

Научная статья  
УДК 665.358

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ ЛЬНЯНОГО МАСЛА МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

Алена Андреевна Варенова<sup>1</sup>, Алексей Евгеньевич Шкуро<sup>2</sup>,  
Любим Николаевич Прытков<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Уральский государственный лесотехнический университет,  
Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup> Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС  
России, Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> varenovaa03@mail.ru

<sup>2</sup> shkuroae@m.usfeu.ru.ru

<sup>3</sup> prytkov.l.n@mail.ru

**Аннотация.** В работе были получены образцы окисленного льняного масла и проведено исследование их состава методом ИК-спектроскопии.

**Ключевые слова:** льняное масло, окисление, ИК-спектроскопия

**Для цитирования:** Варенова А. А., Шкуро А. Е., Прытков Л. Н. Исследование процесса окисления льняного масла методом ИК-спектроскопии // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXI Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 897–901.

Original article

## STUDY OF THE OXIDATION PROCESS OF LINSEED OIL BY IR-SPECTROSCOPY

Alena A. Varenova<sup>1</sup>, Alexey E. Shkuro<sup>2</sup>, Lyubim N. Prytkov<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

<sup>3</sup> Ural Institute of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Ekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> varenovaa03@mail.ru

<sup>2</sup> shkuroae@m.usfeu.ru.ru

<sup>3</sup> prytkov.l.n@mail.ru

**Abstract.** In the work, samples of oxidized linseed oil were obtained and their composition was studied using IR spectroscopy.

**Keywords:** linseed oil, oxidation, IR-spectroscopy

**For citation:** Varenova A. A., Shkuro A. E., Prytkov L. N. (2025) Issledovanie processa okisleniya l'nyanogo masla metodom IK-spektroskopii [Study of the oxidation process of linseed oil by IR-spectroscopy]. Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : proceedings of the XXI All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2025. Pp. 897–901. (In Russ).

Возобновляемые ресурсы растительного происхождения приобретают особую значимость в условиях нарастающей экологической напряженности. Растительные масла благодаря биоразлагаемости, низкой токсичности и широкому спектру применения являются ценным источником сырья.

Из-за низкой стоимости, широкой доступности и высокой степени ненасыщенности одним из наиболее перспективных растительных масел является льняное. Оно используется в производстве красок, консервантов для древесины, лаков, линолеума и шпатлевки, а также в косметических препаратах. Льняное масло богато омега-3 жирными кислотами и быстро окисляется, поэтому его нужно хранить в герметичной таре. В состав льняного масла входят следующие жирные кислоты: линоленовая (57 %), олеиновая (19 %), линолевая (15 %), пальмитиновая (6 %) и стеариновая (3,5 %) [1].

Свойства льняного масла могут быть существенно изменены с помощью методов химической модификации [1]. Известно несколько способов окисления масел, значительно отличающихся как условиями, так и продуктами реакции. Одним из таких методов является окисление масел молекулярным кислородом воздуха. При комнатной температуре насыщенные жирные кислоты подвергаются окислению кислородом воздуха очень медленно, ненасыщенные – намного быстрее. Скорость окисления пропорциональна числу двойных связей в молекуле кислоты. На первой стадии окисления происходит образование гидропероксидов. Сначала окисляются метиленовые группы, по соседству с двойными связями. Наименьшая скорость окисления у группы  $\text{CH}_2$  в  $\alpha$ -положении к карбоксилу, наибольшая – у метиленовой группы, расположенной между двумя двойными связями. Дальнейшее превращение гидропероксидов приводит к образованию целого ряда продуктов окисления (рис. 1): спиртов, кетонов, эпоксидов [2].

Целью данной работы являлось исследование изменений химического состава льняного масла в процессе его окисления кислородом воздуха с помощью метода ИК-спектроскопии.

Окисление льняного масла проводили по следующей методике. В коническую колбу объемом 500 мл помещали 300 мл льняного масла и устанавливали на кипящую водяную баню с насыщенным раствором хлорида натрия (40 %). Температура кипения соляного раствора составляла 107...108 °С. Первая проба отбиралась после нагрева масла до 95 °С. После

достижения этой температуры начиналась циркуляция воздуха через реакционную массу (расход воздуха – 4 л/мин). Следующие пробы отбирались через 60, 120 и 180 мин после взятия первой.



Рис. 1. Возможные продукты реакции окисления кислородом воздуха ненасыщенных жирных кислот на примере линолевой кислоты

Результаты ИК-спектроскопии отобранных проб модифицированного льняного масла представлены на рис. 2. Характеристические частоты поглощения и интенсивность (площадь) соответствующих пиков приведены в таблице.

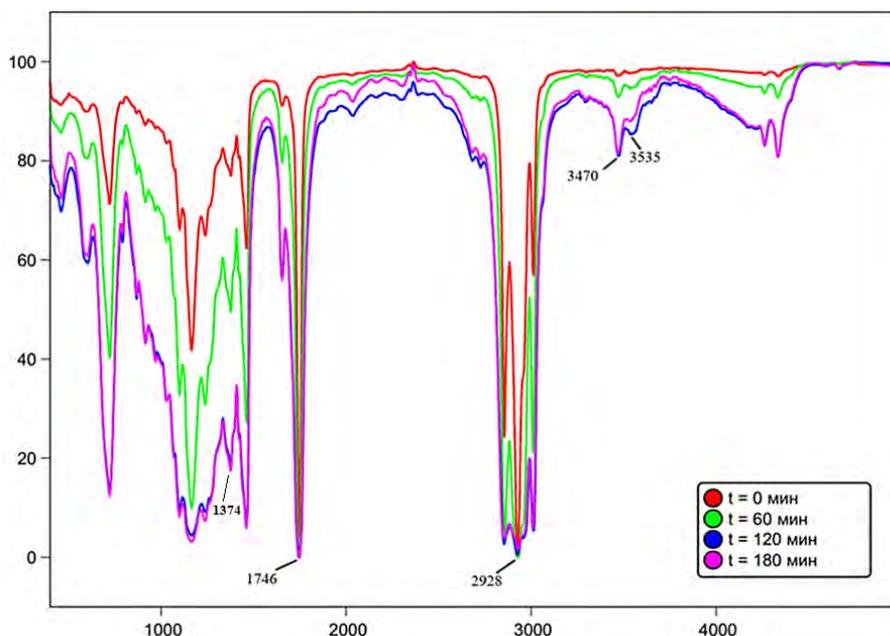


Рис. 2. ИК-спектры проб льняного масла

В процессе окисления льняного масла молекулярным кислородом воздуха наблюдается появление и увеличение интенсивности пиков 3470 и 3535  $\text{см}^{-1}$ , характерных валентным колебаниям гидроксильной группы в спиртах и карбоновых кислотах, соответственно. Появление данных пиков в спектре образцов модифицированного льняного масла подтверждает

успешное протекание реакции окисления. В то же время наблюдалось некоторое увеличение интенсивности пиков, характеризующих наличие в пробах сложноэфирных групп ( $1746\text{ см}^{-1}$ ) и сохранение интенсивности пиков, связанных с наличием двойных связей в жирных кислотах ( $1373\text{ см}^{-1}$ ). Эти данные свидетельствуют о том, что кислород присоединялся преимущественно не по двойным связям.

### Характеристические частоты поглощения и интенсивность соответствующих пиков

№	Частота, $\text{см}^{-1}$	Интерпретация (группа/класс)	Относительная площадь пика после реакции продолжительностью			
			0 мин	60 мин	120 мин	180 мин
1	1373	=СН деф. (алкены)	1,9	2,7	2,4	2,4
2	1746	С=О вал. (сложн. эфиры)	23,5	24,3	28,0	27,9
3	3470	О–Н вал. (спирты и фенолы)	–	0,6	1,5	1,8
4	3535	СОО–Н вал. (карб. кислоты)	–	–	0,9	0,6

Пик в области  $3450 \dots 3470\text{ см}^{-1}$  также характерен для ИК-спектра касторового масла (рис. 3), известного содержанием гидроксильных групп, благодаря обилию которых оно может применяться в качестве полиольного компонента в полиуретановых компаундах [3]. Более широкий пик для касторового масла в этой области свидетельствует о более интенсивном образовании водородных связей вследствие очевидного, большего гидроксильного числа, по сравнению с окисленным льняным маслом. Это предположение также подтверждает значительно большая вязкость касторового масла.

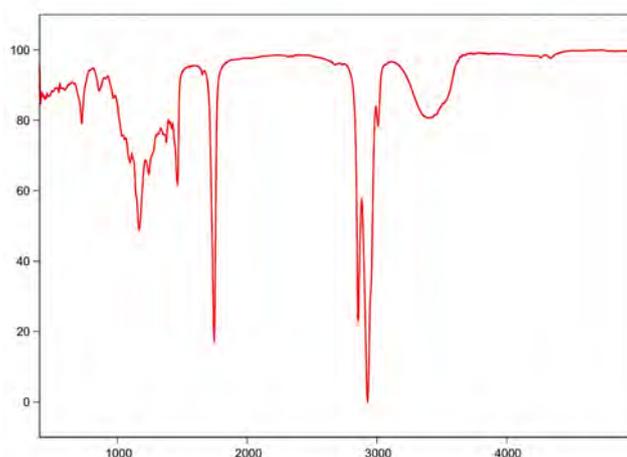


Рис. 3. ИК-спектр касторового масла

Полученные в работе результаты свидетельствуют о возможности насыщения льняного масла кислородсодержащими функциональными группами методом окисления кислородом воздуха при сохранении двойных связей в составе соединения. Двойные связи в ненасыщенных жирных кислотах представляются ценным активом, т. к. обеспечивают полимеризацию масла при его сушке. Наличие же гидроксильных групп в модифицированном льняном масле предположительно улучшит смачиваемость им поверхности древесины и древесных композиционных материалов.

## *Список источников*

1. Epoxidated vegetable oils: preparation, properties and application / V. Abbasov, F. Nasirov, N. Rzayev [et al.] // PPOR. 2018. Vol. 19, № 4. P. 427–449.

2. Маркевич Р. М., Бондаренко Ж. В. Химия жиров : тексты лекций для студентов специальности «Биотехнология» специализации «Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов». Минск : БГТУ, 2011. 220 с.

3. Получение, свойства и применение полиуретанов, модифицированных добавками растительного происхождения (обзор) / А. Е. Шкуро, А. А. Протазанов, И. Г. Первова [и др.] // Вестник Технологического университета. 2024. Т. 27, № 5. С. 105–111.