

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА КАСТОРОВОГО МАСЛА ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ

С.О. Пустовит, канд. пед. наук, доцент

П.А. Дунаева, студент

Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского
(Россия, г. Калуга)

DOI:10.24412/2500-1000-2025-2-3-123-131

***Аннотация.** В статье представлены результаты исследования касторового масла, поставляемого на фармацевтический рынок предприятиями Калужской и Тульской области, по некоторым показателям, которые позволяют выявить ряд особенностей его химического состава. Проведённый анализ включал специфические химические реакции на отдельные группы биологически активных веществ, выполнение элементного анализа, применение метода ИК-спектроскопии, определение кислотного числа, показателей вязкости и температуры замерзания. Проведённый эксперимент позволил выявить наличие в касторовом масле токоферолов, филохинонов, фосфолипидов, повышенное содержание ненасыщенных и свободных высших жирных кислот. В одном из испытуемых проб масла отмечено присутствие соединений тяжёлых металлов.*

***Ключевые слова:** касторовое масло, качественный анализ, ИК-спектр, элементный состав масла, кислотное число, температура застывания, динамическая и кинематическая вязкость, индекс вязкости.*

Касторовое масло является природным источником разнообразных биологически активных веществ. Его ценность для фармацевтического производства определяется содержанием в нём различных соединений [1], концентрация которых может варьировать в зависимости от ряда факторов. Среди них большее значение имеют климатические условия произрастания Клещевины обыкновенной (*Ricinus communis* L.), из семян которой его выделяют. При этом одним из серьёзных ограничений в применении касторового масла для фармацевтических целей является присутствие в нём различных загрязнителей, включая тяжёлые металлы. Поэтому актуальность данного исследования обусловлены потребностью в уточнении особенностей химического состава, определяющего его потребительские и технологические свойства.

Объект исследования: касторовое масло предприятий ООО «Аромасинтез» (проба 1) и ООО «Тульская фармацевтическая фабрика» (проба 2). Предмет исследования: особенности химического состава касторового масла, доступного на фармацевтическом рынке в Калужской области.

Цель исследования: сравнить особенности химического состава касторового масла производителей Калужской и Тульской областей.

Задачи исследования:

1) провести качественный анализ касторового масла (качественные реакции, элементный анализ, ИК-спектроскопия);

2) определить особенности жирнокислотного состава касторового масла по результатам измерения его кислотного числа и температуры замерзания;

3) интерпретировать результаты исследованных проб касторового масла.

Обнаружение биологически активных соединений

Одним из первых признаков, по которым можно предположить различия в химическом составе касторового масла выбранных производителей, является внешний вид проб касторового масла. На основе требований Государственной фармакопеи Российской Федерации XV издания (ГФ РФ XIV издания) [2] осуществляем его описание (табл. 1).

Исходя из ГФ РФ XV издания, оба образца отвечают нормативным требованиям. При этом даже на фотографии видно, что интенсивность окраски пробы масла от

ООО «Тульская фармацевтическая фабрика» более выраженная. Это позволяет предпо-

жить наличие заметных отличий в химическом составе по некоторым компонентам.

Таблица 1. Характеристика внешнего вида касторового масла





Параметры	Касторовое масло производителя ООО «Аромасинтез» (г. Калуга)	Касторовое масло, выпускаемое ООО «Тульская фармацевтическая фабрика» (г. Тула)
Внешний вид (фотография).		
Цвет.	Светло-жёлтый.	Светло-жёлтый.
Прозрачность.	Прозрачный.	Прозрачный.
Вязкость.	Вязкое.	Вязкое.
Растворимость в 96%-м растворе этанола.	Полностью растворяется.	Полностью растворяется.

Известно, что триглицериды низкомолекулярных предельных жирных кислот хорошо растворяются в этиловом спирте. Глицериды высокомолекулярных предельных кислот растворяются в спирте лишь при нагревании до 60 °С [3]. Исключением является рицинолевая кислота, которая в триглицеридах представлена в форме транс-изомера, а наличие гидроксильной группы придаёт ей свойства спиртов, что, в целом, обуславливает её растворимость в различных спиртах. Поэтому для касторового масла в целом, в отличие от других растительных масел, хорошая раство-

римость в спирте и плохая – в бензине, объясняется высоким содержанием в нём именно рицинолевой кислоты (12-гидрокси-9-цис-октадеценовой кислоты) [4].

В составе растительных масел присутствуют определённые группы биологически активных веществ (БАВ). Касторовое масло характеризуется присутствием в нём значительного количества токоферолов, филлохинонов и фосфолипидов (до 0,29% [5]), содержащих аминокислоты. Для их обнаружения применили качественные реакции [6]. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. Обнаружение отдельных групп БАВ в касторовом масле

№ п/п	Качественные реакции	Касторовое масло производителя ООО «Аромасинтез» (г. Калуга)	Касторовое масло, выпускаемое ООО «Тулльская фармацевтическая фабрика» (г. Тула)	Эталонные значения
Определение токоферолов (витамина Е)				
1	К 0,5 мл касторового масла добавили 0,5 мл конц. HNO_3 и в течение 1 мин. наблюдали изменения на границе раздела фаз «масло:кислота».			На границе раздела фаз появляется кольцо коричнево-красного цвета.
Определение витаминов группы К (филлохинонов)				
2	В 1-2 мл касторового масла внесли несколько небольших кристаллов резорцина и 3-4 капли конц. H_2SO_4 .			Развивается тёмное красно-коричневое окрашивание.
Определение фосфолипидов				
3	В фарфоровую чашку к 1-2 мл касторового масла 5 мл ацетона и несколько небольших кристаллов нингидрина. Полученный раствор выпаривали на кипящей водяной бане до появления цветной каёмки.			Образуется каёмка красного цвета.

При сравнении результатов испытаний, полученных при проведении качественных реакций, видно, что обе пробы масла содержат в заметных количествах БАВ, содержание которых предполагалось обнаружить.

Результаты элементного анализа касторового масла

В продолжении качественного анализа на волнодисперсионном спектрометре Bruker X-Ray устанавливали элементный состав исследуемых масел. Для этого пробу касторового масла массой 7,00 г помещали в специальную кювету. Данную кювету размещали в кювет-

ном отделении прибора. При помощи электронного дисплея указывали программу, утверждённую на предприятии «Фукс Ойл» для исследования проб масел. В результате проба исследовалась рентгеновским элементарным анализатором прибора. Результат определения элементного анализа (концентрации химических элементов, в ppm) автоматически выводился на дисплее прибора (табл. 3). Преимуществами данного метода является то, что проводимый анализ экспрессный, точный и неразрушающий.

Таблица 3. Элементный состав проб касторового масла

№ п/п	Химический элемент	Содержание в пробах касторового масла производителя ООО «Аромасинтез» (г. Калуга), ppm	Содержание в пробах касторового масла выпускаемого ООО «Тульская фармацевтическая фабрика» (г. Тула), ppm
1	Mg	2	3
2	Al	3	1
3	S	0,0002 %	-
4	Ca	2	-
5	Cr	0,3	0,2
6	V	-	0,7
7	Zn	-	0,1
8	Br	0,7	0,2
9	Ag	3	1
10	Cd	2	-
11	Sb	3	-
12	Bi	0,5	-

Элементный состав проб масел позволяет выявлять значительные отличия в содержании примесей загрязнителей – тяжёлых металлов, к которым относят элементы с атомной массой > 40 а.е.м., атомным номером > 20 и плотностью > 5 г/см³ [7]. Поскольку касторовое масло фармацевтического назначения пациент принимает внутрь, в пробах производителя ООО «Аромасинтез» обнаруживаются нежелательные примеси – хром, серебро, кадмий, висмут. Из них наиболее токсичным является кадмий. ПДК для данного металла в лекарственном растительном препарате, к которому относят касторовое масло, регламентируется отдельно ГФ РФ XIV издания [2] от остальных тяжёлых металлов и составляет 1 мг/кг, то есть 1 ppm (1 ppm = 1 мг/кг). В целом, суммарное содержание тяжёлых металлов в касторовом масле фармацевтического назначения не должно превышать 0,001% [2]. В данном случае наблюдаем превышение ПДК по кадмию.

Особенности жирнокислотного состава касторового масла

Особенности жирнокислотного состава проб оценивались нами по результатам измерения кислотного числа, температуры замерзания, интерпретации полученного ИК-спектра и показателей вязкости касторового масла. Методики и результаты (табл. 4) исследования представлены ниже.

Кислотное число определяли по методике, используемой на заводе ООО «Фукс Ойл». Для этого в коническую колбу объёмом

250 мл помещали навеску масла, согласно предполагаемому кислотному числу (у касторового масла оно составляет 1,5 мг КОН / г масла) – 15 +/- 2 г. В другой конической колбе объёмом 250 мл был подготовлен раствор индикатора – спиртового раствора щелочного голубого. С помощью мерного цилиндра 100 мл индикатора помещали в коническую колбу и добавляли к нему 5 капель спиртового раствора КОН с концентрацией 0,1 моль/л для нейтрализации данного индикатора. Затем соединяли нейтрализованный раствор индикатора и навеску масла в конической колбе с навеской и хорошо перемешали до полного растворения пробы. Осуществляли титрование полученного раствора спиртовым раствором КОН с концентрацией 0,1 моль/л (с точной концентрацией, установленной методом кислотно-основного титрования) до появления винно-красного окрашивания. Расчёт кислотного числа проводили по формуле:

$$К. Ч. = \frac{V(КОН) \times T(КОН) \times 5,611}{m(\text{навески})}, \text{ где: где } V$$

(КОН) – объём раствора гидроксида калия, пошедшего на титрование, мл; Т (КОН) – титр раствора гидроксида калия, г/мл; m (навески) – масса испытуемого образца, г.

Результаты, представленные в таблице 4, показывают, что значение кислотного числа находится в пределах нормы для проб масел обоих производителей. Однако в случае касторового масла производителя ООО «Аромасинтез» содержание свободных кислот немного выше.

Таблица 4. Кислотное число и температура застывания касторового масла

Параметры	Касторовое масло производства ООО «Аромасинтез» (г. Калуга)	Касторовое масло производства ООО «Тульская фармацевтическая фабрика» (г. Тула)	Среднее значение
Кислотное число	1,0063	0,6953	1,5 [5]
Температура застывания, °С	-28	-27	-10... -18
Динамическая вязкость при 40 °С, мПа·с	236,4	237,2	См. рис. 1.
Динамическая вязкость при 100 °С, мПа·с	17,36	17,41	См. рис. 1.
Кинематическая вязкость при 40 °С, мм ² /с	251,8	252,6	См. рис. 2.
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм ² /с	19,18	19,23	См. рис. 2.
Индекс вязкости	85	85	-

Дополнительно была определена температура застывания касторового масла. Её определяли на автоматическом аппарате для определения температуры помутнения/застывания «МРС-102». Для этого в кювету помещали пробу исследуемого масла. Кювету помещали в прибор, а в кювету с пробой опускали специальный датчик, после чего герметично закрывали отсек с пробой. После указания температурного режима на приборе выполняли измерение значения. Результат – температура застывания масла – автоматически выводился прибором на дисплее.

Температура застывания исследованных проб касторового масла (потеря текучести) обоих производителей оказалась значительно ниже ожидаемого среднего значения [5, 8-9], что может быть обусловлено повышенным содержанием в масле непредельных высших жирных карбоновых кислот, включая рицинолеву. При этом в касторовом масле произ-

водителя ООО «Аромасинтез» их отмечается больше, чем в пробах касторового масла производителя ООО «Тульская фармацевтическая фабрика».

Для оценки особенностей химического состава нами также были определены динамическая и кинетическая вязкость, индекс вязкости, измеренные при 40 °С и 100 °С. В соответствии с ГФ РФ XIV издания, динамическая вязкость определяет величину сопротивления текучести жидкости при перемещении её слоя площадью 1 см² на расстояние в 1 см со скоростью 1 см/с (Па·с), т. е. определяет действующую на поверхность силу, необходимую для сдвига этой поверхности относительно другой, находящейся параллельно, жидкости на единицу длины за единицу времени [10]. Полученные данные соответствуют информации из научной литературы (рис. 1) – первым точкам каждого графика (при нулевом сдвиге).

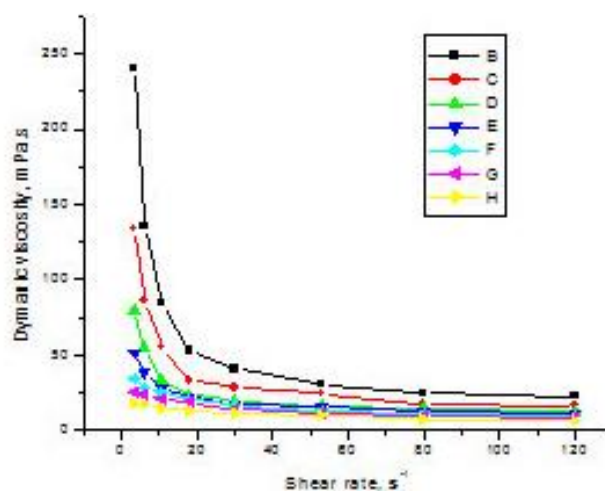


Рис. 1. Динамическая вязкость касторового масла при различной скорости сдвига («Dependence dynamic viscosity versus rate at temperature for castor oil: B – 40 °C, C – 50 °C, D – 60 °C, E – 70 °C, F – 80 °C, G – 90 °C and H – 100 °C») [11]

Кинематическая вязкость масел рассчитывается по отношению динамической вязкости жидкости к её плотности ($\text{м}^2/\text{с}$). Индекс вязкости вычисляется автоматически на приборе, исходя из значений кинематической вязкости при $40\text{ }^\circ\text{C}$ и $100\text{ }^\circ\text{C}$ и определяет различия те-

куности масла в зависимости от температуры [8]. При сравнении полученных данных кинематической вязкости с данными, представленными в научной публикации, видим их сопоставимость (рис. 2).

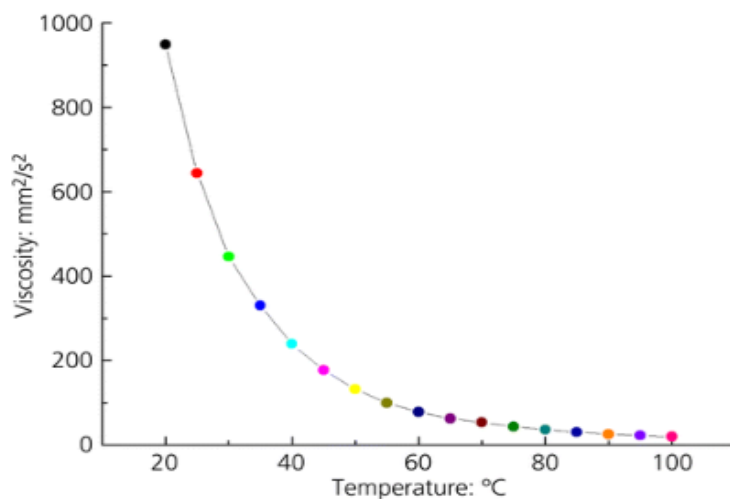


Рис. 2. Кинематическая вязкость касторового масла при различных температурах [11]

Высокая кинематическая вязкость касторового масла по сравнению с другими маслами связана с высоким содержанием в касторовом масле рициоловой кислоты – не менее 80-90% [4]. В связи с этим вязкость касторового масла в 18 раз выше вязкости подсолнечного масла [12]. Помимо рициоловой кислоты в касторовом масле повышено содержание других ненасыщенных кислот: олеиновая – 3-9%, линолевая – 3-5% [4].

Затем при оценке качества проб обоих масел снимали ИК-спектр на приборе – ИК-

Фурье-спектрометре марки Spectrum Two с детектором DTG. После запуска программы прибора сначала получили ИК-спектр фона. Затем при помощи пипетки капля масла помещалась на окошко из ZnSe в специальную приставку. После детектирования результатов исследования проб касторового масла обоих производителей и их программной обработки были получены спектры поглощения в диапазоне от 4000 до 400 см^{-1} (рис. 3).

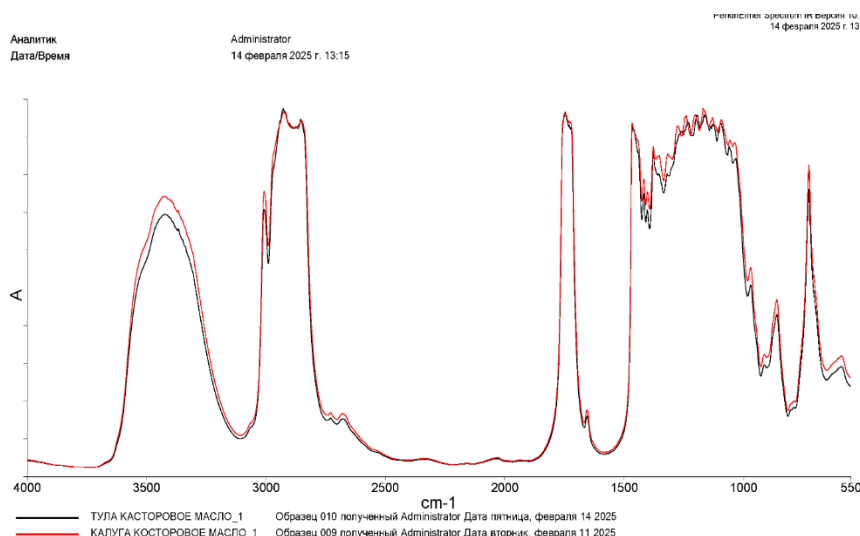


Рис. 3. ИК-спектры исследуемых образцов масла

ИК-спектры поглощения обеих проб масел имеют характерные для касторового масла пики, в том числе, широкую полосу с максимумом около 3400 см^{-1} , возникающую за счёт валентных колебаний гидроксильного фрагмента рицинолевой кислоты [14]. Адсорбционная картина поглощения С–О-связей касторового масла в диапазоне $1032\text{--}1083\text{ см}^{-1}$ возникает из-за наличия в молекулах связей С–О в исследуемом касторовом масле. Основным компонент в диапазоне $2877\text{--}2935\text{ см}^{-1}$ возникает из-за связей С–Н. Характерное поглощение карбонильной группы наблюдалось при 1745 см^{-1} , что указывает на наличие сложноэфирной связи. В результате полученные спектры подтверждают наличие связей углерод-кислород, углерод-водород и водород-кислород в касторовом масле [15].

В целом, данные ИК-спектров масел доказывают сходство их химического состава и подтверждают особенности химического состава проб производителей ООО «Аромасинтез» и ООО «Тульская фармацевтическая фабрика».

Выводы

1. Качественный анализ показал отличия в химическом составе масел производителей ООО «Аромасинтез» и ООО «Тульская фармацевтическая фабрика». Качественные реак-

ции подтвердили наличие в пробах касторового масла производителей наличие токоферолов, филохинонов, фосфолипидов, которые характерны для данного растительного масла. Однако элементный состав выявил присутствие в пробах касторового масла производителя ООО «Аромасинтез» загрязнителей – висмута и тяжёлых металлов (хром, серебро, кадмий). При этом кадмий относится к высокотоксичным металлам.

2. Кислотное число исследованных проб находится в пределах нормы, однако для касторового масла производителя ООО «Аромасинтез» данный показатель отличается более высокими значениями, что обусловлено повышенным содержанием в данных пробах свободных жирных кислот. При этом более низкие значения температуры застывания и более высокие значения показателей вязкости характеризуют пробы касторового масла как содержащие высокие концентрации свободных жирных кислот по сравнению со средними значениями, обозначенными в литературных источниках.

3. Отличия, наблюдаемые у ИК-спектров, подтверждают наличие значительных особенностей в химическом составе исследованных масел. Это обуславливает потребность в продолжении выполняемого исследования.

Библиографический список

1. Беккулова Р.Ф. Исследование ферментативного гидролиза касторового масла липазой из *CANDIDA RUGOSA* в ферментаторе / Р.Ф. Беккулова, О.С. Ельцов // Физика. Технологии. Инновации: сборник материалов VI Международной молодежной научной конференции, посвященной 70-летию основания Физико-технологического института УрФУ, Екатеринбург, 20-24 мая 2019 г. – Екатеринбург: УФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2019. – С. 51-63.

2. Клещевины обыкновенной семян масло жирное (касторовое масло). Институт фармакопеи и стандартизации в сфере обращения лекарственных средств / Государственная фармакопея Российской Федерации. 14-е издание. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia-projects/izdanie-14/3/3-4/kleshchevinu-obyknovennoy-semyan-maslo-zhirnoe-kastorovoe-maslo/?vers=6444&ysclid=m3cqay2zfs765454704>.

3. Анализ жирных масел. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://helpiks.org/6-4589.html>.

4. Касторовое масло. Большая советская энциклопедия. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

https://gufo.me/dict/bse/%D0%9A%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D0%BC%D0%B0%D1%81%D0%BB%D0%BE.

5. Нагорнов С.А. Техника и технологии производства и переработки растительных масел: учебное пособие / С.А. Нагорнов, Д.С. Дворецкий, С.В. Романцова, В.П. Таров. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 96 с. – ISBN 978-5-8265-0964-7.

6. Тринеева О.В. Особенности оценки качества и перспективы стандартизации жирных растительных масел и масляных экстрактов фармацевтического назначения (обзор) // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2016. – № 2 (15). – С. 114-134. – EDN WYJZMH.

7. Галенко М.С. Нормирование содержания тяжелых металлов и мышьяка как фактор безопасности использования лекарственных растительных препаратов / М.С. Галенко, И.В. Гравель, Н.Ю. Вельц, Р.Н. Аляутдин // Безопасность и риск фармакотерапии. – 2021. – Т. 9, № 2. – С. 61-68.

8. ГОСТ 6757-96. Масло касторовое техническое. Технические: Межгосударственный стандарт: утвержден и введен в действие Постановлением Комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации от 27 августа 1996 г. № 541: введен впервые: дата введения 1997-01-01 / разработан Межгосударственным Техническим комитетом по стандартизации ТК 238 «Масла растительные и продукты их переработки». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294822/4294822928.pdf?ysclid=m3h0rp50ya164485805>.

9. Касторовое масло. Свойства, состав, получение касторового масла. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://itexn.com/11934_kastorovoe-maslo-svoystva-sostav-poluchenie-kastorovogo-masla.html.

10. Вязкость. Институт фармакопей и стандартизации в сфере обращения лекарственных средств / ГФ РФ XV издания. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-2/1-2-1/vyazkost/?ysclid=m73ltx4nu3240547830>.

11. Ioana Stanciu. Rheological Characteristics of Castor Oil Used as Biodegradable Lubricant // Oriental journal of chemistry. – 2020. – Vol. 36, № 5. – P. 973-975. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.orientjchem.org/vol36no5/rheological-characteristics-of-castor-oil-used-as-biodegradable-lubricant/>.

12. Касторовое масло. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.exxol.ru/catalog/?ELEMENT_ID=541.

13. Котова Г.Г. Улучшение качества смазочных масел и присадок / Г.Г. Котова, Н.С. Сосина, К.И. Зимина // Труды ВНИИ НП. – Вып. XIV. – Москва: Химия. – С. 234-240. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.chem21.info/page/227118048142185145085110216008236180162131164097/>.

14. Сравнительные особенности инфракрасных спектров C18-карбоновых кислот, их метиловых эфиров (биодизеля) и триглицеридов (растительных масел) / Е.И. Кнерельман, Р.С. Яруллин, Г.И. Давыдова, Г.П. Старцева, В.Я. Чуркина, П.Е. Матковский, С.М. Алдошин // Вестник Казанского технологического университета. – 2008. – №6. – С. 68-78.

15. The lubrication performance and viscosity behavior of castor oil under high temperature. Key Laboratory of Education Ministry for Modern Design and Rotor-bearing System, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/jgrma.20.00068>.

**FEATURES OF THE CHEMICAL COMPOSITION
OF PHARMACEUTICAL CASTOR OIL MANUFACTURERS
OF THE KALUGA REGION**

S.O. Pustovit, *Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor*

P.A. Dunaeva, *Student*

Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovsky
(Russia, Kaluga)

***Abstract.** The article presents the results of a study of castor oil supplied to the pharmaceutical market by enterprises of the Kaluga and Tula region, according to some indicators that allow us to identify a number of features of its chemical composition. The analysis included specific chemical reactions to individual groups of biologically active substances, performing elemental analysis, using the IR spectroscopy method, determining the acid number, viscosity and freezing point. The experiment revealed the presence of castor oil tocopherols, phylloquinones, phospholipids, and an increased content of unsaturated and free higher fatty acids. The presence of heavy metal compounds was noted in one of the tested oil samples.*

***Keywords:** castor oil, qualitative analysis, IR spectrum, elemental composition of the oil, acid number, pour point, dynamic and kinematic viscosity, viscosity index.*