

И.В. СТЕПИНА¹, М. СОДОМОН¹, А.А. КРУК¹, Е.С. СОЛОВЬЕВА¹¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия

ТЕРМОДЕСТРУКЦИЯ СТЕБЛЕЙ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО, МОДИФИЦИРОВАННЫХ МОНОЭТАНОЛАМИН (N→B)- ТРИГИДРОКСИБОРАТОМ

Аннотация. В представленной работе исследован процесс термодеструкции не модифицированных и модифицированных боразотным соединением измельченных стеблей борщевика Сосновского методом термогравиметрического анализа (ТГА) и дифференциальной сканирующей калориметрией (ДСК). Общая цель исследования - определение температуры разложения основных химических компонентов и величин потери массы обработанных и необработанных измельченных стеблей борщевика Сосновского для установления условий производства теплоизоляционных материалов на основе обработанных измельченных стеблей. Концентрация используемого модификатора составляла 10%, 30% и 50% моноэтаноламин (N→B)-тригидроксидбората (МЭАТГБ). Полученные данные позволили сделать вывод о том, что использование 30% и 50% модификатора МЭАТГБ уменьшает величину потерь массы по сравнению с контрольными образцами. Таким образом, установлена оптимальная концентрация модификатора разная 30% для изготовления композитов из обработанных измельченных стеблей борщевика Сосновского с возможностью обработки и/или сушки при температуре менее 100°C.

Ключевые слова: борщевик Сосновского, термогравиметрический анализ, моноэтаноламин (N→B)-тригидроксидборат (МЭАТГБ), потеря массы, температура разложения

I.V. STEPINA¹, M. SODOMON¹, A.A. KRUK¹, E.S. SOLOVYEVVA¹¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

THERMAL DEGRADATION OF STEMS OF BORSCHTIA SOSNOVSKII MODIFIED WITH MONOETHANOLAMINE (N→B)- TRIHIDROXYBORATE

Abstract. In the presented work, the process of thermodegradation of unmodified and borazote-modified crushed stems of Sosnovsky's Heracleum by thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC) was investigated. The general purpose of the study is to determine the decomposition temperature of the main chemical components and the values of mass loss of unmodified and modified crushed stems of Sosnovsky's heracleum to establish the conditions for the production of thermal insulation materials based on modified crushed stems. The concentration of the used modifier was 10%, 30% and 50% of monoethanolamine(N→B)trihydroxyborate (MEATHB). The data obtained allowed us to conclude that the use of 30% and 50% MEATHB modifier reduced the magnitude of mass loss compared to the control samples. Thus, the optimal concentration of the modifier different 30% was established for the manufacture of composites from modified crushed stems of Sosnovsky's heracleum with the possibility of processing and/or drying at temperatures less than 100°C.

Keywords: Sosnovsky's heracleum, thermogravimetric analysis, monoethanolamine (N→B) trihydroxyborate (MEATHB), mass loss, decomposition temperature.

Введение

Борщевик Сосновского в последнее время приобретает широкую популярность в сфере производства строительных материалов, что обусловлено особенностями структуры стеблей этого инвазивного вида. Стебли борщевика Сосновского имеют пористое строение, поэтому их можно использовать в качестве заполнителя, понижающего теплопроводность композиционных материалов. Однако, лигно-углеводный комплекс клеточных стенок борщевика уязвим для микроорганизмов и является легковоспламеняемым материалом. Для того, чтобы частично нивелировать эти негативные особенности, растительное сырье модифицируют антисептиками и антипиренами [1, 2].

Разработка современных экологических теплоизоляционных материалов на основе переработки растительного сырья отражает важность и актуальность исследований, направленных на поиск устойчивых и экологически чистых решений в области строительства и энергосбережения. Анализ этой темы позволяет оценить потенциал переработки растительного сырья и разработки новых материалов, которые могут быть использованы для теплоизоляции в строительстве и других отраслях промышленности. Преимущества экологических теплоизоляционных материалов заключаются в следующем: во-первых, утилизация отходов растениеводства, которых производится большое количество и, как следствие, возникает множество проблем с утилизацией. Использование этих отходов в качестве сырья для производства теплоизоляционных материалов позволяет снизить их негативное воздействие на окружающую среду. Таким образом, это становится актуальной задачей для безопасности и охраны окружающей среды, особенно в более развитых странах с высоким уровнем промышленного прогресса [3]. Во-вторых, снижение энергопотребления: экологические теплоизоляционные материалы обладают хорошими теплоизоляционными свойствами, что позволяет снизить потребление энергии для обогрева и охлаждения зданий. Это ведет к экономии энергии и затрат на отопление, а также к сокращению выбросов парниковых газов [4]. В-третьих, повышение энергетической эффективности: в процессе эксплуатации любого здания и сооружения проблема энергосбережения неразрывно связана с его экономической составляющей. При этом расходы на отопление можно сократить до 40%, если использовать прогрессивные методы утепления ограждающих конструкций. Таким образом, применение современных экологических теплоизоляционных материалов позволяет повысить энергетическую эффективность зданий. Такие материалы помогают удерживать тепло в зимний период и сохранять прохладу в летний период, что снижает потребность в использовании систем отопления и кондиционирования воздуха [5-6]. В-четвертых, снижение воздействия на здоровье людей: экологические теплоизоляционные материалы обычно не содержат вредных химических веществ и аллергенов, что способствует улучшению качества внутреннего воздуха в зданиях и создает более безопасную и комфортную среду для проживания и работы людей. И в-пятых, это содействие устойчивому развитию: разработка и использование экологических теплоизоляционных материалов на основе переработки отходов растениеводства способствует принципам устойчивого развития. Она способствует сокращению использования ограниченных природных ресурсов и уменьшению количества отходов, направляемых на свалку [7, 8].

Однако, при разработке и применении таких материалов необходимо учитывать следующие факторы и вызовы [9-11]. Во-первых, технические характеристики: новые материалы должны обладать необходимыми теплоизоляционными свойствами, чтобы эффективно выполнять свои функции. Они должны быть стабильными, долговечными и отвечать требованиям строительных стандартов. Во-вторых, инновационные процессы производства: разработка экологических теплоизоляционных материалов требует инновационных технологических процессов, которые могут обеспечить эффективную переработку отходов растениеводства и создание качественных продуктов. В-третьих, экономическая жизнеспособность: для широкого применения новых материалов в строительстве необходима их экономическая конкурентоспособность по сравнению с традиционными материалами. Стоимость производства, доступность сырья и рыночные факторы должны быть учтены. В-четвертых, стандарты и регулирование: разработка и использование новых материалов требует

соблюдения соответствующих стандартов и регулирований в области строительства и экологии. Необходимо удостовериться, что материалы безопасны для использования и соответствуют требованиям качества и безопасности.

В целом, разработка современных экологических теплоизоляционных материалов на основе переработки растительного сырья представляет большой потенциал для устойчивого развития и снижения негативного влияния на окружающую среду. Однако, требуется дальнейшее исследование, инновации и сотрудничество между научными, промышленными и государственными секторами для успешной реализации этой концепции. Ранее [12] были изучены теплофизические свойства композитных материалов на основе модифицированных стеблей Борщевика Сосновского. Результаты исследований свидетельствуют о создании высокоэффективных теплоизоляционных материалов с низкими коэффициентами теплопроводности и низкой плотностью в соответствии с требованиями действующих стандартов. Значения прочности на сжатие при деформации 10% и прочности на изгиб полученных композитов, значительно превышают минимальные требования, предписанные действующими стандартами. Следует отметить, что использование полиуретанового связующего позволило добиться лучших характеристик полученных композитов.

Материалы и методы исследования

В качестве модификаторов использовали составы на основе моноэтаноламин($N \rightarrow B$)-тригидроксидбората (МЭАТГБ). Ранее использование МЭАТГБ показало высокую эффективность на конструкционной древесине. Однако эффективность его применения зависела от достаточно высокой концентрации. Был разработан огнезащитный состав "Ксилостат", содержащий 50% по массе МЭАТГБ [13].

В качестве исходного сырья, использовались стебли борщевика Сосновского (БС), собранные в Пушкинском районе Московской области. Сначала стебли очищались от поверхностных загрязнений, затем проходили процесс высушивания и измельчения до размера 5 мм. После измельчения стебли высушивались на воздухе до полного удаления влаги и достижения постоянной массы. Модифицирование измельченных стеблей осуществлялось водными растворами МЭАТГБ различной концентрации (10%, 30% и 50% по массе модификатора), $pH=8,5$, 8,8 и 9,0 соответственно. Учитывая особенности состава и структуры стеблей борщевика, мы предположили, что при использовании этого модификатора для модификации субстрата концентрацию можно будет уменьшить без потери эффективности защитного действия. Модифицирование осуществлялось методом погружения при постоянном помешивании в течение 3 часов. Температура модифицирования составляла 25°C. После модифицирования образцы высушивались на воздухе до постоянной массы. Для изучения терморазложения модифицированного растительного сырья использовался термогравиметрический анализ.

Термогравиметрический анализ (ТГА) широко используется при изучении термохимической трансформации растительного сырья и характеристики продуктов их разложения [14-16]. ТГА показывает этапы разложения материала под воздействием температуры, что приводит к потере веса. Для изучения термических свойств были проведены испытания образцов модифицированного и не модифицированного растительного сырья. Термогравиметрическое изучение (ТГА-ДСК) образцов растительного сырья выполнено на приборе «Термоанализатор SDT-Q-600 V20.9 Build 20» в воздушной среде. Эти измерения проводились с использованием воздушных потоков с постоянной скоростью нагрева 5 °C/мин в диапазоне температур от 20 до 800°C. Обработка результатов измерений произведена с помощью прилагаемого пакета программ «TA universal analysis».

Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) является наиболее распространенным методом термического анализа наряду с ТГА. ДСК используется для измерения энтальпии как функции изменения физико-химических свойств материалов под действием температуры с течением времени. Этот метод позволяет идентифицировать и характеризовать материалы.

Результаты и обсуждение

Температурные диапазоны деградации компонентов, присутствующих в растительных волокнах, определены в библиографии [17-18]:

- Потеря воды и летучих соединений (100°C - 250°C);
- Деградация гемицеллюлоз (250°C - 350°C);
- Деградация целлюлозы (350°C - 450°C);
- Деградация лигнина (150-300 и 300°C - 500°C)

Результаты термогравиметрических испытаний, проведенных на не модифицированных и на модифицированных образцах, представлены на рисунках 1 и 2 и в таблице 1.

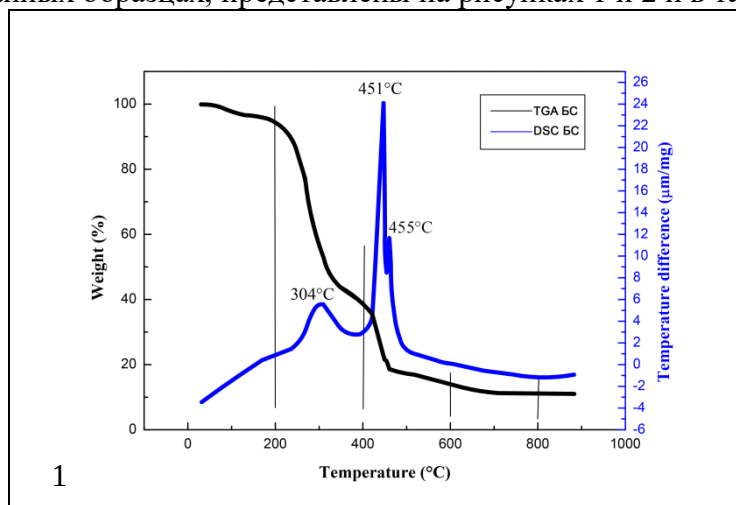


Рисунок 1 – Термогравиметрический анализ (ТГА) и Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) немодифицированного образца (БС)

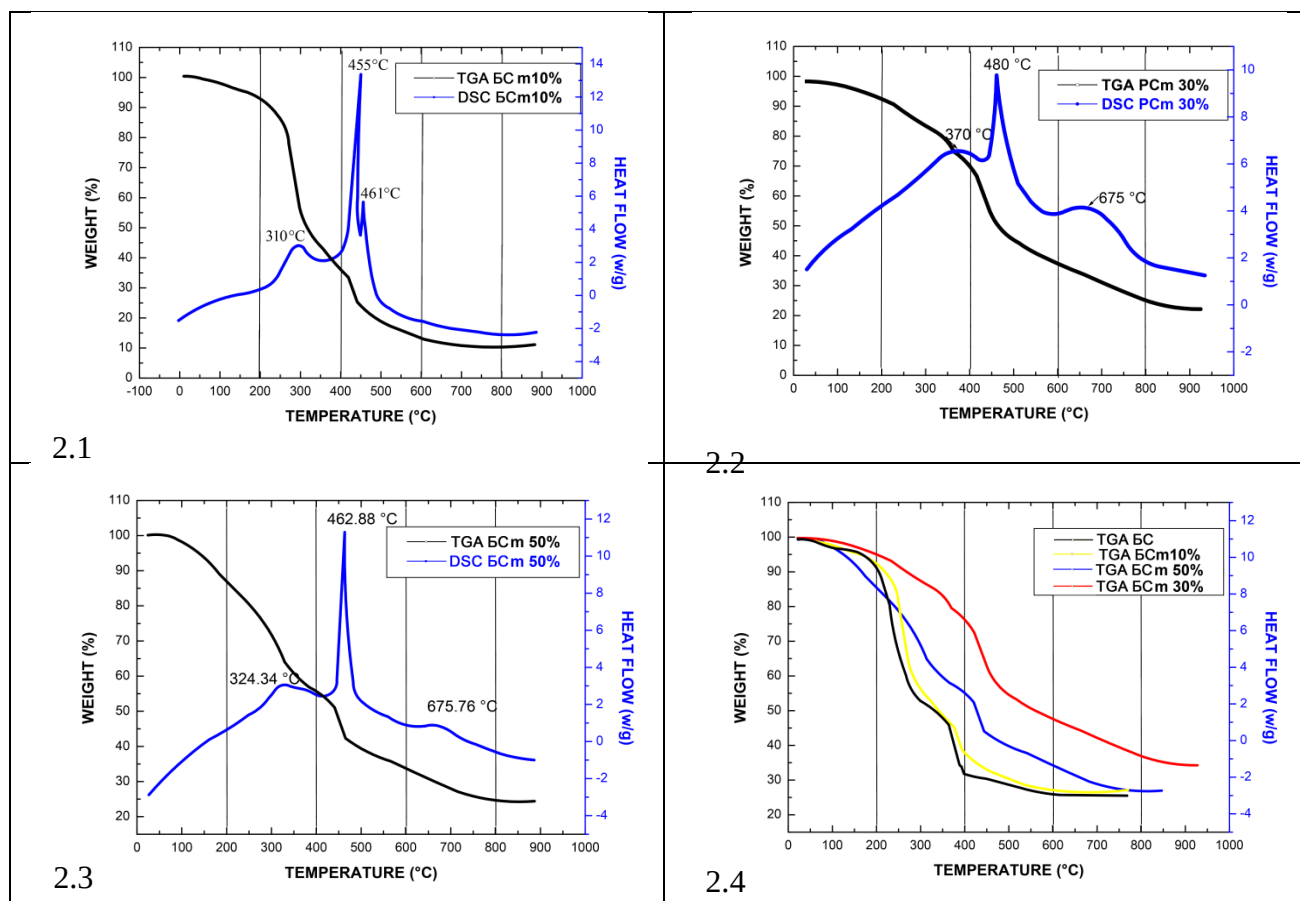


Рисунок 2 – Термогравиметрический анализ (ТГА) и дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) модифицированных образцов (2.1: 10%ный МЭАТГБ; 2.2: 30%ный МЭАТГБ; 2.3: 50%ный МЭАТГБ) и 2.4: сравнение ТГА модифицированных и не модифицированного образцов

На рисунке 1 отмечаются все характерные пики температурных максимумов разложения основных компонентов лигно-углеводного комплекса клеточных стенок БС. Пик в области 304 °С соответствует температуре разложения гемицеллюлоз; 451 °С – целлюлозы и 455 °С – лигнина. Вид термоаналитических кривых, полученных для модифицированных образцов, (рисунок 2) существенно отличается от кривых, полученных для не модифицированного образца (рисунок 1). У модифицированных образцов, рисунки 2.2 и 2.3, отмечается существенный сдвиг пика температурного максимума целлюлозы вправо и отсутствует пик, характерный температуре максимума терморазложения лигнина. Это обусловлено влиянием привитого модификатора на процесс терморазложения. За счет синергического действия атомов бора и азота процесс терморазложения модифицированной подложки начинается при более высокой температуре. Причем, при использовании 30%-ного раствора МЭАТГБ в качестве модификатора температура максимума составляет 480 °С, а при использовании 50%-ного МЭАТГБ она ниже на 17 °С и составляет почти 463 °С. Это можно объяснить деструктирующим действием модификатора в высокой концентрации. В работе [19] показано, что при использовании 50%-ного раствора МЭАТГБ для модификации стеблей БС происходит частичная деполимеризация целлюлозы и связывание гидроксильных групп лигнина молекулами модификатора, что снижает его общий огнезащитный эффект. В результате чего отмечается и более существенная величина потери массы, рисунок 2.4 и таблица 1. Кроме того, на рисунке 2.2 и 2.3 отсутствует пик температуры максимума терморазложения лигнина. Это можно объяснить влиянием модификатора на компонентный состав подложки. 30 и 50%-ные модификаторы приводят к существенному изменению структуры и состава лигнина и последний не определяется по методу Класона [19]. Необходимо отметить, что при использовании 10%-ной концентрации МЭАТГБ существенных отличий в процессе термодеструкции модифицированных образцов от нативных не отмечается, рисунки 1, 2 и таблица 1.

Таблица 1 - Результаты термогравиметрического изучения (ТГА/ДСК) терморазложения образцов немодифицированного и модифицированных стеблей растительного сырья.

Природа подложки	№ стадии	Диапазон Т, °С		Температура максимума пика по стадии (Тmax), °С	Убыль массы, %	Остаточная масса, %
БС- Растительное сырьё без обработки						
БС	I	50	250	-	18,83	81,17
	II	240	320	304	51,1	48,90
	III	320	560	451/ 457	86	14,00
БСм10- Растительное сырьё, модифицированное 10% МЭАТГБ						
БС+10% МЭАТГБ	I	50	250	-	15,87	84,13
	II	240	320	310	51,75	48,25
	III	320	560	455/ 461	84,6	15,4
БСм30- Растительное сырьё, модифицированное 30% МЭАТГБ						
БС+30% МЭАТГБ	I	50	250	-	10,87	89,13
	II	240	320	-	19,74	80,16
	III	320	560	370/480	57,9	42,12
БСм50- Растительное сырьё, модифицированное 50% МЭАТГБ						
БС+50% МЭАТГБ	I	50	250	-	11,78	88,22
	II	240	320	-	28,84	71,16
	III	320	560	324/462,88	63,3	36,7

Из таблицы 1 видно, что в случае не модифицированного борщевика Сосновского при температуре до 560°С общая величина потери массы стабилизировалась на уровне 86% и составляет 84,6% для стеблей борщевика Сосновского при модификации 10%-ым МЭАТГБ, 57,9% для стебли борщевика Сосновского при 30%-ом модификации МЭАТГБ и 63,3% для стебли борщевика Сосновского при 50%-ом модификации МЭАТГБ соответственно, таблица 1 и рисунки 1 и 2. Это можно объяснить тем, что при модифицировании, происходит

повышение термостабильности основных компонентов лигноуглеводного комплекса клеточных стенок за счет привития молекул модификатора. В целом, согласно кривой ТГА из представленных рисунков 1 и 2 и таблицы 1, видно, что эта потеря массы происходит в три этапа: 50-240°C, 240-320°C, 320-560°C. Первая стадия (50-240°C) связана с дегидратацией волокон, вторая стадия (240-320°C) соответствует разложению пектинов и гемицеллюлоз, а зона между 320 и 560°C представляет собой разложение целлюлозы в сочетании с разложением лигнинов.

Выводы

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы. Модифицирование стеблей борщевика Сосновского моноэтаноламин(N→B)-тригидроксидом приводит к повышению термостабильности растительного сырья. Процесс деструкции основного компонента – целлюлозы происходит при более высокой температуре и существенно снижается величина потери массы при горении подложки. Оптимальной является 30%-ная концентрация модификатора. При такой концентрации отмечается наименьший процент потери массы образцами при горении и наиболее значительный сдвиг температуры максимума в область высоких значений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России). М.: ГЕОС, 2009. 494 с.
2. Шестаков Д.И., Минакова А.Р., Симонова Е.И. Исследование возможности использования борщевика Сосновского как сырья для производства целлюлозы // Материалы XVI Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов: посвящается 90-летию Уральского государственного лесотехнического университета (УЛТИ УГЛТА УГЛТУ). – УГЛТУ, 2020. С. 525-527.
3. Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Тотурбиев А.Б. Низкообжиговая, энергосберегающая, экологически безопасная технология производства керамических материалов на основе глинистых сланцев // Геология и Геофизика Юга России. 2022. №1 (12). С. 148-161.
4. Семенова Э.Е., Артамонов Н.П. Анализ применения современных энергосберегающих материалов при реконструкции торговых центров // Инженерные системы и сооружения. 2016. №3-4 (24-25). С. 57-60.
5. Золотарев А.С. Разработка современных экологичных теплоизоляционных материалов на основе переработки отходов растениеводства // Научный журнал молодых ученых. 2022. №5 (30). С. 45-50.
6. Сапрыкин Н.В. Повышение эффективности капитального ремонта и реконструкции зданий на основе энергосбережения // Научный журнал молодых ученых. 2019. №3 (16). С. 53-55.
7. Колосова А.С., Пикалов Е.С. Современные эффективные теплоизоляционные материалы на органической основе // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2021. №. 4. С. 74-85.
8. Aditya L. et al. A review on insulation materials for energy conservation in buildings // Renewable and sustainable energy reviews. 2017. Vol. 73. Pp. 1352-1365.
9. Cosentino L., Fernandes J., Mateus R. A Review of Natural Bio-Based Insulation Materials // Energies. – 2023. Vol. 16. No. 12. Pp. 4676.
10. Смирнова О.Е., Отточко С.Ю. Возможности изготовления теплоизоляционных материалов на основе органических отходов // Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). 2017. №. 2 (20). С. 120-130.
11. Шабалина О.Н., Горбушина Т.Н., Гордина А.Ф. Разработка теплоизоляционного материала с применением костры льна // Сборник материалов IV Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием (Молодые ученые - ускорению научно-технического прогресса в XXI веке). Ижевск : Изд-во ИННОВА, 2016. С. 864-868.
12. Содомон М., Степина И.В. Теплофизические свойства композитного материала на основе растительного сырья // Техника и технология силикатов. 2022. № 4 (29). С. 342-349.
13. Котенева И.В. Боразотные модификаторы для защиты древесины строительных конструкций : монография / И. В. Котенева. – Москва : МГСУ, 2011. 191с.
14. Yang H. et al. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis // Fuel. 2007. №. 12-13 (86). Pp. 1781-1788.
15. Poletto M., Júnior H.L.O., Zattera A.J. Thermal decomposition of natural fibers: kinetics and degradation mechanisms // Reactions and mechanisms in thermal analysis of advanced materials. 2015. Pp. 515-545.

16. Микова Н.М., Фетисова О.Ю., Павленко Н.И., Чесноков Н.В. Изучение термического поведения органосольвентных лигнинов, выделенных из древесины пихты и осины // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2018. №. 4 (26). С. 411-418.
17. Destaing F. Contribution à l'étude du comportement mécanique de matériaux composites biosourcés lin/PA11 élaborés par thermocompression : Caen. Université de Caen Bass-Normandie. 2012.
18. Маляр Ю.Н., Шарыпов В.И., Казаченко А.С., Левданский А.В. Изучение органосольвентных лигнинов с методами гель-проникающей хроматографии и термического анализа // *Журнал Сибирского федерального университета*. Химия. 2019. №. 1 (12). С. 73-86.
19. Степина И.В., Содомон М., Кононов Г.Н., Петухов В.А. Компонентный состав модифицированного растительного сырья // *Инженерный вестник Дона*. 2022. №. 9 (93). С. 223-231.

REFERENCES

1. Vinogradova Y.K., Mayorov S.R., Khorun L.V. Chernaya kniga flory Srednei Rossii (Chuzherodnyye vidy rastenii v ekosistemakh Srednei Rossii) [Black Book of Flora of Middle Russia (Alien plant species in ecosystems of Middle Russia)]. M.: GEOS, 2009. 494 p. (rus)
2. Shestakov D.I., Minakova A.R., Simonova E.I. Issledovaniye vozmozhnosti ispol'zovaniya borshchevika Sosnovskogo kak syr'ya dlya proizvodstva tsellyulozy [Investigation of the possibility of using Sosnovsky's borsch as a raw material for cellulose production]. *Materialy XVI Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i aspirantov: posvyashchayetsya 90-letiyu Ural'skogo gosudarstvennogo lesotekhnicheskogo universiteta (ULTI UGLTA UGLTU)*. [Proceedings of the XVI All-Russian Scientific and Technical Conference of Students and Postgraduates: Dedicated to the 90th Anniversary of the Ural State Forestry University]. UGLTU, 2020. Pp. 525-527. (rus)
3. Toturbiev B. D., Mamaev S. A., Toturbiev A. B. Nizkoobzhigovaya, energosberegayushchaya, ekologicheski bezopasnaya tekhnologiya proizvodstva keramicheskikh materialov na osnove glinistykh slantsev [Low-firing, energy-saving, environmentally safe technology for the production of ceramic materials based on clay shale]. *Geology and Geophysics of Southern Russia*. 2022. Vol. 12. No 1. Pp. 148-161. (rus)
4. Semenova E.E., Artamonov N.P. Analiz primeneniya sovremennykh energosberegayushchikh materialov pri rekonstruktsii torgovykh tsentrov [Analysis of the application of modern energy-saving materials in the reconstruction of shopping centers]. *Engineering systems and facilities*. 2016. Vol. 24-25. No 3-4. Pp. 57-60. (rus)
5. Zolotarev A.C. Razrabotka sovremennykh ekologichnykh teploizolyatsionnykh materialov na osnove pererabotki otkhodov rasteniyevodstva [Development of modern environmentally friendly heat-insulating materials based on the processing of crop wastes]. *Scientific Journal of Young Scientists*. 2022. Vol.30. No 5. Pp. 45-50. (rus)
6. Saprykin N.V. Povysheniye effektivnosti kapital'nogo remonta i rekonstruktsii zdaniy na osnove energosberezheniya [Improving the efficiency of capital repair and reconstruction of buildings on the basis of energy saving]. *Scientific Journal of Young Scientists*. 2015. Vol. 16. No 3. Pp. 251-255. (rus)
7. Kolosova A.S., Pikalov E.C. Sovremennyye effektivnyye teploizolyatsionnyye materialy na organicheskoy osnove [Modern effective thermal insulation materials on organic basis]. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2021. No 4. Pp. 74-85. (rus)
8. Aditya L. et al. A review on insulation materials for energy conservation in buildings. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2017. Vol. 73. Pp. 1352-1365.
9. Cosentino L., Fernandes J., Mateus R. A Review of Natural Bio-Based Insulation Materials // *Energies*. – 2023. Vol. 16. No 12. Pp. 4676.
10. Smirnova O.E., Ottochko S.Yu. Vozmozhnosti izgotovleniya teploizolyatsionnykh materialov na osnove organicheskikh otkhodov [Possibilities of manufacturing of thermal insulation materials based on organic waste]. *Proceedings of the Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)*. 2017. Vol. 20. No 2. Pp. 120-130. (rus)
11. Shabalina O.N., Gorbushina T.N., Gordina A.F. Razrabotka teploizolyatsionnogo materiala s primeneniym kostry l'na [Development of thermal insulation material with the use of flax bark]. *Molodyye uchenyye-uskoreniyu nauchno-tekhnicheskogo progressa v XXI veke*. [Proceedings of the IV All-Russian Scientific and Technical Conference of Postgraduate Students, Masters Students and Young Scientists with International Participation (Young Scientists - Acceleration of Scientific and Technical Progress in the XXI Century)]. Izhevsk : Izd-vo INNOVA, 2016. Pp. 864-868. (rus)
12. Sodomon M., Stepina I.V. Teplofizicheskie svoystva kompozitnogo materiala na osnove rastitel'nogo syr'ya [Thermophysical properties of composite material based on plant raw materials]. *Silicate engineering and technology*. 2022. Vol. 29. No 4. Pp. 342-349. (rus).
13. Koteneva I.V. Borazotnyye modifikatory dlya zashchity drevesiny stroitel'nykh konstruktsiy. [Borazotnye modifiers for wood protection of building structures]. Moscow : MSCU, 2011. 191p. (rus)
14. Yang H. et al. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*. 2007. Vol. 86. No 12-13. Pp. 1781-1788.
15. Poletto M., Júnior H.L.O., Zattera A.J. Thermal decomposition of natural fibers: kinetics and degradation mechanisms. *Reactions and mechanisms in thermal analysis of advanced materials*. 2015. Pp. 515-545.

16. Mikova N.M., Fetisova O.Yu., Pavlenko N.I., Chesnokov N.V. Izucheniye termicheskogo povedeniya organosol'ventnykh ligninov, vydelennykh iz drevesiny pikhty i osiny [Study of thermal behavior of organosolvent lignins isolated from fir and aspen wood]. *Chemistry for sustainable development*. 2018. Vol. 26. No 4. Pp. 411-418. (rus)
17. Destaing F. Contribution à l'étude du comportement mécanique de matériaux composites biosourcés lin/PA11 élaborés par thermocompression : Diss. – Caen, 2012. (French).
18. Malyar Yu. N. et al. Izucheniye organosol'ventnykh ligninov s metodami gel'-pronikayushchey khromatografii i termicheskogo analiza [Study of organo-solvent lignins using gel permeation chromatography and thermal analysis]. *Journal of the Siberian Federal University. Chemistry*. 2019. Vol. 12. Vol. 1. Pp. 73-86. (rus)
19. Stepina I.V., Sodomon M., Kononov G.N., Petukhov V.A. Komponentnyy sostav modifitsirovannogo rastitel'nogo syr'ya [Component composition of modified plant raw materials]. *Don Engineering Bulletin*. 2022. Vol. 93. No 9. Pp. 223-231.

Информация об авторах:

Степина Ирина Васильевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
г. Москва, Россия,

доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры Строительного материаловедения.

E-mail: sudeykina@mail.ru

Содомон Марк

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
г. Москва, Россия,

аспирант кафедры Строительного материаловедения.

E-mail: sodomonmarc@yahoo.fr

Крук Артем Анатольевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
г. Москва, Россия,

студент кафедры Строительного материаловедения.

E-mail: krukartem24020@gmail.com

Соловьева Екатерина Сергеевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
г. Москва, Россия,

студент кафедры Строительного материаловедения.

E-mail: solovyevaakaty@gmail.com

Information about authors:

Stepina Irina V.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
docent, candidate of technical sciences, lecturer of the department of Building Materials Science.

E-mail: sudeykina@mail.ru

Sodomon Mark

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
postgraduate student of the department of Building Materials Science.

E-mail: sodomonmarc@yahoo.fr

Kruk Artem An.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
student of the department of Building Materials Science.

E-mail: krukartem24020@gmail.com

Solovieva Ekaterina S.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
student of the department of Building Materials Science.

E-mail: solovyevaakaty@gmail.com