

# МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.517-525>

УДК 677.11: 628.3



## Технология производства сорбентов из костры масличного льна

© 2019. Е. М. Пучков✉, А. В. Галкин, И. В. Ущачовский

ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь,  
Российская Федерация

Для промышленного освоения производства сорбентов из недревесного сырья в России большой интерес представляют отходы льнопереработки – льняная костра. Посевы масличного льна в России составляют свыше 700 тыс. гектаров. До настоящего времени из-за отсутствия технологии переработки тресты масличного льна она повсеместно сжигалась. С началом внедрения в регионах масличного льносеяния новой технологии переработки тресты масличного льна и получения льноволокна, разработанной учеными ФНЦ лубяных культур, проблема утилизации отходов – льняной костры, может быть решена. Исследования, проведенные в 2015-2018 гг. в научных лабораториях и опытно-производственном заводе ФНЦ ЛК, а также в льносеющих хозяйствах Удмуртской Республики, Ростовской области и Краснодарского края показали, что в льняной костре содержится 49-51% целлюлозы, 23-27% лигнина, от которых зависит сорбционная способность материала. Значения сорбционной емкости сорбентов из льняной костры по эффективности сорбции ионов по отношению к тяжелым металлам составляют 85-91%, к нефтепродуктам – 3,9-17,3 мг/г, йоду и метиленовому голубому – соответственно 222 и 220 мг/г и не уступают сорбентам из древесины, могут заменить ее использование. Разработанная технология получения сорбента из льна позволяет организовать производство непосредственно в льносеющих хозяйствах и льнозаводах с использованием уже подготовленного сырья.

**Ключевые слова:** льнокостра, активированный уголь, карбонизация, активация, адсорбция

**Благодарности:** научное исследование выполнено в рамках Государственного задания ФГБНУ ФНЦ ЛК (№ 075-00853-19-00).

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Пучков Е. М., Галкин А. В., Ущачовский И. В. Технология производства сорбентов из костры масличного льна. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(5):517-525. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.517-525>

Поступила: 18.03.2019

Принята к публикации: 04.09.2019

Опубликована онлайн: 18.10.2019

## The technology of producing sorbents from linseed flax shive

© 2019. Evgeniy M. Puchkov✉, Aleksey V. Galkin, Igor V. Ushchapovsky

Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

Flax processing waste, flax shive is of great importance for producing sorbents from non-wooden materials in Russia. There are more than 700 thousand hectares of linseed flax crops in the country. Linseed flax shive had been burned everywhere until recently as there was no technology of its processing. The waste disposal problem in the linseed flax cultivation regions could be solved by introducing new flax waste recycling and linen producing technologies developed by scientists of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops. In 2015-2018 some studies were carried out in research laboratories and on the experimental plant of the center as well as on flax-sowing farms of the Udmurt Republic, Rostov region and Krasnodar territory. The research has shown that linseed shive contains 49-51% of cellulose and 23-27% of lignin, on which the sorption capacity of the material depends. The values of flax waste sorbent sorption capacity by the effective sorption of ions in relation to heavy metals are 85-91 %, to oil products - from 3.9 to 17.3 mg/g, to iodine and methylene blue - 222 and 220 mg/g, respectively. These values don't concede the sorbents from wood and can replace the use of the latter. The developed technology of obtaining sorbent from flax allows to organize the production directly on flax-sowing farms and flax factories applying raw materials ready to use.

**Key words:** linseed flax shive, activated carbon, carbonization, activation, adsorption

**Acknowledgement:** the research was carried out within the state assignment of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops (№075-00853-19-00).

**Conflict of interest:** the authors stated that there was no conflict of interest.

**For citation:** Puchkov E. M., Galkin A. V., Ushchapovsky I. V. The technology of producing sorbents from linseed flax shive. *Agrarnaya nauka Yvro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(5):517-525. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.517-525>

Received: 18.03.2019

Accepted for publication: 04.09.2019

Published online: 18.10.2019

По данным Росстата<sup>1</sup>, посевные площади масличного льна в 2018 году составили 744 тыс. гектаров. При этом используется только семенная часть льна, а льнотреста в основном сжигается или запахивается, нарушая экологию регионов и структуру почвы. При переработке тресты льна на льноволокно остается невострепованной льнокостра с ежегодным объемом более 700 тыс. тонн [1], которая также требует утилизации. В то же время льняная костра является природным целлюлозосодержащим ежегодно воспроизводимым источником сырья и может быть использована для различных отраслей экономики взамен древесины и прочего сельскохозяйственного сырья, в том числе для производства сорбентов и биоразлагаемых материалов.

Учитывая, что Россия обеспечивается собственными активированными углями всего на 41,1%, целесообразно использовать льнокостру для производства активных углей [2].

Активные угли (сорбенты) в РФ в основном производятся из древесины (береза), каменного угля, торфа. Они играют важную роль в различных технологиях очистки воды и стоков. Структура использования углей: очистка питьевой воды и сточных вод – 34%, газов воздуха – 26%, пищевая промышленность – 22%, химическая, фармацевтическая и прочие отрасли – 18%<sup>2</sup>.

Объем производства активированных углей в РФ в 2017 году составил 10,4 тыс. тонн при объеме внутреннего рынка свыше 25 тыс. тонн.

По данным статистики внешней торговли и Федеральной таможенной службы РФ, за период с сентября 2017 года по сентябрь 2018 года Россия импортировала активного угля на сумму более 2,7 млрд рублей, экспорт составил всего 167 тыс. рублей<sup>3</sup>.

Технологии производства активированных углей в РФ из каменного угля, древесины, торфа в основном ориентированы на традиционные способы – карбонизацию сырья (термообработку) и активацию – химическую (агенты серная или фосфорная кислоты) или парогазовую.

Известна технология получения активированного угля из древесных отходов [2] на основе карбонизации и активации в одном агрегате. Недостатком этой технологии является большая материалоемкость агрегата, не позво-

ляющая в связи с большими экономическими затратами создавать небольшие производства, приближенные к расположению льносеющих хозяйств и цехов переработки масличного льна. Кроме того, для переработки древесины требуются дополнительные затраты по ее заготовке, доставке на переработку, а также измельчение и сушка.

Анализируя способы получения углеродных сорбентов [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11], необходимо отметить, что они также ориентированы на создание крупных предприятий по производству сорбентов и не учитывают возможность использования костры льна на эти цели непосредственно в льносеющих хозяйствах.

**Цель исследования** – разработать технологическую схему и технологию производства костроугольного сорбента из недорогой костры масличного льна, ориентированную на создание небольших производств непосредственно в местах выращивания льна в сельской местности, совмещенных с переработкой льнотресты на волокно.

Задачи – выполнить расчеты объемов неиспользованных отходов переработки масличного льна, а также анализ рынка сорбентов в РФ. Провести научные и экспериментальные исследования физико-химического состава костры масличного льна на предмет содержания лигнино-целлюлозных и прочих веществ в сравнении с древесными материалами. Изготовить экспериментальную лабораторную установку для получения активированного угля из льняной костры. Провести экспериментальные исследования по определению сорбционных характеристик полученного сорбента по отношению к йоду, метиленовому голубому, к тяжелым металлам и нефтепродуктам.

**Материал и методы.** На основании открытых статистических данных, научных публикаций и собственных исследований выполнены расчеты объемов неиспользуемых отходов переработки масличного льна, проанализирован объем производства активированных углей в РФ. Исследования проведены в 2015-2018 годах в льносеющих хозяйствах Удмуртской Республики, Ростовской области и Краснодарского края.

<sup>1</sup>Росстат. Посевные площади сельскохозяйственных культур в 2018 году. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc\\_1265196018516](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1265196018516) (дата обращения: 10.03.2019).

<sup>2</sup>Анализ рынка активированного угля в России. Маркетинговое агентство Discovery Group. URL: <http://dzigroup.ru> (дата обращения: 18.10.2018).

<sup>3</sup>Рынок активированного угля. Текущая ситуация и прогноз 2018-2022 гг. Маркетинговое исследование компании Alto Consulting Group. URL: <http://alto-group.ru> (дата обращения: 21.11.2018).

Объектом исследования являлась треста масличного льна наиболее распространенных сортов ВНИИМК 622, Северный, Ручеек урожая 2015-2018 годов.

В соответствии с методикой действующих стандартов<sup>4, 5</sup> с помощью мялки лабораторной МЛ-5 и костровыделителя ПК-2М определяли содержание костры в тресте масличного льна. Влажность льняной костры измеряли влагомером серии FIZEPR-SW100.11. Содержание золы определяли методом сжигания образцов костры в фарфоровом тигле<sup>6</sup>, лигнина – гидролитическим методом при обработке образца костры концентрированной серной кислотой (72%). Содержание целлюлозы определяли азотно-спиртовым методом (Кюршнера). Массовую долю чистой целлюлозы вычисляли по формуле:

$$C = (m_1 - m)K_{\Pi} \cdot \frac{100}{g}, \% \quad (1)$$

где  $C$  – массовая доля целлюлозы, %;  $m_1$  – масса фильтра с целлюлозой, г;  $m$  – масса пустого фильтра, г;  $g$  – масса абсолютно сухой навески костры, г;  $K_{\Pi} = (100 - \Pi) \cdot 100$  – поправочный коэффициент,  $\Pi$  – массовая доля пентозанов в целлюлозе, г,  $K_{\Pi}$  – принимаем 0,91.

С целью разработки технологической схемы промышленного получения костроугольного сорбента был изготовлен лабораторный экспериментальный образец пиролизного активатора, на котором получено 3,6 кг активированного угля.

В качестве теплоносителя карбонизации использовали газовую горелку с газодувкой при температуре от 300 до 800°C со скоростью подъема 20°C/мин, активацию парогенератором до 900°C. В качестве связывающего вещества применяли суспензию глауконитовой и бентонитовой муки на водной основе до 30% от общего объема. Смешивание костроугля и связывающего вещества проводили в смесителе. Грануляцию выполняли через сито с отверстиями диаметром 0,5 мм, подсушку – в печи СВЧ, отбор пыли – пылесосом с насадкой.

Для определения сорбционной емкости костроугольного сорбента использовали стан-

дартную методику, основанную на измерении оптической плотности раствора вещества – маркера (0,1 н раствор иода метиленового голубого с концентрацией 1500 мг/л), полученного после контакта с навеской образца в течение заданного времени.

Для определения сорбционной способности костроугольного сорбента по отношению к ионам железа, марганца и меди приготавливали растворы (на дистиллированной воде), содержащие  $\text{Fe}^{3+}$  (железоаммонийные квасцы),  $\text{Mn}^{2+}$  (сульфат марганца),  $\text{Cu}^{2+}$  (сульфат меди) соответственно 0,6; 0,1; 1,0 мг/л, в которых настаивались в течение 1 часа навески исследуемых материалов (сорбентов) (0,5 г на 50 мл растворов), после чего была определена их оптическая плотность в соответствии с инструкцией фотоэлектроколориметра ФЭК-60.

Определение сорбционных характеристик костроугольного сорбента по отношению к нефтепродуктам, основанное на окислении углеводородного сырья концентрированной серной кислотой, проводили также с помощью фотоколориметра, измеряя плотность растворов различной концентрации (керосин, бензин, дизельное топливо). По трем изучаемым загрязнителям строили градуировочные графики и находили среднее значение результатов.

Сравнивали полученный сорбент из льняной костры с древесными активированными углями БАУ-А<sup>7</sup> и БАУ-МФ<sup>8</sup>.

Статическую обменную емкость определяли по формулам:

$$COE = V(C_{исх} - C_{равн})/g, \text{ мг/г}, \quad (2)$$

где  $COE$  – статическая обменная емкость, мг/г;  $V$  – объем приливаемой к сорбенту воды, л;  $C_{исх}$  – концентрация в исходной воде, мг/л;  $C_{равн}$  – равновесная (остаточная) концентрация в фильтре, мг/л,  $g$  – масса сухого сорбента, мг.

Степень извлечения нефтепродуктов  $E$  из воды определяли по формуле:

$$E = \frac{C_{исх} - C_{равн}}{C_{исх}} \cdot 100\%. \quad (3)$$

<sup>4</sup>ГОСТ 24383-89 Треста льняная. М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. 19 с.

<sup>5</sup>ГОСТ 53143-2008 Треста льняная. М.: Стандартинформ, 2008. 19 с.

<sup>6</sup>ГОСТ 18461-93 Целлюлоза. Метод определения массовой доли золы. М.: ИПК Издательство стандартов, 1995. 8 с.

<sup>7</sup>ГОСТ 4453-74 Уголь активный осветляющий древесный порошкообразный. М.: Издательство стандартов, 1993. 23 с.

<sup>8</sup>ГОСТ 6217-74 Уголь активированный древесный дробленый. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. 8 с.

Коэффициент  $K$  – отношение концентрации нефтепродуктов, содержащихся в сорбенте, к концентрации в растворе:

$$K = \frac{(C_{исх} - C_{равн}) \cdot V}{C_{разн} \cdot g}, \text{ л/г.} \quad (4)$$

Согласно полученным результатам рассчитали сорбционные характеристики сорбентов.

**Результаты и их обсуждение.** Расчеты объемов неиспользованных отходов переработки масличного льна показали, что в РФ не используется ежегодно свыше 700 тыс. тонн уникального сельскохозяйственного сырья – льняной костры (рис. 1).

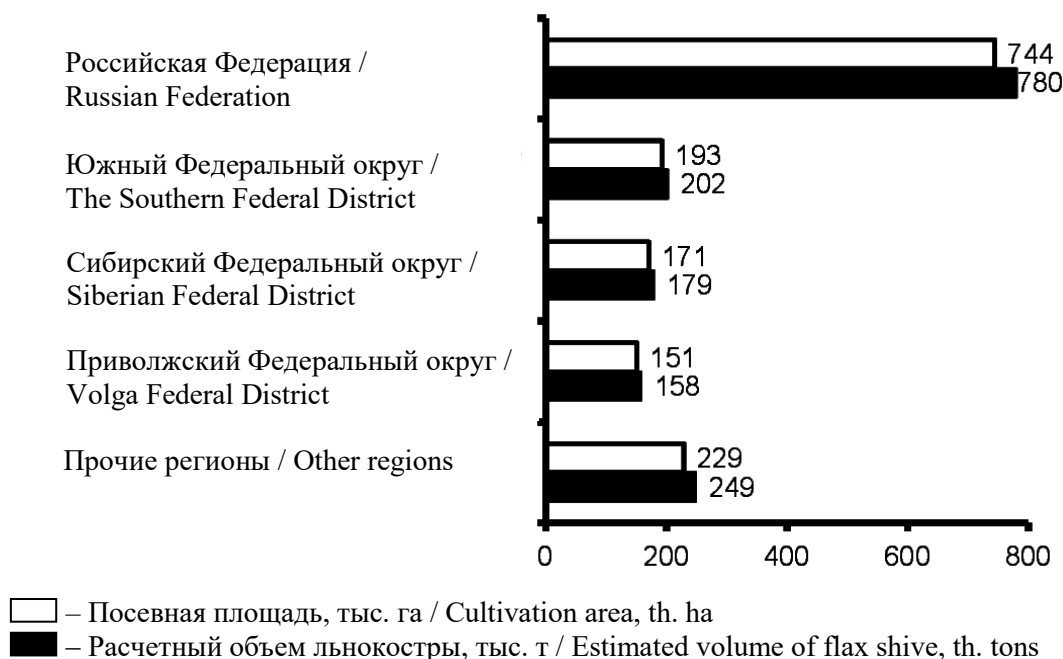


Рис. 1. Посевные площади масличного льна в 2018 году и расчетный объем неиспользуемой льняной костры /  
Fig. 1. Linseed flax cultivation area in 2018 and estimated volume of unutilized flax shive

Анализ производства активных углей в РФ показывает, что при ежегодно растущих потребностях в сорбентах для очистки воды, почвы, пищевых продуктов, воздуха в объеме от 25 тыс. тонн в 2019 году до 30 тыс. тонн к 2022 году<sup>9</sup>, Россия не обеспечивает себя отечественными сорбентами (табл. 1).

В то же время исследования физико-химических свойств льняной костры показали,

что при влажности не более 13% (у древесины – 40-60%) и содержании свыше 50% целлюлозы и 25% лигнина она обладает сорбирующими свойствами, не уступающими древесине (целлюлозы 45-55%, лигнина 20-29%), и может использоваться для производства активных углей взамен трудно возобновляемых лесных насаждений (табл. 2).

Таблица 1 – Объем производства активированного угля в 2010-2017 гг. /  
Table 1 – The volume of activated carbon production in 2010-2017

Показатель / Indicator	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Объем производства, тонн / Production volume, tons	2917	3508	4780	4331	5992	4992	9450	10409

Источник: данные Росстата<sup>10</sup>, аналитика IndexBox<sup>11</sup> / Source: Rosstat data, IndexBox analytics

<sup>9</sup>Рынок активированного угля. Текущая ситуация и прогноз 2018-2022 гг. Маркетинговое исследование компании Alto Consulting Group. URL: <http://alto-group.ru> (дата обращения: 21.11.2018).

<sup>10</sup>Росстат. Промышленное производство. ЕМИСС. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc\\_1265196018516](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1265196018516) (дата обращения: 10.03.2019).

<sup>11</sup>Рынок активированного угля. Маркетинговые исследования. URL: [www.indexBox.ru](http://www.indexBox.ru) (дата обращения: 15.02.2019).

*Таблица 2 – Физико-химическое содержание компонентов в льняной костре за период 2015-2018 гг., % / Table 2 – Physico-chemical content of components in linseed flax shive in 2015-2018, %*

Компонент / Component	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Среднее значение / Average
Зола / Ash	2	3	3	2	2,5
Лигнин / Lignin	27	23	25	25	25
Целлюлоза / Cellulose	49	50	51	51	50,25

Исследования сорбционных свойств полученного активированного угля из льняной костры в лаборатории ФНЦ ЛК на экспериментальной установке свидетельствуют о том, что показатели сорбционной емкости

по отношению к йоду и метиленовому голубому (табл. 3), тяжелым металлам (табл. 4) и нефтепродуктам (табл. 5) не уступают активированным углям из древесины марок БАУ-А и БАУ-МФ.

*Таблица 3 – Сорбционная емкость сорбентов по отношению к йоду и метиленовому голубому (МГ) / Table 3 – The sorption capacity of sorbents in relation to iodine and methylene blue (MB)*

Вид сорбента / Type of the sorbent	Сорбционная емкость мг/г / Sorption capacity, mg / g	
	по йоду / on iodine	по МГ / on MB
Костра масличного льна / Linseed shive	222,4	220,3
Активированный уголь БАУ-А / Activated carbon BAU-A	220,2	228,4
Активированный уголь БАУ-МФ / Activated carbon BAU-MF	223,6	231,1

*Таблица 4 – Сорбционная активность исследуемых сорбентов по отношению к тяжелым металлам / Table 4 – Sorption activity of the sorbents in relation to heavy metals*

Вид сорбента / Type of the sorbent	Эффективность сорбции ионов / Ion sorption efficiency, %		
	Fe	Mn	Cu
Костра масличного льна / Linseed flax shive	85,3	91,0	91,2
Активированный уголь БАУ-А / Activated carbon BAU-A	85,2	90,9	91,3
Активированный уголь БАУ-МФ / Activated carbon BAU-MF	85,4	91,9	91,6

*Таблица 5 – Адсорбционные характеристики сорбентов по отношению к нефтепродуктам / Table 5 – The adsorption characteristics of sorbents in relation to petroleum products*

Образец / Sample	Адсорбция керосина / Kerosene adsorption			Адсорбция бензина / Gasoline adsorption			Адсорбция дизельного топлива / Diesel oil adsorption		
	E, %	COE, мг/г	K	E, %	COE, мг/г	K	E, %	COE, мг/г	K
1	58,3	3,9	0,142	56,4	6,1	0,140	68,2	17,3	0,220
2	47,2	2,2	0,113	23,9	2,6	0,031	57,4	14,9	0,199
3	58,4	3,8	0,141	56,2	6,3	0,135	68,1	17,0	0,212

Примечания: Образец 1 – льняной костроуголь; 2 – активированный уголь БАУ-А; 3 – активированный уголь БАУ-МФ / Sample 1 – linseed shive coal; 2 – activated carbon BAU-A, 3 – activated carbon BAU-MF

Таким образом, исследования физико-химического состава льняной костры и сорбционных свойств, полученных из льняной костры активированных углей подтверждают целесообразность и необходимость использования костры льна в качестве дешевого сырья для

производства сорбентов.

В соответствии с результатами исследований разработана технологическая схема промышленного производства активированного угля из костры масличного льна (рис. 2).

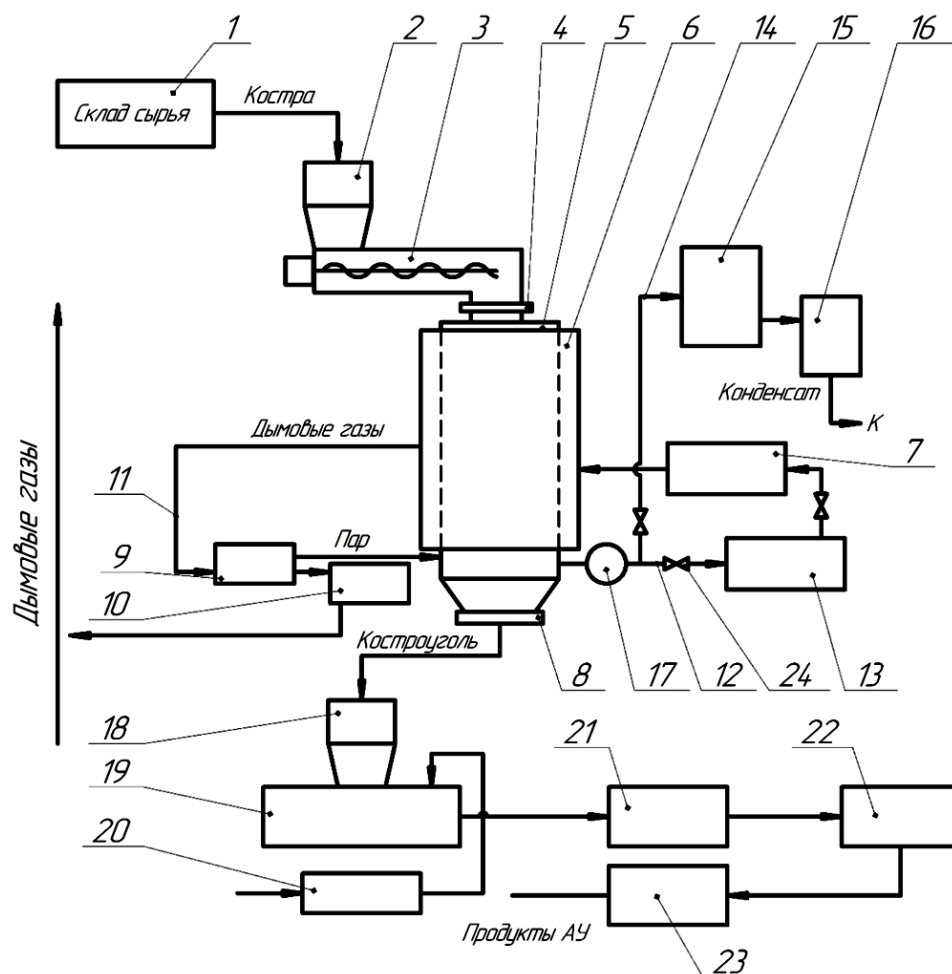


Рис. 2. Технологическая схема пиролиза активатора – гранулятора для получения костроугольного сорбента: 1 – склад льнякостры; 2 – бункер льнякостры; 3 – шнековый питатель; 4 – заслонка; 5 – реторта; 6 – нагревательная камера; 7 – топка (газогенератор, теплогенератор); 8 – заслонка; 9 – парогенератор; 10 – дымосос; 11 – дымовые газы; 12 – газы пиролиза; 13 – газгольдер; 14 – газы активации; 15 – холодильник; 16 – сборник конденсата; 17 – вакуумный насос; 18 – бункер-дозатор; 19 – смеситель; 20 – дозатор костровяжущего материала; 21 – термосушилка; 22 – гранулятор; 23 – сепаратор; 24 – вентиль /

Fig. 2. Technological scheme of the activator-granulator pyrolysis for obtaining linseed shive-coal sorbent: 1 – linseed shive store; 2 – hopper for linseed shive; 3 – screw feeder; 4 – damper; 5 – retort; 6 – heating chamber; 7 – furnace (gas generator, heat generator); 8 – damper; 9 – steam generator; 10 – exhauster; 11 – flue gases; 12 – pyrolysis gases; 13 – gasholder; 14 – activation gases; 15 – refrigerator; 16 – condensate collector; 17 – vacuum pump; 18 – hopper dispenser; 19 – mixer; 20 – shive binding dispenser; 21 – thermo dryer; 22 – granulator; 23 – separator; 24 – valve

Технологический процесс заключается в следующем: из цеха переработки тресты льна костра направляется пневмотранспортером в склад сырья 1 и затем через загрузочный бункер 2 в шнековый питатель 3, который заполняет емкость реторты 5. Блок пиролиза и активации состоит из герметичной реторты 5 и теплоизолированной снаружи нагревательной камеры 6. После наполнения реторты сырьем отверстие питателя загрузки закрывается герметичной заслонкой 4. Затем включается ва-

куумный насос 17 и производится откачка воздуха из реторты до разряжения 0,4-0,6 атм. в емкость холодильника 15. Используя теплогенератор 7 теплоноситель поступает в нагревательную камеру 6, где происходит нагрев реторты до температуры 700-900°C, необходимой для процесса карбонизации с выдержкой в течение 1-1,5 часа. После выдержки вакуумным насосом 17 пиролизный газ откачивается из реторты в газгольдер 13 для дальнейшего использования в теплогенераторе.

По окончании карбонизации парогенератором 9 в реторту подается перегретый пар температурой 900°C, и начинается процесс активации при соотношении пара к массе полукокса 1:1-5, затем производится дополнительное вакуумирование, при котором осуществляется охлаждение путем отсоса газообразных продуктов активации из реторты до разряжения 0,4-0,6 атм. в емкость конденсата 16. Выгрузка угля выполняется самопроизвольно в бункер 18 путем открытия герметичной заслонки 8, а затем уголь смешивается со связующим веществом в смесителе 19, сушится в термосушилке 21, гранулируется и сепарируется. Дымовые газы 11 удаляются из нагревательной камеры дымососом 10 в атмосферу.

Далее костроуголь поступает из реторты в бункер-дозатор 18, а потом в смеситель 19, костровяющий материал на основе суспензии глауконитовой и бентонитовой муки на водной основе поступает в дозатор 20, а затем в смеситель 19, где костроуголь и костровяющий материал смешиваются.

В качестве связующего материала можно использовать модифицированную льняную костру [5, 12, 13], однако этот процесс энергоемкий и затратный.

Далее костроугольный сорбент, после досушки в термосушилке 21 измельчается и гранулируется в грануляторе 22, затем подвергается сепарации в сепараторе 23 для отведения костроугольной пыли.

Новизна предложенной технологии производства костроугольного сорбента из отходов масличного льна заключается в следующем:

- может быть применена непосредственно в хозяйствах масличного льносеяния в виде небольших производств и не требует больших финансовых затрат;
- совмещена с переработкой льнотресты на волокно, использует часть оборудования

вышеуказанного цеха (теплогенератор, пневмокостротранспорт для подачи костры), не требует дополнительных затрат по доставке, измельчению и сушке сырья;

– в качестве связывающего вещества впервые предложено использовать вместо различных смол до 30% объема недорогостоящие природные минералы в виде суспензии бентонитовой и глауконитовой муки, которые обладают ионообменной способностью по отношению к ионам тяжелых металлов и высокой сорбционной способностью по отношению к органическим молекулам, что в целом улучшает сорбционные качества активированного костроугольного сорбента.

**Выводы.** Как показали исследования и проведенный анализ существующих технологий производства сорбентов из растительного сырья, содержание льняной костры в тресте масличного льна составляет до 70%. Она является ежегодно возобновляемым источником дешевого целлюлозного сырья для получения активных углей. Костра льна содержит более 50% целлюлозы, до 25% лигнина, при этом содержание золы незначительное.

Использование льнокостры на сорбенты в целях экологии полностью исключает ее сжигание в полях.

Предложенные в статье пути решения комплексного использования отходов масличного льна на основе внедрения технологии производства сорбентов, совмещенной с переработкой льнотресты на льноволокно в местах выращивания льна, будут способствовать развитию экономики региона и экологическую безопасность, создадут на основе импортозамещения условия дополнительного обеспечения отечественными дешевыми сорбентами всех отраслей экономики РФ, при этом будут сохранены трудновоспроизводимые лесные массивы.

#### **Список литературы**

1. Пучков Е. М., Галкин А. В., Ущаповский И. В. Экономическая эффективность инновационной технологии переработки тресты масличного льна. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(6(67)):134-140. Режим доступа: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/290>
2. Воскобойников И. В., Шевченко А. О., Щелоков В. М. Технология производства активированных углей из древесных отходов. Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2012;(8):56-58. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18041485>
3. Лысенко А. А., Асташкина О. В., Шевченко А. О., Удадьцова Н. Н., Ибрагимова Р. И., Храмова Н. В., Тимошенко С. И., Крюкова О. В. Способ получения углеродного сорбента: пат. № 2141450 Российская Федерация. № 98114775/12; заявл. 29.07.1998; опубл. 20.11.1999. 4 с. Режим доступа: [http://www1.fips.ru/fips\\_serv1/fips\\_servlet?DB=RUPAT&rn=3580&DocNumber=2141450&TypeFile=html](http://www1.fips.ru/fips_serv1/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=3580&DocNumber=2141450&TypeFile=html)
4. Новиков Н. Н. Способ получения активированного угля: пат. № 2196108 Российская Федерация. № 2001132164/12; заявл. 29.11.2001; опубл. 10.01.2003. Бюл. № 1. 5 с. Режим доступа: [http://www1.fips.ru/fips\\_serv1/fips\\_servlet?DB=RUPAT&rn=9210&DocNumber=2196108&TypeFile=html](http://www1.fips.ru/fips_serv1/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=9210&DocNumber=2196108&TypeFile=html)

5. Стеблинин А. Н., Стеблинин Н. А. Способ получения органического строительного материала на основе льняной костры: пат. № 2313502 Российская Федерация. № 2006119032/03; заявл. 31.05.2006; опубл. 27.12.2007. Бюл. № 36. 9 с. Режим доступа: [http://www1.fips.ru/fips\\_servl/fips\\_servlet?DB=RUPAT&rn=8941&DocNumber=2313502&TypeFile=html](http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=8941&DocNumber=2313502&TypeFile=html)
6. Якубовский С. Ф., Булавка Ю. А., Попкова Л. А., Писарева С. С. Сорбционные свойства природных целлюлозо- и лигнинсодержащих отходов для сбора проливов нефтепродуктов. Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Промышленность. Прикладные науки. 2013;(11):110-115. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23566211>
7. Панкеев В. В., Свешникова Е. С., Панова Л. Г. Способ получения углеродного сорбента из растительного сырья: пат. № 2493907 Рос. Федерация. № 2012118778/05; заявл. 04.05.2012; опубл. 27.09.2013. Бюл. № 27. 6 с. Режим доступа: [http://www1.fips.ru/fips\\_servl/fips\\_servlet?DB=RUPAT&rn=7780&DocNumber=2493907&TypeFile=html](http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=7780&DocNumber=2493907&TypeFile=html)
8. Мусеев Т. С., Солдатов К. В. Анализ современных сорбентов, на основе материалов органического происхождения. Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2017;(1-1):69-73. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27688776>
9. Ворошилова Е. Е., Гисматулина Ю. А., Золотухин В. Н. Химический состав соломы льна-межеумка и влияние способа получения на свойства образцов целлюлозы из нее. Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы VIII Всеросс. научн.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. Бийск: ФГБОУ ВПО «Алтайский ГТУ им. И.И. Ползунова», Бийский технологический институт (филиал), 2015. С. 261-264. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24886987&>
10. Арсеньева Д. Ю., Казаков Я. В., Окулова Е. О. Особенности получения целлюлозы из костры льна методом пероксидно-ацетатной варки. Инновации – основа развития целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности: сб. материалов VI Всеросс. отраслевой научн.-практ. конф. Екатеринбург: ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2018. С. 27-31.
11. Хмылко Л. И., Орехова С. Е. Сорбенты на основе лигнина и целлюлозосодержащих материалов. Свиридовские чтения. Минск: БГУ, 2012. Вып. 8. С. 232-239. Режим доступа: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/6452>
12. Каретникова Н. В., Чендылова Л. В., Пен Р. З. Делигнификация льняной костры. Химия растительного сырья. 2018;(1):155-162. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32589325>
13. Гисматулина Ю. А. Химический состав перспективного недревесного сырья – мискантуса и соломы льна-межеумка. Фундаментальные исследования. 2016;(4-2):249-252. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25953346>

### References

1. Puchkov E. M., Galkin A. V., Ushchapovskiy I. V. *Ekonomicheskaya effektivnost' innovatsionnoy tekhnologii pererabotki tresty maslichnogo l'na*. [Economic efficiency of the innovation technology of linseed shive processing]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;(6(67)):134-140. (In Russ.). URL: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/290>
2. Voskoboynikov I. V., Shevchenko A. O., Shchelokov V. M. *Tekhnologiya proizvodstva aktivirovannykh ugley iz drevesnykh otkhodov*. [Technology of activated carbon production on the base of wood wastes]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik*. 2012;(8):56-58. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18041485>
3. Lysenko A. A., Astashkina O. V., Shevchenko A. O., Udal'tsova N. N., Ibragimova R. I., Khramkova N. V., Timoshenko S. I., Kryukova O. V. *Sposob polucheniya uglerodnogo sorbenta* [Method of carbon sorbent obtaining]: pat. no. 2141450, 1999. URL: [http://www1.fips.ru/fips\\_servl/fips\\_servlet?DB=RUPAT&rn=3580&DocNumber=2141450&TypeFile=html](http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=3580&DocNumber=2141450&TypeFile=html)
4. Novikov N. N. *Sposob polucheniya aktivirovannogo uglya* [Method of activated carbon obtaining]: pat. no. 2196108, 2003. URL: [http://www1.fips.ru/fips\\_servl/fips\\_servlet?DB=RUPAT&rn=9210&DocNumber=2196108&TypeFile=html](http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=9210&DocNumber=2196108&TypeFile=html)
5. Steblinin A. N., Steblinin N. A. *Sposob polucheniya organicheskogo stroitel'nogo materiala na osnove l'nyanoy kostry* [Method of obtaining organic building material from flax shive]: pat. no. 2313502, 2007. URL: [http://www1.fips.ru/fips\\_servl/fips\\_servlet?DB=RUPAT&rn=8941&DocNumber=2313502&TypeFile=html](http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=8941&DocNumber=2313502&TypeFile=html)
6. Yakubovskiy S. F., Bulavka Yu. A., Popkova L. A., Pisareva S. S. *Sorbtsionnye svoystva prirodnnykh tsellyulozo- i ligninsoderzhashchikh otkhodov dlya sbora proshivov nefteproduktov*. [Sorption characteristics of natural cellulose-lignin wastes for oil products leakage treatment]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta* = Vestnik of Polotsk State University. *Seriya V: Promyshlennost'. Prikladnye nauki*. 2013;(11):110-115. (In Belarus). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23566211>



7. Pankeev V. V., Sveshnikova E. S., Panova L. G. *Sposob polucheniya uglerodnogo sorbenta iz rastitel'nogo syr'ya* [Method of obtaining of carbon sorbent from plant raw material]: pat. no. 2493907, 2013. URL: [http://www1.fips.ru/fips\\_servl/fips\\_servlet?DB=RUPAT&rn=7780&DocNumber=2493907&TypeFile=html](http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=7780&DocNumber=2493907&TypeFile=html)
8. Museev T. S., Soldatov K. V. *Analiz sovremennykh sorbentov, na osnove materialov organicheskogo proiskhozhdeniya*. [Analysis of modern sorbents from organic matters]. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2017;(1-1):69-73. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27688776>
9. Voroshilova E. E., Gismatulina Yu. A., Zolotukhin V. N. *Khimiche-skiy sostav solomy l'na-mezheumka i vliyaniye sposoba polucheniya na svoystva obraztsov tsellyulozy iz nee*. [Chemical content of linseed straw and characteristics of cellulose in dependence to the methods for obtaining it]. *Tekhnologii i oborudovaniye khimicheskoy, biotekhnologicheskoy i pishchevoy promyshlennosti: materialy VIII Vseross. nauchn.-prakt. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem*. [Technologies and equipment of chemical, biotechnological and food industries: Proceedings of the 8th All-Russia scientific and practical Conference for students, postgraduates and young scientists with international participation]. Biysk: FGBOU VPO «Altayskiy GTU im. I.I. Polzunova», Biyskiy tekhnologicheskii institut (filial), 2015. pp. 261-264. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24886987&>
10. Arsen'eva D. Yu., Kazakov Ya. V., Okulova E. O. *Osobennosti polucheniya tsellyulozy iz kostry l'na metodom peroksidno-atsetatnoy varki*. [Characteristics of obtaining cellulose from flax shive using the method of peroxide-acetate boiling]. *Innovatsii – osnova razvitiya tsellyulozno-bumazhnoy i lesopererabatyvayushchey promyshlennosti: sb. materialov VI Vseross. otraslevoy nauchn.-prakt. konf.* [Innovation is the basis for the development of pulp and paper and timber industry: Collection of materials of the 6<sup>th</sup> All-Russia industry scientific and practical Conference]. Ekaterinburg: FGBOU VO «Ural'skiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskii universitet», 2018. pp. 27-31.
11. Khmylko L. I., Orekhova S. E. *Sorbenty na osnove lignina i tsellyulozoderzhashchikh materialov*. [Sorbents made from lignin and cellulosic materials]. *Sviridovskie chteniya*. Minsk: BGU, 2012. Iss. 8. pp. 232-239. URL: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/6452>
12. Karetnikova N. V., Chendylova L. V., Pen R. Z. *Delignifikatsiya l'nyanoy kostry*. [Delignification of flax shive]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of plant raw material. 2018;(1):155-162. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32589325>
13. Gismatulina Yu. A. *Khimicheskii sostav perspektivnogo nedrevesnogo syr'ya – miskantusa i solomy l'namedzheumka*. [Chemical content of non-wood raw material – miscanthus and linseed straw]. *Fundamental'nye issledovaniya* = Fundamental research. 2016;(4-2):249-252. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25953346>

**Сведения об авторах:**

✉ **Пучков Евгений Михайлович**, кандидат экон. наук, ведущий научный сотрудник отдела экономического анализа в сельском хозяйстве ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский пр-кт, д. 17/56, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, e-mail: [vniiml@mail.ru](mailto:vniiml@mail.ru), e-mail: [e.puchkov@vniiml.ru](mailto:e.puchkov@vniiml.ru),

**Галкин Алексей Васильевич**, кандидат техн. наук, ученый секретарь ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский пр-т, д. 17/56, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, e-mail: [vniiml@mail.ru](mailto:vniiml@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3779-0267>, e-mail: [a.galkin@vniiml.ru](mailto:a.galkin@vniiml.ru),

**Ушаповский Игорь Валентинович**, кандидат биол. наук, заместитель директора ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский пр-т, д. 17/56, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, e-mail: [vniiml@mail.ru](mailto:vniiml@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0602-1211>, e-mail: [vnipitml@mail.ru](mailto:vnipitml@mail.ru).

**Information about the authors:**

✉ **Evgeniy M. Puchkov**, PhD in Economics, leading researcher, the Department of Economic Analysis in Agriculture, Federal State Budget Research Institution – Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Komsomolsky prospect, 17/56, Tver, Russian Federation, 170041, e-mail: [vniiml@vniiml.ru](mailto:vniiml@vniiml.ru), e-mail: [e.puchkov@vniiml.ru](mailto:e.puchkov@vniiml.ru),

**Aleksey V. Galkin**, PhD in Engineering, Scientific Secretary, Federal State Budget Research Institution – Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Komsomolsky prospect, 17/56, Tver, Russian Federation, 170041, e-mail: [vniiml@vniiml.ru](mailto:vniiml@vniiml.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3779-0267>, e-mail: [a.galkin@vniiml.ru](mailto:a.galkin@vniiml.ru),

**Igor V. Ushchapovsky**, PhD in Biology, Deputy Director of the Federal State Budget Research Institution – Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Komsomolsky prospect, 17/56, Tver, Russian Federation, 170041, e-mail: [vniiml@vniiml.ru](mailto:vniiml@vniiml.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0602-1211>, e-mail: [vnipitml@mail.ru](mailto:vnipitml@mail.ru).

✉ - Для контактов / Corresponding author