88. DOI: 10.46646/2521-683X/2021-4-76-88. (In Russ.)

Savinovskikh A.V., Buryndin V.G., Stoyanov O.V., Akhtyamova S.S., Maslennikova E.V. Patterns of formation of plant plastics based on wheat husk without the addition of binders. *Bulletin of the Kazan Technological University*, 2014, vol. 17, no. 13, pp. 231–233. (In Russ.)

Slab materials and products made of wood and other desalinated residues without the addition of binders. Moscow: Forest industry, 1976. 360 p. (In Russ.)

Sokolova O.Ya., Stryapkov A.V., Antimonov S.V., Solovykh S.Yu. Heavy metals in the element – soil – grain crops system. *Bulletin of the Orenburg State University*, 2006, no. 4(54), pp. 106–110. (In Russ.)

Vurasko A.V., Pervova I.G., Shapovalova I.O. The content of metals in plant biomass and in materials based on them. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2021, iss. 234, pp. 250–266. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.234.250-266. (In Russ.)

Vurasko A.V., Shapovalova I.O., Petrov L.A., Stoyanov O.V. The use of rice fruit shells as carbon-silica porous materials for catalytic systems (review). *Bulletin of the Technological University*, 2015, vol. 18, no. 11, pp. 49–56. (In Russ.)

Zykova A.K., Pantyukhov P.V., Mastalygina E.E., Chaverri-Ramos C., Nikolaeva S.G., Saavedra-Arias J.J., Popov A.A., Wortman S.E., Poletto M. Biocomposites of low-density polyethylene plus wood flour or flax straw: Biodegradation kinetics across three environments. *Polymers*, 2021, vol. 13, no. 13, art. no. 2138. DOI: 10.3390/polym13132138.

*Материал поступил в редакцию 20.10.2024*

**Артёмов А.В., Вураско А.В., Шкуро А.Е., Буриндин В.Г.** Исследование санитарно-химических показателей загрязнения почв продуктами биоразложения пластика без связующего на основе недревесного растительного сырья // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 255. С. 489–510. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.255.489-510

Цель настоящего исследования заключалась в получении пластика без связующего (ПБС) на основе растительных наполнителей недревесного происхождения в виде шелухи пшеницы и риса с использованием метода пьезотермической обработки в герметичной пресс-форме и выполнение испытаний на биоразлагаемость данных материалов в почвогрунте с последующей оценкой уровня химического загрязнения почв в результате их деструкции. Были изготовлены образцы ПБС на основе фракционированной шелухи пшеницы и риса. Образцы были получены путем компрессионного прессования в герметичной пресс-форме под давлением 40 МПа и температуре 170 °С с последующим ее охлаждением без снятия давления до 40 °С. У образцов были определены физико-механические показатели (плотность, модуль упругости при изгибе по прогибу образца диска, твердость по вдавливанию шарика, число упругости, водопоглощение, разбухание, краевой угол смачивания). После проведения исследований физико-механических свойств образцы были подвержены испытаниям на биоразлагаемость по отношению к почвогрунту за 84 суток. После завершения испытаний на биоразлагаемость почвогрунт был исследован на уровень химического загрязнения тяжелыми металлами. Результаты проведенных испытаний показали, что пластик, полученный на основе шелухи пшеницы и риса, можно классифицировать как полностью биоразлагаемый материал. В процессе деструкции данных материалов происходит миграция неорганических соединений в почвенную среду, при этом уровень содержания тяжелых металлов не превышает установленных экологических и санитарно-гигиенических норм для почвы. По результатам комплексной оценки химического загрязнения почвогрунтов продуктами деструкции биоразлагаемого композиционного материала без связующего на основе растительного сырья, категория загрязнения исследованной почвы была отнесена к «допустимой». Тем не менее, учитывая существующий уровень загрязнения окружающей среды, при использовании рассматриваемого сырья требуется первоначальная оценка его качества, в том числе и по содержанию элементов-загрязнителей.

**Ключевые слова:** пластик, растительное сырье, шелуха пшеницы, шелуха риса, физико-механические свойства, биоразложение, почвогрунт, тяжелые металлы, химическое загрязнение

**Artyomov A.V., Vurasko A.V., Shkuro A.E., Buryndin V.G.** Investigation of sanitary and chemical indicators of soil pollution by biodegradation products of plastic without resins based on non-wood plant raw materials. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj*



*Lesotehnikeskoy Akademii*, 2025, iss. 255, pp. 489–510 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.255.489-510

The purpose of this study was to get plastic without resin (PWR) based on plant fillers of non-wood origin in the form of wheat husks and rice husks using piezothermal treatment in a sealed mold and to perform tests on the biodegradability of these materials in the soil, followed by an assessment of the level of chemical contamination of soils as a result of their destruction. PWR samples based on fractionated wheat husk and rice husk were produced. The samples were obtained by compression pressing in an airtight mold at a pressure of 40 MPa and a temperature of 170 °C, followed by its cooling without pressure relief to 40 °C. The physico-mechanical parameters of the samples were determined (density, modulus of elasticity when bending along the deflection of the disk sample, hardness after indentation of the ball, elasticity number, water absorption, swelling, wetting edge angle). After conducting studies of the physico-mechanical properties, the samples were subjected to biodegradability tests in relation to soil for 84 days. After the biodegradability tests were completed, the soil was examined for the level of chemical contamination with heavy metals. The results of the tests showed that plastic obtained from wheat and rice husks can be classified as a fully biodegradable material. During the destruction of these materials, inorganic compounds migrate into the soil environment, while the level of heavy metals does not exceed the established environmental and sanitary standards for the soil. According to the results of a comprehensive assessment of chemical contamination of soils by degradation products of a biodegradable composite material without a binder based on plant raw materials, the category of contamination of the studied soil was classified as "acceptable". Nevertheless, given the existing level of environmental pollution, when using the raw materials in question, an initial assessment of their quality is required, including the content of pollutants.

**Key words:** plastic, plant-based materials, wheat husk, rice husk, physical and mechanical properties, biodegradation, soil, heavy metals, chemical pollution

---

**АРТЁМОВ Артём Вячеславович** – доцент кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров Уральского государственного лесотехнического университета, кандидат технических наук, доцент.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: artemovav@m.usfeu.ru

**ARTYOMOV Artyom V.** – PhD (Technical), Associate Professor of the department technology of pulp and paper industries and polymer processing of the Ural State Forest Engineering University

620100. Siberian tract str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: artemovav@m.usfeu.ru

**ВУРАСКО Алеся Валерьевна** – профессор кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров Уральского государственного лесотехнического университета, доктор технических наук, профессор.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: vuraskoav@m.usfeu.ru

**VURASKO Alesya V.** – DSc (Technical), Professor of the department technology of pulp and paper industries and polymer processing of the Ural State Forest Engineering University.

620100. Siberian tract str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: vuraskoav@m.usfeu.ru

**ШКУРО Алексей Евгеньевич** – профессор кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров Уральского государственного лесотехнического университета, доктор технических наук, доцент.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: shkuroae@m.usfeu.ru

**SHKURO Alexey E.** – DSc (Technical), Professor of the department technology of pulp and paper industries and polymer processing of the Ural State Forest Engineering University.

620100. Siberian tract str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: shkuroae@m.usfeu.ru

**БУРЫНДИН Виктор Гаврилович** – профессор кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров Уральского государственного лесотехнического университета, доктор технических наук, профессор.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: buryndinv@m.usfeu.ru

**BURYNDIN Victor G.** – DSc (Technical), Professor of the department technology of pulp and paper industries and polymer processing of the Ural State Forest Engineering University.

620100. Siberian tract str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: shkuroae@m.usfeu.ru