

Научная статья

УДК 665.335.82

DOI: 10.17586/2310-1164-2025-18-1-3-11

## Использование метода синхронного сканирования спектров флуоресценции для идентификации подлинности масла виноградной косточки

В.А. Васильев<sup>1</sup>, А.С. Реснянская<sup>2\*</sup><sup>1</sup>Астраханский государственный технический университет, Россия, Астрахань<sup>2</sup>Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева, Россия, Астрахань  
\*resnyanskaya-as@yandex.ru

**Аннотация.** Изучали метод синхронного сканирования спектров эмиссии и возбуждения для идентификации масла виноградной косточки прямого отжима с целью оперативного скрининга фальсификатов, поскольку флуоресцентная спектроскопия (SF спектроскопия) является одним из наиболее чувствительных и недорогих методов. Объектом исследования выбраны четыре образца масла виноградной косточки, приобретенного в различных сегментах российского ретейла. Показано, что SF спектроскопия позволяет не только идентифицировать отдельные соединения в структуре матрицы масла виноградной косточки, но и разделять их изомеры. Наиболее информативные данные получены при величине деградации энергии ( $\Delta h_{\text{эм}} - \Delta h_{\text{возб}}$ ), соответствующей 30 и 60 нм. При этом в образцах подлинных масел произошла четкая дифференциация максимумов для токоферолов и токотриенолов  $\lambda_{\text{max}} = 287$  и 305 нм соответственно при  $\Delta h_{30}$  и  $\lambda_{\text{max}} = 283$  и 305 нм при  $\Delta h_{40}$  нм, в фальсификатах разделение пиков не происходило. Аналогичное разделение полос наблюдалось для изомеров хлорофилла  $\alpha$  ( $\lambda_{\text{max}} = 633$  нм) и хлорофилла  $\beta$  ( $\lambda_{\text{max}} = 668$  нм) при  $\Delta h_{40}$  нм. В фальсифицированных образцах пики хлорофилла, каротиноидов и коричневых кислот отсутствовали. Наиболее информативен оказался анализ полного спектра синхронного сканирования флуоресценции (TSFS) с шагом сканирования  $\Delta h_{10}$ . Таким образом, метод SF спектроскопии позволяет оперативно решать проблему контроля подлинности масла виноградной косточки и аналогичной пищевой продукции.

**Ключевые слова:** пищевые растительные масла; идентификация подлинности; синхронная флуоресцентная спектроскопия; масло виноградной косточки; токоферолы

Original article

## Synchronized scanning fluorescence spectra method for grape seed oil authenticity identification

Vladimir A. Vasilyev<sup>1</sup>, Anna S. Resnyanskaya<sup>2\*</sup><sup>1</sup>Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia<sup>2</sup>Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, Russia  
\*resnyanskaya-as@yandex.ru

**Abstract.** Fluorescence spectroscopy (SF spectroscopy) is one of the most sensitive and inexpensive methods for operational screening of counterfeits. The article analyses the method of simultaneous emission and excitation spectrum scanning for the identification of direct-press grape seed oil. Four samples of Russian-made grape seed oil were analyzed by SF spectroscopy method. The results showed that SF spectroscopy allows not only to identify individual compounds in the structure of the grape seed oil matrix, but also to separate their isomers. The most informative data were obtained at an energy degradation value ( $\Delta h_{\text{em}} - \Delta h_{\text{excl}}$ ) of from to 30 and 60 nm. At the same time, in the samples of genuine oils, there was a clear differentiation of maxima for tocopherols and tocotrienols  $\lambda_{\text{max}} = 287$  nm and 305 nm, respectively. At  $\Delta h_{30}$  and  $\lambda_{\text{max}} = 283$  nm and 305 nm at  $\Delta h_{40}$  nm, no peak separation occurred in the adulterants. Similar band separation was observed for the isomers of chlorophyll  $\alpha$  ( $\lambda_{\text{max}} = 633$ nm) and chlorophyll  $\beta$  ( $\lambda_{\text{max}} = 668$  nm) at  $\Delta h_{40}$  nm. There were no peaks of chlorophyll, carotenoids, and cinnamic acids in the falsified samples. The most informative was the analysis of the full spectrum of synchronous fluorescence scanning (TSFS) with a scan step of  $\Delta h_{10}$ . Thus, SF spectroscopy allows operational screening of counterfeiting grape-seed oil and analogous food products.

**Keywords:** edible vegetable oils; authentication; synchronous fluorescence spectroscopy; grape seed oil; tocopherols

## Введение

Фальсификация продуктов питания – один из наиболее серьезных вызовов, стоящих на пути развития пищевой отрасли. Присутствие на рынке продукции сомнительного качества без четкой истории происхождения создает угрозу здоровью населения, приводит к многомиллиардным убыткам

государства и создает условия для недобросовестной конкуренции за счет реализации демпинговых операций. Растительные масла прямого отжима из премиального сырья – один из наиболее часто фальсифицируемых объектов. Подобная тенденция обусловлена высокой стоимостью, широким рынком сбыта, а также относительной легкостью процесса изготовления подделок. Фальсификации подвергается сырье, способ производства и бренд изготовителя. Любой из этих видов нарушений может быть идентифицирован с помощью современных методов химического анализа.

В практике контрольно-надзорной деятельности наибольшее распространение получил способ идентификации растительных масел методом газовой хроматографии путем установления характеристического состава жирных кислот после предварительного гидролиза триглицеридов и образования сильных эфиров, обладающих лучшей летучестью в сравнении с исходными кислотами. Сегодня чаще используются высокотехнологичные масс-селективные системы, преимуществом которых является функциональность и информативность. Несмотря на все достоинства, подобные подходы имеют и существенные недостатки: высокая стоимость анализа, необходимость сложной подготовки проб, высокие требования к квалификации персонала, стационарная установка оборудования, высокое энергопотребление. При этом информация о составе жирных кислот далеко не всегда позволяет выявить подделку, особенно при ее промышленном изготовлении с использованием искусственного моделирования состава. Кроме того, метод низко информативен для идентификации способа производства (прямой отжим или экстракция), а также географического происхождения растительного масла и установления производителя товара. Эти проблемы могут быть решены при использовании комплекса аналитических систем, дополняющих друг друга, например, ВЭЖХ, ЯМР, масс-спектрометрия стабильных изотопов и других. Подобный подход увеличивает масштаб выявления подделок, но при этом проблемы возникают в финансовой плоскости из-за высокой стоимости и длительности исследования. В связи с этим в практику скринингового анализа образцов растительных масел необходимо шире внедрять простые неразрушающие методы контроля, в том числе синхронного сканирования спектров флуоресценции.

Метод синхронного сканирования спектров флуоресценции нашел широкое распространение при выявлении фальсификатов большинства групп пищевых продуктов: молока, вин, бренди и коньяков, меда и др. [1–3]. Распространение SF спектроскопии в практике анализа растительных масел началось с исследований в области качества и подлинности оливкового масла, что обусловлено остротой проблемы оперативного выявления фальсификации данного продукта [4–6]. Успешный опыт позволил применить этот метод для оценки подлинности и качества других ценных пищевых растительных масел: арахисового [7, 8], рапсового [9, 10], подсолнечного [11, 12], грецкого ореха [13], кунжутного [14] и др. Использование данных SF спектроскопии для целей машинного обучения значительно повысило эффективность определения подделок. В недавней работе, посвященной выявлению фальсификации масла семян чиа [15], заявлено о достижении 95% дискриминации фальсификатов. Исследованию спектральных характеристик масла виноградной косточки посвящено ограниченное количество работ: в одной изучался ИК спектр [16], в другой – спектр эмиссии при фиксированной волне возбуждения [17]. Кроме того, ранее авторы [18] исследовали эффективность использования метода 3D флуоресценции для анализа масла виноградной косточки. Работ, посвященных SF спектроскопии масел виноградной косточки, в доступных библиотеках обнаружено не было.

Цель данного исследования – изучить возможности метода синхронной флуоресценции для идентификации подлинности масла виноградной косточки.

## Материалы и методы

В качестве объектов исследования использовали четыре образца масла виноградной косточки, приобретенного в различных сегментах российского ретейла, в том числе с использованием интернет-торговли. В таблице 1 дана информация, приведенная на этикетке образцов.

Для исследования образцов использовали метод синхронного сканирования спектров эмиссии и возбуждения. Трехмерные спектры флуоресценции получали на двухлучевом спектрофотометре-флуориметре СФФ-2 «Флуоран» (ВНИИ оптико-физических измерений, Россия). Кюветы кварцевые КУ-10.10А (Ультра оптик, Россия).

Таблица 1. Характеристики образцов (согласно информации для потребителя)  
Table 1. Characteristics of the samples (according to consumer information)

№ образца	Регион производства	Информация с этикетки	Комментарии
1	Испания, регион не указан	масло виноградной косточки для кожи; получено CO <sub>2</sub> экстракцией	приобретено на специализированном маркетплейсе
2	Кыргызстан, Чуйская обл., Сокулукский район	масло виноградных косточек нерафинированное	приобретено на крупном маркетплейсе
3	Россия, Краснодарский край, Темрюкский район	масло виноградных косточек Velvet Skin нерафинированное первого холодного отжима	отобрано на складе производителя*
4	Испания, Кордова	масло Global Village виноградное рафинированное	приобретено в сетевом магазине

\*Для образца подтверждена дата производства. Полностью задокументирована вся технологическая цепочка, начиная от входного контроля качества сырья, до розлива в потребительскую тару. Образец использовался в качестве контрольного при проведении исследования.

Перед проведением измерений определяли степень разбавления с таким расчетом, чтобы уровень максимумов флуоресценции лежал в среднем диапазоне регистрации. Экспериментально выявлено, что такое значение соответствует стократному разбавлению образца с получением 1% раствора исследуемого масла в *n*-гексане по объему. Использовался *n*-гексан для УФ спектроскопии (УФС) по ТУ 2631-158-44493179-13 производства АО «ЭКОС.1». Параметры снятия спектральных данных представлены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры снятия спектральных данных на СФФ-2 «Флуоран»  
Table 2. Parameters of spectral data acquisition on Fluorane SFF-2

Параметр	Значения
шаг сканирования, нм	1
число импульсов лампы	50
число циклов	1
тип люминесценции	флуоресценция
спектр	синхронный
сдвиг длин волн, нм	10,0–100,0
L <sub>min</sub> , нм	240,0
L <sub>max</sub> , нм	700,0
чувствительность опорного канала	1
чувствительность измерительного канала	1
усиление опорного канала	10,0
усиление абсорбционного канала	10,0
усиление флуоресцентного канала	500,0
напряжение лампы, Вт	600,0
тип щелей входного монохроматора	высокие
щели входного монохроматора, нм	5
щели выходного монохроматора, нм	5
материал кюветы	кварцевое стекло КУ-1
оптический путь (поглощающий слой), мм	10
максимальный объем, мл	3,5

## Результаты и их обсуждение

Метод синхронного сканирования спектров флуоресценции (SFS) заключается в проведении одновременного сканирования возбуждения и излучения с сохранением фиксированного интервала длин волн ( $\Delta\lambda$ ) между ними. Он не только упрощает спектр излучения, но и в меньшей степени подвержен влиянию рассеивающего эффекта Рэлея и комбинационного рассеяния света по сравнению с обычной матрично-эмиссионной флуоресценцией с возбуждением (ЕЕМФ). Отличительной особенностью данного метода от классического исследования спектра эмиссии  $\lambda_{em}$  или возбуждения  $\lambda_{ex}$  является то, что монохроматоры одновременно сканируют оба типа спектра в изучаемом диапазоне с определенной

величиной сдвига. Таким образом, фиксируя разность длин волн  $\lambda_{em} = \lambda_{ex} + \Delta\lambda$  во всем диапазоне, задается параметр деградации энергии – Стоксов сдвиг. Близкие по своим характеристикам флуорофоры будут давать группы пиков в спектре. Соединения, значительно отличающиеся способностью к тепловой деградации энергии при правильно подобранной величине  $\Delta\lambda$ , будут давать узкие индивидуальные пики. В методе SFS интенсивность сигнала может быть записана как производное трех функций

$$I_S(\lambda_{em}, \lambda_{ex}) = k c E_x(\lambda_{ex}) F_e(\lambda_{ex}, \lambda_{em}) E_m(\lambda_{em}),$$

где  $k$  – константа, зависящая от геометрии измерения;

$c$  – концентрация флуорофора;

$E_x$  – спектр поглощения возбуждения;

$E_m$  – спектр эмиссии;

$F_e$  – эффективность преобразования энергии флуоресценции.

Метод SFS дает более узкий и простой спектр и широко используется для мультифлуорофорного анализа. Интересным и перспективным производным методом данного анализа является изучение зависимости интенсивности спектров возбуждения эмиссии от величины энергетического сдвига  $\Delta\lambda$  при этом двумерные спектры легко преобразуются в трехмерные спектры полного синхронного сканирования флуоресценции (TSFS).

В полном соответствии с приводимыми в предыдущем разделе условиями эксперимента и параметрами настройки прибора были получены аналитические важные данные для каждого образца масла. Все спектры сняты не менее трех раз с последующим усреднением данных с использованием математических методов, интегрированных в программное обеспечение прибора. Величина сдвига флуоресценции ( $\Delta\lambda$ ) варьировалась от 10 до 100 нм с шагом 10 нм, в результате для каждого образца получено 10 спектральных зависимостей. На рисунках 1, 2, 3 приводятся данные по интенсивности флуоресценции для каждого образца при  $\Delta\lambda = 20, 30, 60$  нм.

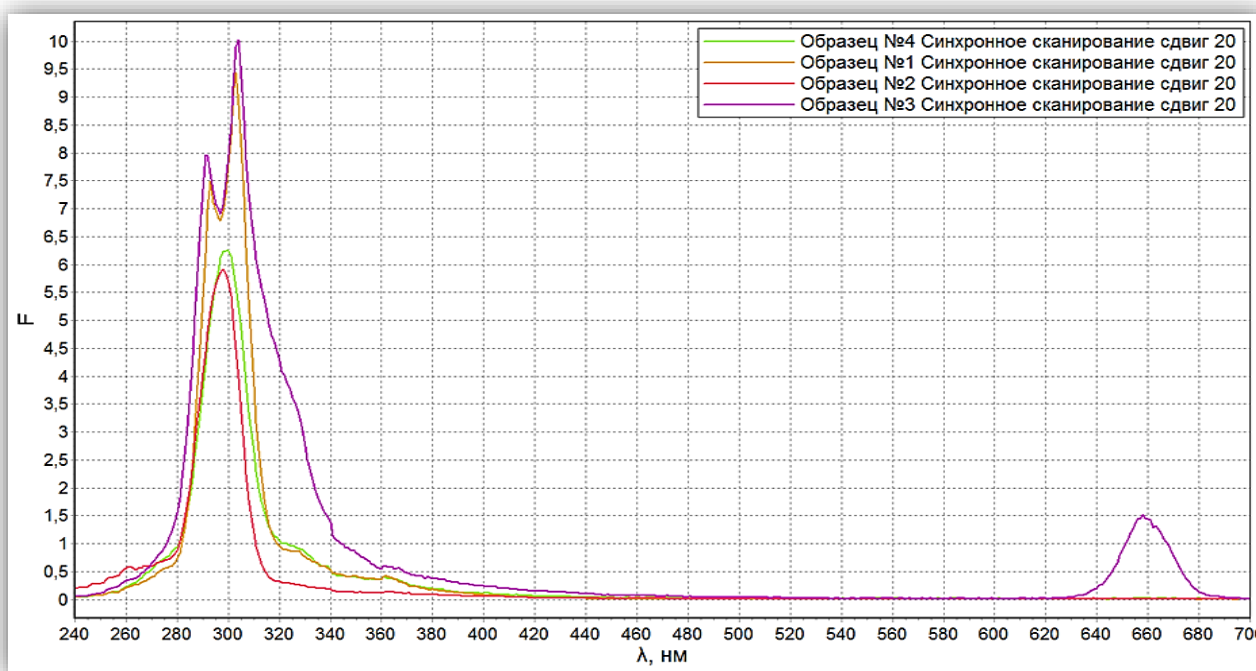


Рисунок 1 – SFS спектр образцов № 1–4 при величине  $\Delta\lambda$  20 нм

Figure 1. SFS spectrum of samples no. 1–4 at  $\Delta\lambda$  20 nm



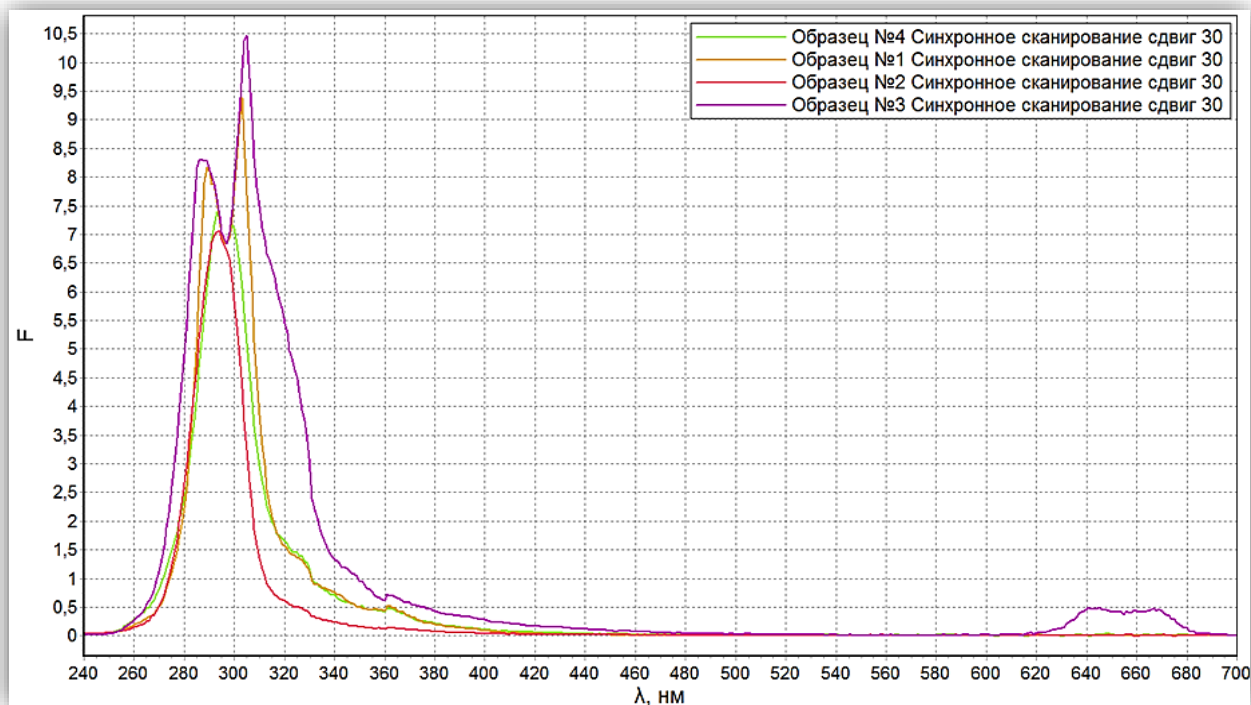


Рисунок 2 – SFS спектр образцов № 1–4 при величине  $\Delta\lambda$  30 нм  
 Figure 2. SFS spectrum of samples no. 1–4 at  $\Delta\lambda$  30 nm

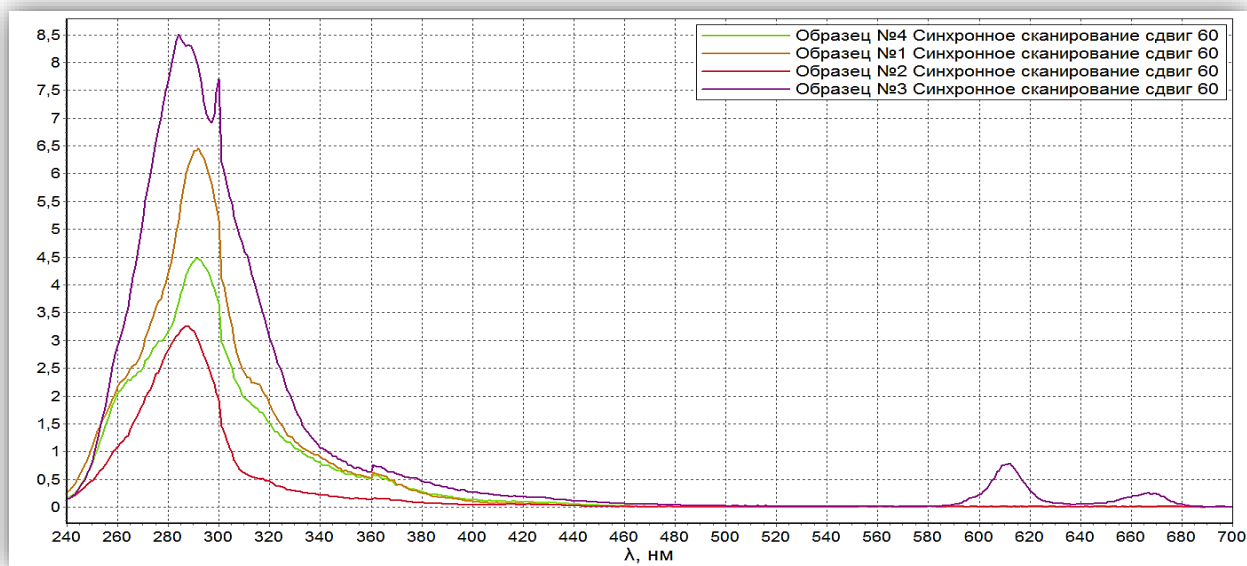


Рисунок 3 – SFS спектр образцов № 1–4 при величине  $\Delta\lambda$  60 нм  
 Figure 3. SFS spectrum of samples no. 1–4 at  $\Delta\lambda$  60 nm

В целях изучения зависимости, интенсивности спектров возбуждения эмиссии от величины сдвига  $\Delta\lambda$  с помощью графического редактора, входящего в программное обеспечение прибора, для каждого образца были построены полные спектры синхронного сканирования флуоресценции (TSFS) (рисунки 5, 6).

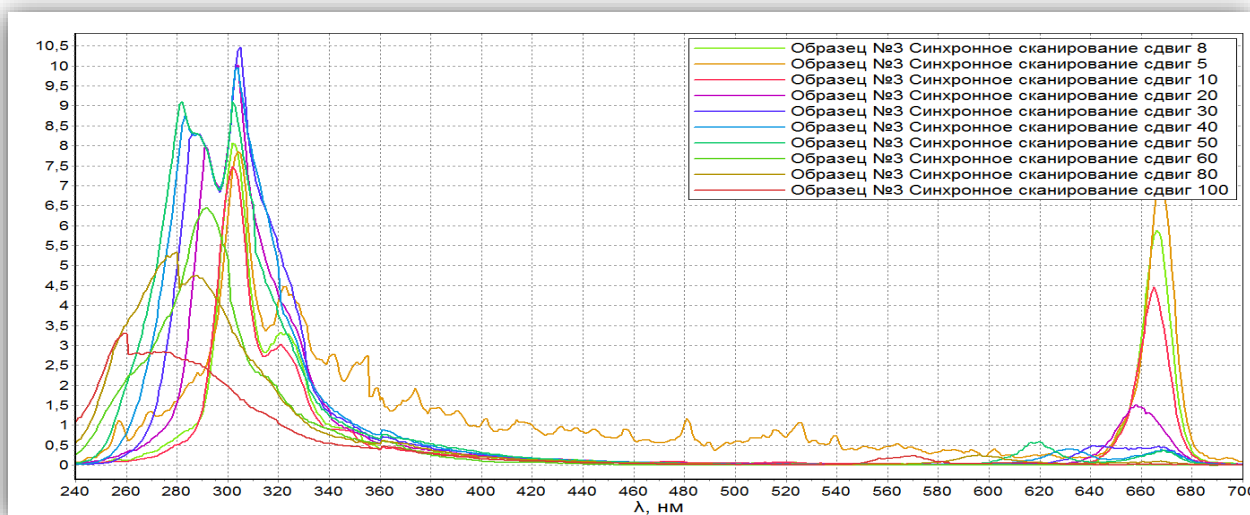


Рисунок 4 – TSFS спектр образца № 3  
 Figure 4. TSFS spectrum of sample no. 3

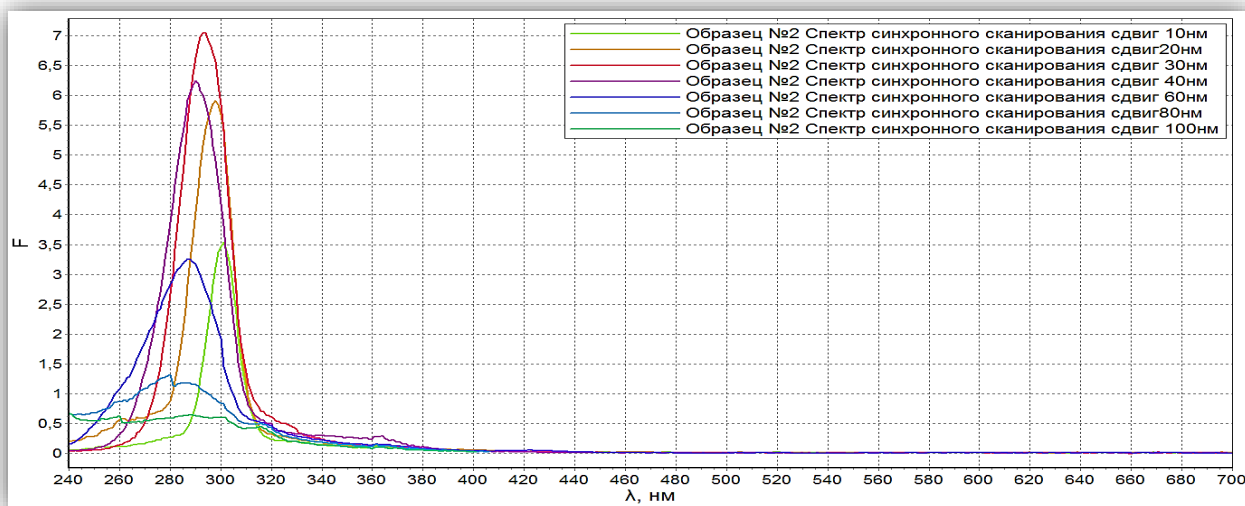


Рисунок 5 – TSFS спектр образца №2  
 Figure 5. TSFS spectrum of sample no.2

Изменяя величину Стоксова сдвига в ходе SF анализа, избирательно группируем флуорофоры по величине безизлучательной деградации энергии. Чем ближе этот параметр к величине сдвига, тем более четкими и интенсивными будут пики на спектрограммах. В таблице 3 приводятся сводные данные по максимумам интенсивности флуоресценции для каждого образца в зависимости от величины сдвига  $\Delta\lambda$ .

Таблица 3. Максимумы интенсивности в зависимости от величины сдвига  $\Delta\lambda$   
 Table 3. Intensity maxima depending on shift value  $\Delta\lambda$

Сдвиг $\Delta\lambda$ , нм	Длина волны максимума, нм			
	образец № 1	образец № 2	образец № 3	образец № 4
10	303	301	302/321/665	303
20	293/303	298	291/304/658	299/361
30	284/303	294	287/305/361/645/667	293/299/361
40	298/301	290	283/304/543/633/668	293
50	отсутствует	отсутствует	282/302/578/620/669	291
60	292	287	284/300	291
80	280/294/314	262/280/285/316	280/288/540/596	262/278/293
100	252/301/314	246/260/288/296/316	259/271/569	259/280/297/313

Диапазон  $\Delta\lambda$  в 10–30 нм соответствует жестким молекулам с относительно невысокой степенью делокализации электронной плотности, такие как ароматические аминокислоты, токоферолы и токотриенолы. Так для фенилаланина и тирозина величина  $\Delta\lambda$  составляет 23 и 8 нм соответственно, для токоферолов и токотриенолов – 25 и 23 нм. Из анализа данных таблицы следует, что при величине сдвига в 10 нм все образцы обладают интенсивной полосой поглощения в диапазоне 290–320 нм, что соответствует токоферолам и токотриенолам. Наибольшая интенсивность наблюдается у образцов № 3 и № 1. Интеграл площади пика образца № 3 больше чем в 3 раза по отношению к образцам № 2 и № 4. Также, если образцы 1, 2 и 4 имеют только один максимум при 301–333 нм, то образец № 3 показывает хорошо выраженные максимумы при 321 и 665 нм, что соответствует флуоресценции токотриенолов и  $\alpha$ -хлорофилла соответственно. При сдвиге 20 нм в образце № 1 происходит расщепление максимума на 293/303 нм, а в образце № 3 на 291/304 с близкой интенсивностью. В образцах № 2 и № 4 расщепление полос не происходит. Сходная картина проявляется и при величине сдвига 30 нм, но максимумы смещаются в коротковолновую область 284/303 и 287/305. При этом в образце № 3 появляется максимум при 361 нм, соответствующий триптофану и коричневым кислотам, а также проходит расщепление длинноволновой полосы хлорофилла за счет поглощения  $\beta$ -хлорофилла. При величине сдвига в 40 нм расщепление коротковолновых полос во всех образцах, кроме третьего, отсутствует. Помимо этого, в нем появляется новый максимум при 543 нм, соответствующий каротиноидам, смещающийся в длинноволновую область при  $\Delta h$  50 нм. При большей величине квантового сдвига происходит резкое снижение интенсивности сигнала в образцах № 2 и № 4 и несколько в меньшей степени в образце № 1. В образце № 3 интенсивность снижается незначительно, что связано с высокой интенсивностью поглощения/испускания в широком диапазоне энергий. Также отличительной способностью образца № 3 является дифференциация коротковолновых пиков с широким максимумом при 284 нм и узким пиком при 300 нм. Пик при 284 нм вероятно обусловлен мощным и разнородным по структуре поглощением процианидинов, а пик при 300 нм – суммой токоферолов и токотриенолов с преобладанием последних. При высоких значениях энергии сдвига информативность образцов № 1 и № 4 снижается, при этом при значении в 100 нм поглощение образца № 2 перестает быть индивидуальным, а образца № 4 очень близко к этому. Пики в образце № 1 также начинают заметно расплываться и сохраняют интенсивность и индивидуальность только в образце № 3.

Все описанные тенденции особенно хорошо видны при рассмотрении спектров полного синхронного сканирования флуоресценции. В образце № 2 отсутствуют признаки индивидуальных маркерных соединений, присущих нерафинированным маслам. Присутствует лишь один пик высокой интенсивности в коротковолновой области, проявляющийся при низких и средних величинах сдвига и теряющийся при больших значениях этого показателя. В образце № 4 в низкой степени представлены признаки индивидуальных маркерных соединений, присущих нерафинированным маслам. Виден лишь один пик высокой интенсивности в коротковолновой области, проявляющийся при низких и средних величинах сдвига и теряющийся при больших значениях этого показателя. Однако при величине сдвига в 50 нм происходит незначительная дифференциация токоферольного пика, что говорит о наличии небольшого количества изомеров токоферолов. В образце № 1 коротковолновые пики хорошо дифференцированы в широком энергетическом диапазоне, что говорит о богатом природном составе антиоксидантов токоферольной и токотриенольной группы, но узкая область смещения и отсутствие характерного перегиба на границе поглощения токоферолов и процианидинов свидетельствует об отсутствии последних, а также катехинов и эпикатехинов. В образце нет длинноволновых пиков, что говорит об отсутствии в составе хлорофиллов. Содержание каротиноидов так же незначительно. В образце № 3 в широком диапазоне сдвига длин волн наблюдается четкая дифференциация характеристических пиков. Присутствуют катехины, процианидины, токоферолы, токотриенолы, каротиноиды, изомерные формы хлорофилла, что подтверждают характерные пики высокой интенсивности.

## Заключение

Метод синхронного сканирования спектров флуоресценции является эффективным средством идентификации подлинности пищевых растительных масел прямого отжима. Он прост в использовании,

не требует сложного аппаратного оформления и может применяться в целях оперативного контроля фальсификатов. В сравнении с 3D флуоресцентной спектроскопией данный метод требует меньших вычислительных мощностей. Оба метода взаимодополняемы и могут использоваться для обучения искусственного интеллекта автоматическому распознаванию подделок с высокой степенью достоверности. Расширение методов контроля и количества проводимых исследований поможет значительно снизить объем фальсифицированных продуктов в целом и ценных растительных масел в частности. Масло виноградной косточки прямого отжима, являясь премиальным растительным маслом с растущей аудиторией потребления, было использовано как объект исследования в целях показать возможности современной флуоресцентной спектроскопии в оперативном контроле подлинности данной товарной группы.

### Литература / References

1. Левин А.Д., Нагаев А.И., Садагов А.Ю., Карачотин С.Н. Качественный анализ вин на основе совместного использования их оптических спектров различной физической природы // Аналитика и контроль. 2018. Т. 22. № 2. С. 147–156. DOI: 10.15826/analitika.2018.22.2.001  
Levin A., Nagaev A., Sadagov A., Karachotin S. Qualitative analysis of wines based on the joint use of their optical spectra of different physical nature. *Analytics and Control*. 2018, V. 22, no. 2, pp. 147–156. DOI 10.15826/analitika.2018.22.2.001 (In Russian)
2. Sádecká J., Uríčková V., Májek P., Jakubíková M. Comparison of different fluorescence techniques in brandy classification by region of production. *Spectrochim Acta Part A: Mol Biomol Spectrosc*. 2019, V. 216, pp. 125–135. DOI: 10.1016/j.saa.2019.03.018
3. Sahakyan A., Alenichev M., Levin A. Characterization of cognacs and grape brandies by fluorescence spectra processed using machine learning methods. *Industrial Laboratory. Diagnostics of materials*. 2023, V. 89, no. 10, pp. 25–33. DOI: 10.26896/1028-6861-2023-89-10-25-33
4. Sikorska E., Khmelinskii I., Sikorskiet M. Analysis of olive oils by fluorescence spectroscopy: Methods and applications. In Boskou D. (Ed.) *Olive Oil – Constituents, Quality, Health Properties and Bioconversions*. 2012. InTech, Ch. 4, pp. 63–88. DOI: 10.5772/30676
5. Anagnostopoulos T., Spiliopoulos I. Classifying PDO Kalamata olive oil from geographic origins of the Messenia region based on statistical machine learning. *WSEAS Transactions on Environment and Development*. 2024, V. 20, pp. 137–147. DOI: 10.37394/232015.2024.20.15
6. Lia F., Zammit-Mangion M., Farrugia C. Application of supervised chemometric techniques and synchronized excitation-emission spectrofluorometric analysis for the verification of Maltese extra virgin olive oils. *Food Sci Technol*. 2022, V. 59, no. 9, pp. 3634–3646. DOI: 10.1007/s13197-022-05371-x
7. Gu H., Sun Ya., Lv R. A feasibility study for rapid evaluation of oil quality undergoing oven treatment using synchronous fluorescence spectrum. *Chemical Papers*. 2019, V. 73, Is. 8, pp. 1953–1959. DOI: 10.1007/s11696-019-00748-3
8. Zhang W., Lv R., Sun Y., Gu H. Fast evaluation peanut oil quality by synchronous fluorescence spectroscopy and statistical analysis. *Agricultural Sciences*. 2021, V. 12, pp. 565–574. DOI: 10.4236/as.2021.125036
9. Rabej-Kozioł D., Krzemiński M.P., Szydłowska-Czerniak A. Steryl sinapate as a new antioxidant to improve rapeseed oil quality during accelerated shelf life. *Materials (Basel)*. 2021, V. 14, no. 11, article 3092. DOI: 10.3390/ma14113092
10. Rabej D., Szydłowska-Czerniak A. Fluorescence and UV-VIS spectroscopy to determine the quality changes of rapeseed oil fortified with new antioxidant after storage under various conditions. *Food Anal. Methods*. 2020, V. 13, pp. 1973–1982. DOI: 10.1007/s12161-020-01804-5
11. Gu H., Sun Y., Liu S. *et al.* A feasibility study of the rapid evaluation of oil oxidation using synchronous fluorescence spectroscopy. *Food Anal. Methods*. 2018, V. 11, pp. 3464–3470. DOI: 10.1007/s12161-018-1315-x
12. Ge F., Chen C., Liu D., Zhao S. Rapid quantitative determination of walnut oil adulteration with sunflower oil using fluorescence spectroscopy. *Food Anal Methods*. 2014, V. 7, pp. 145–150. DOI: 10.1007/s12161-013-9610-z
13. Zhang Ya., Wu H.-L., Chen An-Qi., Dong M.-Yu., Wang T., Wang X.-Zh., Yu Yu-Q. Combination of excitation-emission matrix fluorescence spectroscopy and chemometric methods for the rapid identification of cheaper vegetable oil adulterated in walnut oil. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2022, V. 16, no. 6. DOI: 10.1007/s11694-022-01536-6
14. Wu X., Zhao Z., Tian R., Gao S., Niu Yu., Liu H. Exploration of total synchronous fluorescence spectroscopy combined with pre-trained convolutional neural network in the identification and quantification of vegetable oil. *Food Chem*. 2021, V. 335, article 127640. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127640
15. Mburu M., Komu C., Paquet-Durand O., Hitzmann B., Zettel V. Chia oil adulteration detection based on spectroscopic measurements. *Foods*. 2021, V. 10, no. 8, article 1798. DOI: 10.3390/foods10081798



16. Hanganu A., Todaşcă M.C., Chira N.A., Maganu M., Roşca S. The compositional characterisation of Romanian grape seed oils using spectroscopic methods. *Food Chem.* 2021, V. 134, no. 4, pp. 2453–2458. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.04.048
17. Nikolova K., Perifanova M., Pashev A., Minkova S., Gentscheva G., Antova G., Uzunova G. Composition and physicochemical properties of seed oil of rarely grown varieties of grapes. *Scientific Study and Research: Chemistry and Chemical Engineering.* 2021, V. 22, no. 4, pp. 427–435.
18. Васильев В.А., Реснянская А.С. Использование 3D-спектров флуоресценции для идентификации подлинности масла виноградной косточки // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2024. № 3. С. 10–17. DOI: 10.17586/2310-1164-2024-17-3-10-17  
Vasilyev V.A., Resnyanskaya A.S. Using 3D fluorescence spectra to identify the authenticity of grape seed oil. *Processes and Food Production Equipment.* 2024, no. 3, pp. 10–17. DOI: 10.17586/2310-1164-2024-17-3-10-17 (In Russian)

#### *Информация об авторах*

Владимир Анатольевич Васильев – канд. хим. наук, доцент  
Анна Станиславовна Реснянская – канд. хим. наук, доцент

#### *Information about the authors*

Vladimir A. Vasilyev, Ph.D. (Chem.), Associate Professor  
Anna S. Resnyanskaya, Ph.D. (Chem.), Associate Professor

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests

*Статья поступила в редакцию 28.11.2024*

*Одобрена после рецензирования 20.12.2024*

*Принята к публикации 27.12.2024*

*The article was submitted 28.11.2024*

*Approved after reviewing 20.12.2024*

*Accepted for publication 27.12.2024*