

УДК 662.7:661.183  
AGRIS Q70

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/44/17>

## ПРОЦЕССЫ ПИРОЛИЗА СКОРЛУПЫ *JUGLANS REGIA* L. В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР 250-550°C С ПОЛУЧЕНИЕМ ДРЕВЕСНОГО УГЛЯ

©Токторбаева Г. П., Ошский государственный университет,  
г. Ош, Кыргызстан, [toktorbaeva89@inbox.ru](mailto:toktorbaeva89@inbox.ru)

©Ташполотов Ы., SPIN-код: 2425-6716, д-р физ.-мат. наук, Ошский государственный  
университет, г. Ош, Кыргызстан, [itashpolotov@mail.ru](mailto:itashpolotov@mail.ru)

## PYROLYSIS PROCESSES OF THE SHELL OF THE *JUGLANS REGIA* L. IN THE TEMPERATURE RANGE OF 250-550°C TO PRODUCE CHARCOAL

©Токторбаева Г., Osh State University, Osh, Kyrgyzstan, [toktorbaeva89@inbox.ru](mailto:toktorbaeva89@inbox.ru)

©Tashpolotov Y., SPIN-code: 2425-6716, Dr. habil., Osh State University,  
Osh, Kyrgyzstan, [itashpolotov@mail.ru](mailto:itashpolotov@mail.ru)

*Аннотация.* В статье изложены результаты научных исследований по переработке ореховой скорлупы методом пиролиза. Описаны физико-химические свойства ореховой скорлупы и продуктов разложения, полученных при пиролизе скорлупы грецкого ореха в различных температурных режимах. Изучен процесс пиролиза скорлупы грецких орехов в интервале температур 250–550°C с образованием древесного угля без доступа воздуха. Установлено, что выход древесного угля из скорлупы грецких орехов составляет при 550°C 31,3% веса.

*Abstract.* The article presents the results of scientific research on the processing of nut shells by pyrolysis. The physical and chemical properties of walnut shells and decomposition products obtained by pyrolysis of walnut shells in different temperature regimes are described. The process of pyrolysis of walnut shells in the temperature range of 250–550°C with the formation of charcoal without air access was studied. It is established that the output of charcoal from the shell of Greek nuts is at 550°C 31.3% weight.

*Ключевые слова:* скорлупа грецкого ореха, древесный уголь, пиролизный газ, смола.

*Keywords:* walnut shells, charcoal, pyrolysis gas, resin.

В настоящее время древесный активированный уголь применяется для очистки газов и сточных и других вод, в пищевой отрасли, медицине и др. Использование древесного угля, например, для очистки воды позволяет выполнить основные требования к питьевой воде, а применение их в качестве электродов суперконденсаторов, позволяет создать дешевые перезаряжаемые электрохимические устройств с высокими мощностными и энергетическими характеристиками [1–9]. Поэтому определенный интерес представляют изучение сырьевой базы для получения древесного активированного угля и повышение его физико-технической характеристики. Черная зола скорлупы грецкого ореха, полученная при ее сжигании при недостатке кислорода, обладает сорбционной активностью [10].

Таким сырьем могут служить: скорлупа орехов, фруктовые косточки, древесина и многие др. Известно, что грецкий орех — ценнейший пищевой продукт, который по калорийности, питательности и усвояемости превосходит мясо, хлеб, яйцо, коровьи сливки и

другие. При переработки грецкого ореха на ядра или высококачественное масло в качестве отхода образуется скорлупа грецкого ореха, составляющая в среднем 51–59% от веса самого ореха [2], которую необходимо утилизировать желательнo с получением ценных и полезных продуктов. При этом решается проблема рационального использования отходов переработки грецкого ореха и при этом они представляют вторичное сырье низкой себестоимости.

На основе анализа научных литературных и патентных данных были выявлены основные методы физической модификации целлюлозосодержащих материалов: заморозка и пиролиз сырья. Рассмотрена физическая модификация (воздействие высоких и низких температур) целлюлозосодержащего сырья на основе скорлупы грецкого ореха.

В работе проведены исследования по изучению состава и свойств отходов орехового дерева — скорлупы и веток грецкого ореха (Таблица 1), где доказана возможность получения угля, пригодного для дальнейшей активации.

Таблица 1.

ТЕХНИЧЕСКИЙ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ СЫРЬЯ

Сырье	Технический состав, %			Элементный состав, масс. %				
	$W^a$	$A$	$Y^{daf}$	$C$	$H$	$N$	$S$	$O$
Скорлупа ореха	7,93	1,30	77,58	51,17	6,37	0,47	0,08	41,91
Ветки ореха	9,43	1,87	71,37	50,02	6,51	0,44	0,08	42,95

Как видно из Таблицы 1, скорлупа и ветки ореха характеризуются очень низким содержанием минеральных компонентов, что является благоприятным фактором для переработки сырья в углеродные адсорбенты. Образец скорлупы содержит меньше влаги и зольности, но выход летучих веществ выше, чем у ветки ореха; по элементному составу образцы близки.

Так как грецкие орехи в основном растут на юге Кыргызстана (Арсланбап, Кара-Алма, Кара-Шоро и др.), то целесообразно было бы проведения физико-химических и технологических исследований для получения древесного угля из скорлупы грецкого ореха Южного региона.

Изучения процессов термического разложения растительного сырья и разработка новых технологий их переработки необходимо для определения основных физико-технологических факторов разложения сырья при термическом воздействии в определенном температурном интервале. Этот температурный интервал связан с тем, что на поверхности сырья образуются центры разложения, на основе которых происходит цепной процесс газификации. Процессы разложения растительного сырья являются сложным гетерогенным физико-технологическим процессом, сопровождающееся окислительно-деструктивной реакцией превращения растительного сырья в древесный уголь, смолы, газификации и др.

Древесный активированный уголь применяется для очистки газов и сточных и других вод, в пищевой отрасли, медицине и др. Использование древесного угля, например, для очистки воды позволяет выполнить основные требования к питьевой воде, а применение их в качестве электродов суперконденсаторов, позволяет создать дешевых перезаряжаемых электрохимических устройств с высокими мощностными и энергетическими характеристиками. Поэтому определенный интерес представляют изучение сырьевой базы для получения древесного активированного угля и повышение его физико-технической характеристики.

Таким сырьем могут служить: скорлупа орехов, фруктовые косточки, древесина и многие др. Известно, что грецкий орех — ценнейший пищевой продукт, который по калорийности, питательности и усвояемости превосходит мясо, хлеб, яйцо, коровьи сливки и

другие. При переработки грецкого ореха на ядра или высококачественное масло в качестве отхода образуется скорлупа грецкого ореха, составляющая в среднем 51–59% от веса самого ореха [2], которую необходимо утилизировать желательнo с получением ценных и полезных продуктов. При этом решается проблема рационального использования отходов переработки грецкого ореха и при этом они представляют вторичное сырье низкой себестоимости.

#### Экспериментальная часть

В качестве исходного сырья использовали скорлупы грецких орехов, полученную при расщеплении исходного ореха, высушенную до постоянного веса при 100°C. Исходная скорлупа в количестве 430 г помещалась в обогреваемый герметичный реактор. Реактор пиролиза выполнен в виде вертикального реактора, помещенного в контактную трубчатую электропечь.

Трубчатая электропечь позволяет нагрева реактора пиролиза до температуры, необходимой для термодеструкции растительного сырья. Использование такого лабораторного реактора пиролиза растительного сырья обеспечивает многофункциональность, возможность точного регулирования режимов работы устройства, а также наиболее полной переработки изучаемого сырья, с получением жидкой смолы, и пиролизного газа и углеродного сорбента. Для комплексной переработки растительного сырья в жидкие и газообразные продукты установка дополнено реактором термокаталитической очистки, холодильником, сборником жидких продуктов, блоком анализа расхода газа, компрессором и емкостью-баллоном. Холодильник служат для конденсации летучих продуктов пиролиза в сборник жидких продуктов. Блок анализа расхода пиролизного газа позволяет определить расход и количества летучих (газообразных) продуктов. Компрессор и емкость-баллон составляют систему количественного сбора пиролизных газов с целью анализа и практического их применения.

Предварительно взвешенное сырье скорлупы грецкого ореха в количестве 430 г помещается в реактор и далее для обеспечения герметичности реактор закрывался. В дальнейшем скорлупы греческого ореха подвергались медленному пиролизу в реакторе из нержавеющей стали, до заданной температуры. Пиролиз скорлупы грецких орехов проводили при 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, 450°C, 500°C и 550°C до прекращения выделения жидких и газообразных продуктов. Время пиролиза составляло от 50 до 65 мин. Скорость нагрева до температуры 550°C в среднем составляла 9–10°C/мин. Далее сконденсированные жидкие продукты пиролиза взвешивали.

Исходная скорлупа грецких орехов имела следующий состав, представленный в Таблице 2. Истинную плотность, получаемого древесного угля осуществляли по общепринятым методикам, согласно ГОСТу 7657-84.

Таблица 2.

#### МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС СКОРЛУПЫ ГРЕЦКИХ ОРЕХОВ, % ОТ ИСХОДНОГО АБСОЛЮТНО СУХОГО СЫРЬЯ

Компоненты	Скорлупа грецкого ореха	
	г	%
Твердый остаток (древесный уголь)	134,5	31,28
Смола	73,9	17,2
Водорастворимые вещества	139,4	32,4
Пиролизный газ, потери	81,8	19,02
Зольные вещества	0,12	0,027
<i>Итого</i>	<i>429,72</i>	<i>99,93</i>

Скорлупа грецкого ореха, как известно, формируется в течение одного года созревания и отличается от химического состава древесины самого ореха (Таблица 2).

Зольность получаемого древесного угля с повышением температуры пиролиза возрастает от 0,53% в исходной скорлупе при 100°C до 1,92% при температуре пиролиза 550°C.

Истинная плотность древесного угля в данном интервале температур изменяется более сложным образом: в интервале температур 100–300°C она закономерно снижается от 1,43 до 1,04 г/см<sup>3</sup>; в интервале температур 300–550°C она закономерно возрастает от 1,04 до 1,42 г/см<sup>3</sup>.

Таким образом, изучение процессов пиролиза скорлупы грецких орехов в интервале температур 100–550°C показало, что активное формирование структуры происходит в интервале температур 300–400°C. Выход древесного угля при 550°C составляет 31,4% что по-видимому обусловлено высоким содержанием лигнина в исходной скорлупе грецких орехов.

Из данных Таблицы 2 и 3 видно, что сырье является малозольным, содержание летучих веществ высокое, что будет способствовать образованию различных пор. Поэтому можно предположить, что древесный активированный уголь из скорлупы грецкого ореха, как и многие древесные угли, можно использовать для очистки различных газов и сточных вод, в пищевой промышленности и медицине, а также для извлечения золота в технологиях уголь-в-пульпе и уголь-в-растворе, так как такой активированный уголь имеет большей объем пор.

Таблица 3.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ВЫХОД ДРЕВЕСНОГО УГЛЯ  
ИЗ СКОРЛУПЫ ГРЕЦКИХ ОРЕХОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ПИРОЛИЗА

Температура пиролиза, °C	Выход угля, вест, %	Зольность угля, вес. %	Истинная плотность г/см <sup>3</sup>
100	100	0,53	1,43
250	79,5	0,79	1,33
300	43,7	1,41	1,04
350	41,6	1,59	1,13
400	35,3	1,73	1,47
450	34,7	1,89	1,33
500	32,3	1,93	1,41
550	31,4	1,92	1,42

*Выводы*

1. Основной температурный интервал термического разложения скорлупы грецкого ореха южного региона Кыргызстана в атмосфере воздуха составляет в среднем интервал температур 100–350°C. Изучение процессов пиролиза скорлупы грецких орехов в интервале температур 100–550°C показало, что активное формирование структуры происходит в интервале температур 300–400°C. Выход древесного угля при 550°C составляет 31,4%.

2. Максимальная температура скорости разложения скорлупы грецкого ореха находится в интервале температуры от 354 до 482 °C в атмосфере воздуха.

3. Зольность получаемого древесного угля из скорлупы грецкого ореха с повышением температуры пиролиза возрастает от 0,53% в исходной скорлупе при 100°C до 1,92% при температуре пиролиза 550°C.

*Список литературы:*

1. Камбарова Г. Б. Состав и свойства активных углей, полученных из отходов орехового дерева // Наука и новые технологии. 2011. №4. С. 159-161.
2. Оболенская А. В., Ельницкая З. П., Леонович А. А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Экология, 1991. 320 с.
3. Богаев А. Н., Горелова О. М., Курочкин Э. С. Изучение закономерностей процесса пиролиза скорлупы кедрового ореха и получение на ее основе активированного угля с заданными свойствами // Ползуновский вестник. 2014. №3. С. 217-220.
4. Оффан К. Б., Петров В. С., Ефремов А. А. Закономерности пиролиза скорлупы кедровых орехов с образованием древесного угля в интервале температур 200-500°C // Химия растительного сырья. 1999. №2. С. 61-64.
5. Оффан К. Б. Превращения скорлупы кедровых орехов при термическом и химическом воздействии: дисс. ... канд. хим. наук. Красноярск, 2001. 110 с.
6. Ефремов А. А., Оффан К. Б., Киселев В. П. Исследование состава жидких и газообразных продуктов пиролиза скорлупы кедровых орехов // Химия растительного сырья. 2002. №3. С. 43-47.
7. Камбарова Г. Б., Сарымсаков Ш. Получение активированного угля из скорлупы грецкого ореха // Химия твердого топлива. 2008. №3. С. 42-46. <https://doi.org/10.3103/S0361521908030129>
8. Wang W., Qi J., Sui Y., He Y., Meng Q., Wei F., Jin Y. An Asymmetric Supercapacitor Based on Activated Porous Carbon Derived from Walnut Shells and NiCo<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanoneedle Arrays Electrodes // American Scientific Publishers. 2018. V. 18. №8. P. 5600-5608(9) <https://doi.org/10.1166/jnn.2018.15410>
9. Фарберова Е. А., Тиньгаева Е. А., Чучалина А. Д., Кобелева А. Р., Максимов А. С. Получение гранулированного активного угля из отходов растительного сырья // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2018. Т. 61. №3. С. 51-57. <https://doi.org/10.6060/tcct.20186103.5612>
10. Темирханов Б. А., Султыгова З. Х., Арчакова Р. Д., Медова З. С-А. Синтез высокоэффективных сорбентов из скорлупы грецкого ореха // Сорбционные и хроматографические процессы. 2012. Т. 12. №6. С. 1025-1032.

*References:*

1. Kambarova, G. B. (2011). Sostav i svoistva aktivnykh uglei, poluchennykh iz otkhodov orekhovogo dereva. *Nauka i novye tekhnologii*, (4), 159-161.
2. Obolenskaya, A. V., El'nitskaya, Z. P., & Leonovich, A. A. (1991). *Laboratornye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy*. Moscow, Ekologiya, 320.
3. Bogaev, A. N., Gorelova, O. M., & Kurochkin, E. S. (2014). Izuchenie zakonomernostei protsessa piroliza skorlupy kedrovogo orekha i poluchenie na ee osnove aktivirovannogo uglya s zadannymi svoistvami. *Polzunovsky vestnik*, (3), 217-220.
4. Offan, K. B., Petrov, V. S., Efremov, A. A. (1999). Zakonomernosti piroliza skorlupy kedrovyykh orekhov s obrazovaniem drevesnogo uglya v intervale temperatur 200-500°C. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, (2), 61-64.
5. Offan, K. B. (2001). *Prevrashcheniya skorlupy kedrovyykh orekhov pri termicheskom i khimicheskom vozdeistvii*: Ph.D. diss. Krasnoyarsk, 110.
6. Efremov, A. A., Offan, K. B., & Kiselev, V. P. (2002). Issledovanie sostava zhidkikh i gazoobraznykh produktov piroliza skorlupy kedrovyykh orekhov. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, (3), 43-47.

7. Kambarova G. B., Sarymsakov Sh. (2008). Preparation of activated charcoal from walnut shells. *Solid Fuel Chemistry*, 42(3), 183-186. <https://doi.org/10.3103/S0361521908030129>
8. Wang, W., Qi, J., Sui, Y., He, Y., Meng, Q., Wei, F., & Jin, Y. (2018). An Asymmetric Supercapacitor Based on Activated Porous Carbon Derived from Walnut Shells and NiCo<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanoneedle Arrays Electrodes. *American Scientific Publishers*, 18(8), 5600-5608(9) <https://doi.org/10.1166/jnn.2018.15410>
9. Farberova, E. A., Tingaeva, E. A., Chuchalina, A. D., Kobeleva, A. R., & Maximov, A. S. (2018). Obtaining granulated active carbon from wastes of vegetable raw materials. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol*, 61(3), 51-57. <https://doi.org/10.6060/tcct.20186103.5612>
10. Temirkhanov, B. A., Sulygova, Z. Kh., Archakova, R. D., & Medova, Z. (2012). Synthesis of highly effective sorbents of walnut shell. *Sorbtsionnye i Khromatograficheskie Protsessy*, 12(6), 1025-1032.

Работа поступила  
в редакцию 24.05.2019 г.

Принята к публикации  
29.05.2019 г.

---

*Ссылка для цитирования:*

Токторбаева Г. П., Ташполотов Ы. Процессы пиролиза скорлупы *Juglans regia* L. в интервале температур 250-550°C с получением древесного угля // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. №7. С. 135-140. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/44/17>

*Cite as (APA):*

Toktorbaeva, G., & Tashpolotov, Y. (2019). Pyrolysis Processes of the Shell of the *Juglans regia* L. in the Temperature Range of 250-550°C to Produce Charcoal. *Bulletin of Science and Practice*, 5(7), 135-140. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/44/17> (in Russian).