

## Применение спектроскопии для оценки качества виноградных вин

**Н.А. Коршунова, В.А. Романов**

*Университет ИТМО*

*191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

канд. техн. наук **В.В. Евелева**, v.eveleva@yandex.ru

*ВНИИ пищевых добавок – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН  
191014, Россия, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55*

Исследовали возможность определения показателей качества виноградного вина методом спектроскопии в средней инфракрасной (ИК) области. Объектами служили образцы на основе сухого белого виноградного вина сорта Шардоне Таманского полуострова. Образцы готовили путем разбавления вина дистиллированной водой с последующим добавлением в полученные растворы спирта этилового ректифицированного и лимонной кислоты. В них определяли массовую концентрацию титруемых кислот и объемную долю этилового спирта референтными методами, изложенными в действующих стандартах, и методом нарушенного полного внутреннего отражения на ИК Фурье-спектрометрах Alpha и Vertex 70 марки «Брукер». Массовую концентрацию титруемых кислот изменяли в пределах от 1,09 до 14,96 %, объемную долю этилового спирта – от 2,07 до 14,52% об. Параметры снятия спектров выбирали с учетом достижения лучших результатов по разрешающей характеристике и соотношения сигнал/шум. В полученных ИК спектрах были выбраны полосы поглощения, характеризующие содержание титруемых кислот и этилового спирта. Используя программное обеспечение спектрометров, установили градуировочные характеристики исследуемых показателей качества вина от площади соответствующей полосы поглощения. Оценены статистические показатели установленных функциональных зависимостей и определенных с их помощью показателей. Коэффициент корреляции зависимости объемной доли этилового спирта от интенсивности полосы поглощения составил 0,989, зависимости массовой концентрации титруемых кислот – 0,987. Показано, что характеристики измерений объемной доли этилового спирта и массовой концентрации титруемых кислот сухого белого вина методом ИК спектроскопии соответствуют характеристикам показателей, определенных стандартными методами.

**Ключевые слова:** спектроскопический анализ; сухое белое виноградное вино; показатели качества; объемная доля этилового спирта; массовая концентрация титруемых кислот.

DOI: 10.17586/2310-1164-2019-12-3-42-51

---

## The application of spectroscopy to assess the quality of grape wines

**Natalya A. Korshunova, Vsevolod A. Romanov**

*ITMO University*

*9, Lomonosov str., St. Petersburg, 191002, Russia*

Ph. D. **Vera V. Eveleva**, v.eveleva@yandex.ru

*All-Russian Research Institute of Food Additives – Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems, RAS  
55, Liteyny ave., St. Petersburg, 191014, Russian*

Research have been conducted to assess the possibility of determining quality indicators of grape wines by spectroscopy in the middle IR range. Objects of the study were samples prepared on the basis of Chardonnay dry white wine of the Taman Peninsula. Samples were prepared by diluting the wine with distilled water with the subsequent addition of rectified ethyl alcohol and citric acid to the obtained solutions. In the samples the mass concentration of titratable acids and the volume fraction of ethyl alcohol were determined by the methods described in the current standards and the method of broken total internal reflection (BTIR) on ALPHA and VERTEX 70 IR-Fourier spectrometers by Bruker brand. Mass concentration of titratable acids in the test sample varied from 1.09 to 14.96%, the alcohol by volume – from 2.07 to 14.52% by volume. Spectral parameters were chosen taking into account the achievement the best results in terms of resolution and signal-to-noise ratio. In the obtained IR spectra absorption bands were selected that characterize the content of titratable acids and ethyl alcohol. Using the spectrometer software we established the calibration characteristics of the wine quality indicators studied from the area of the corresponding absorption band. Statistical indicators of established functional

dependencies and indicators determined by them are estimated. Correlation coefficient of the calibration equation for ethanol content was 0.989, coefficient of determination – 0.977. The calibration equation for determining the content of organic acids was characterized by correlation coefficient 0.987 and coefficient of determination 0.975. In conclusion, the metrological characteristics of measuring the concentrations of ethanol and titrated acids by the proposed method are consistent with the standards. This method to determine the content of alcohol and organic acids can be recommended to analyze table wines of the corresponding type. The preparation of new series of samples and recalibration are required only when analyzing a new type of wine. It is recommended to use the data obtained in training courses at the Master's program Methods of Quality Control of Food Products.

**Keywords:** spectroscopic analysis; dry white grape wine; quality indicators; alcohol by volume; mass concentration of titratable acids.

## Введение

Считается установленным, что эффективность надзора за качеством и безопасностью пищевой продукции зависит от лабораторного обеспечения и аналитического контроля. Существует необходимость совершенствования используемых и применения новых, более информативных методов анализа сырья и пищевой продукции, в том числе алкогольной.

В настоящее время имеется потребность в современных инструментальных методах определения показателей вин для текущего контроля качества продукции. К ним можно отнести хроматографию и капиллярный электрофорез [1]. Однако их применение для мониторинга качества вин сдерживается дороговизной оборудования и реактивов высокой степени чистоты, а также сложностью эксплуатации приборов и интерпретации полученных данных [1, 2]. Кроме того, их использование предполагает предварительное выделение искомым компонентов, что приводит к потере важной информации о составе объекта испытаний вследствие агрессивных физико-химических воздействий [3].

К числу перспективных и лишенных таких недостатков относятся неразрушающие методы аналитического контроля, в частности, спектроскопии. Спектроскопический анализ позволяет идентифицировать компоненты химического состава вина по функциональным группам, содержащимся в молекулах этих веществ, на основе полученных сигналов по уровню вибраций межатомных связей под действием сканирующего излучения [3]. Инфракрасный спектр продукта позволяет выявлять большое количество соединений, образующихся в ходе технологического процесса его получения, что позволяет осуществлять текущий контроль путем систематической обработки спектров во времени [4]. Для оценки динамики отслеживаемого процесса важно знать количественное соотношение искомым веществ, что устанавливается по интенсивности полос поглощения, отражающих присутствие соединений с данными функциональными группами в анализируемом продукте, и подготовленным градуировочным характеристикам [5].

Полосы поглощения, лежащие в ближней инфракрасной области, имеющие волновое число 4000...12500 см<sup>-1</sup>, соответствуют вторичным, более слабым колебаниям (обертонам) и их комбинациям. Обертоны в ближней ИК области бывают достаточно выраженными только при больших концентрациях анализируемых объектов и недостаточно четко выражены для веществ, склонных к образованию таких водородных связей, как этиловый спирт [3, 6]. Наличие множества комбинаций достаточно слабых обертонов требует при интерпретации спектров поочередного рассмотрения узких диапазонов волновых чисел, каждый из которых по градуировочным характеристикам соответствует какому-либо одному веществу [7]. Установление градуировочных характеристик при ближней ИК спектроскопии проводится, как правило, с помощью двухкомпонентных модельных растворов, содержащих искомое вещество и воду. Для определения большого количества соединений требуется как минимум наличие банка химически чистых веществ, несколько растворов каждого вещества различной концентрации. Необходимость регулярной длительной градуировки не позволяет использовать спектрометр, работающий в ближней ИК области, в текущем контроле качества продукции на постоянной основе [3].

Средняя инфракрасная область при волновых числах порядка 2000 см<sup>-1</sup>, в отличие от ближней, содержит первичные колебания большинства функциональных групп органических соединений (–ОН, –NH, –СН и –SH), что позволяет идентифицировать искомые компоненты вина по отдельным полосам

поглощения и обеспечивает объем информации о химическом составе сканируемого образца, превышающий информацию, полученную при спектроскопии в ближней ИК области [3, 8].

Вино – достаточно сложный по составу продукт, различные компоненты которого имеют одинаковые функциональные группы, нахождение концентрации единственного вещества по «общей» группе возможно лишь при условии, что определяемое вещество находится в известном, постоянном количественном соотношении с веществами, имеющими эту же группу, чтобы обеспечить выделение характеристической полосы поглощения для искомого вещества и установление градуировочной характеристики по ней. Так, гидроксильную группу содержат вода, спирты, органические кислоты, фенольные вещества и др., поэтому полоса поглощения гидроксильной группы имеет недостаточную резкость и специфичность, чтобы использовать ее для количественного анализа [5]. Решение проблемы состоит в использовании для градуировки в качестве образца сравнения испытуемого продукта, что обеспечит нужное соотношение компонентов и исключит необходимость приготовления большого количества модельных растворов [9].

Принимая во внимание приведенные аспекты, представляет интерес рассмотрение возможности использования спектроскопии в средней ИК области в качестве экспрессного метода для текущего анализа состава вин. При этом следует учитывать, что значительный объем информации, содержащийся в среднем ИК спектре, предъявляет повышенные требования к статистической обработке данных. В этой связи, необходимо использовать метод, устойчивый к помехам, позволяющий определять искомые показатели вина по «зашумленной» выборке исходных данных ИК спектров [10].

Среди основных компонентов вина наиболее строгие требования по точности их определения предъявляются к этанолу и органическим кислотам. Каждый из перечисленных компонентов влияет на качество продукта, поэтому их достоверное количественное определение важно для текущего контроля состава вин [11, 12].

Цель данной работы – исследование возможности применения спектроскопии в средней ИК области для оценки качества виноградных вин.

### Объекты и методы исследования

Объектами исследования служили модельные многокомпонентные образцы на основе двух образцов сухого белого виноградного вина сорта Шардоне винодельческого предприятия «Фанагория».

Физико-химические показатели сухого белого вина, указанные на маркировке продукции, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические показатели вин  
Table 1. Physical and chemical indicators of wine

Наименование показателя	Значение показателя	
	Вино 1	Вино 2
объемная доля этилового спирта, % об.	12,9	11,1
массовая концентрация титруемых кислот, г/дм <sup>3</sup>	7,0	6,8

Модельные образцы готовили путем разбавления вина дистиллированной водой с последующим добавлением в полученные растворы заданных количеств лимонной кислоты и этилового ректификованного спирта. Для приготовления образцов использовали дистиллированную воду по ГОСТ Р 58144-2018, спирт этиловый ректификованный по ГОСТ 5962-2013 и лимонную кислоту по ГОСТ 908–2004.

Контролируемые показатели испытуемых модельных образцов: массовая концентрация титруемых кислот и объемная доля этилового спирта.

Массовую концентрацию титруемых кислот и объемную долю этилового спирта в образцах определяли референтными методами по ГОСТ 32114-2013 и ГОСТ 32095-2013 соответственно, и методом ИК-Фурье спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения.

Были приготовлены два набора стандартных образцов.

Первый набор содержал пять образцов, приготовленных на основе вина, содержащего 12,9% спирта, и пять образцов на основе вина с 11,1% спирта. Результаты определения контролируемых показателей образцов референтными методами приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Объемная доля этилового спирта и массовая концентрация титруемых кислот в образцах, приготовленных с добавлением воды и этилового спирта

Table 2. Alcohol by volume and mass concentration of titratable acids in standard samples prepared by adding water and ethyl alcohol

Используемое для приготовления образца вино	Объемная доля этилового спирта в образце, % об.	Массовая концентрация титруемых кислот в образце, г/дм <sup>3</sup>
Вино 1	2,07	1,09
	4,91	2,59
	8,01	4,22
	11,11	5,86
	14,55	6,67
Вино 2	2,07	1,25
	4,91	3,19
	8,01	5,00
	11,11	6,95
	14,52	6,67

Второй набор содержал пять образцов, приготовленных на основе вина, содержащего 7,0 г/дм<sup>3</sup> титруемых кислот, и пять образцов на основе вина, содержащего 6,8 г/дм<sup>3</sup> кислот. Образцы готовились путем разбавления вина дистиллированной водой с последующей корректировкой титруемой кислотности лимонной кислотой. В таблице 3 приведены результаты определения титруемой кислотности образцов второго набора по действующему стандарту.

Таблица 3 – Массовая концентрация титруемых кислот в образцах, приготовленных добавлением воды и лимонной кислоты

Table 3. Mass concentration of titratable acids in standard samples prepared by adding water and citric acid

Используемое для приготовления образца вино	Массовая концентрация титруемых кислот в образце, г/дм <sup>3</sup>
Вино 1	2,99
	5,98
	9,03
	11,98
	14,98
Вино 2	3,06
	6,12
	9,00
	11,97
	14,96

### Исследование методом ИК спектроскопии

Инфракрасная спектроскопия относится к молекулярной абсорбционной спектроскопии, в которой измеряется интенсивность инфракрасного излучения, поглощенного веществом. В зависимости от метода регистрации ИК спектра излучения, выделяют спектры отражения, пропускания и поглощения. Разновидностью спектроскопии отражения является метод нарушенного полного внутреннего отражения.

Методом нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) на ИК Фурье-спектрометрах Alpha и Vertex 70 марки «Брукер» были сняты спектры приготовленных образцов по стандартной методике [9]. По критериям четкости спектров относительно разделения пиков и соотношения сигнал/шум были выбраны следующие параметры: фазовая корреляция по Форману; аподизация – по Нортону–Биру, средневыраженная; интерполяция – 2; фазовое разрешение – 8; разрешение по волновому числу – 2 см<sup>-1</sup>;

повторность измерения – 3 спектра; время сканирования образцов и фона – 32 снимка. Интервал измерения для спектрометра Vertex 70 составил 4500–600 см<sup>-1</sup>, Alpha– 4000–500 см<sup>-1</sup>.

В качестве фонового спектра был принят спектр воздуха с атмосферной компенсацией. Полученные спектры были откорректированы методом базовой линии [13]. Коррекция осуществлялась в интерактивном режиме с выстраиванием базовой линии ручной установкой точек. Базовая линия после добавления необходимых точек до коррекции, приведена на рисунке 1 (верхнее окно). Корректированная (спрямленная) базовая линия показана в нижнем окне рисунка 1.

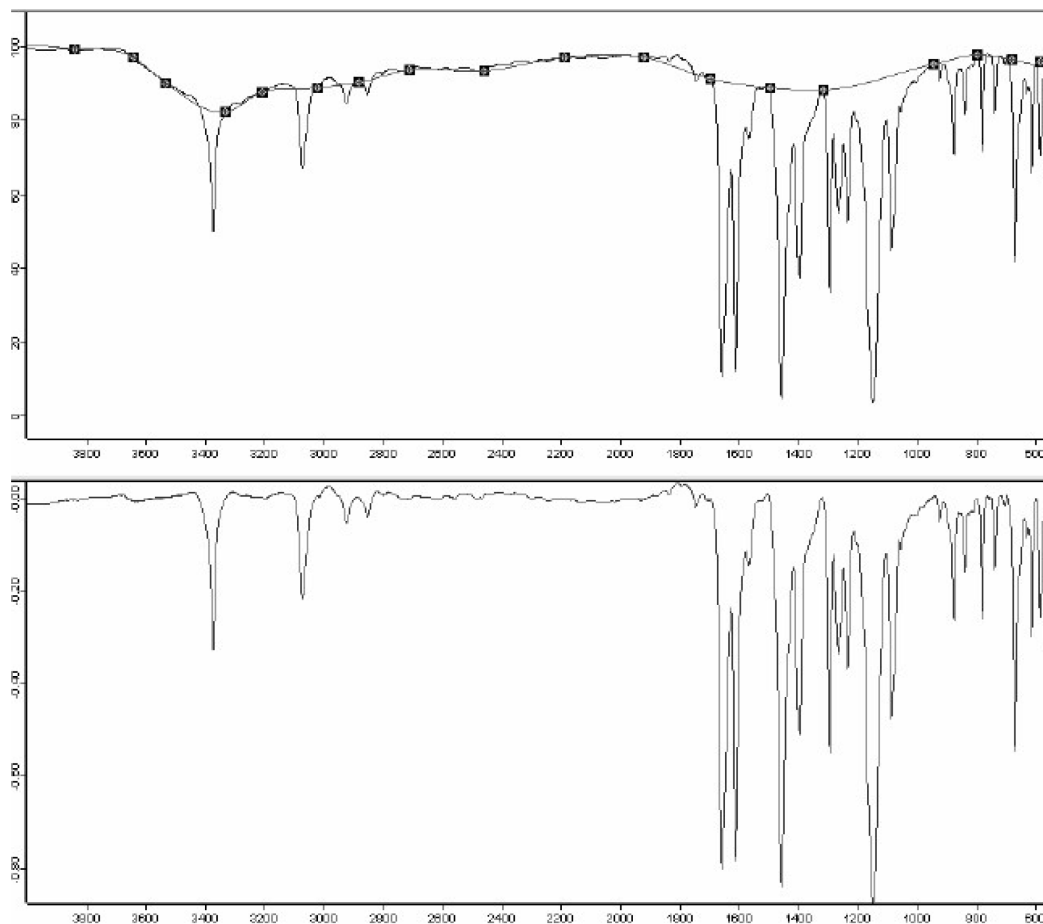


Рисунок 1 – Коррекция базовой линии  
Figure 1. Baseline correction

Определение содержания спирта и органических кислот в винах описываемым методом требует построения градуировочных графиков на основе испытаний по референтным методам приготовленных образцов, которые могут затем использоваться для анализа проб с неизвестным составом. Графики были построены с помощью методов А и С алгоритма Quant 1 в программе OPUS (рисунок 2).

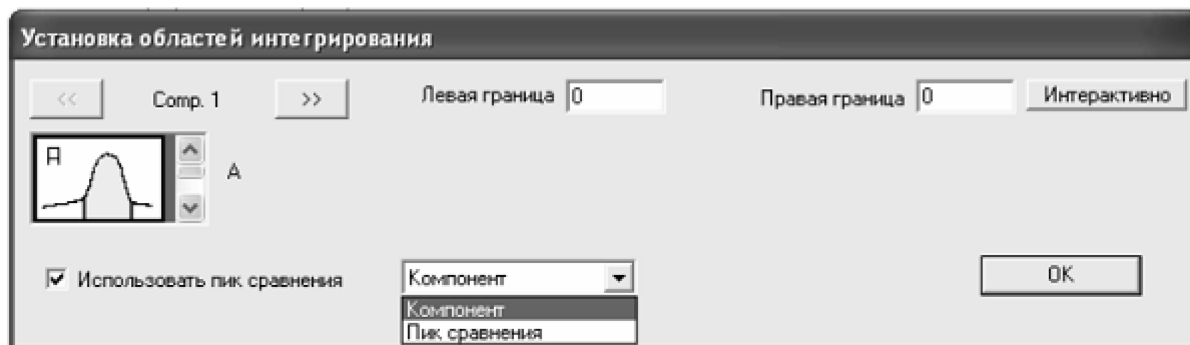


Рисунок 2 – Выбор метода градуировки  
Figure 2. Calibration method selection



В соответствии с рекомендациями справочного раздела программы OPUS при построении градуировочного графика для нахождения концентрации органических кислот был выбран метод А. Ширина соответствующей полосы поглощения была установлена в пределах 1730–1720 см<sup>-1</sup>.

Программа интегрирует приближенными численными методами функцию  $f$ , описывающую зависимость интенсивности поглощения от волнового числа, выдавая конечный результат – площадь фигуры под кривой  $\tilde{x} = f(x)$ , где  $x$  – неизвестное истинное значение интенсивности поглощения ИК волн с указанным волновым числом,  $\tilde{x}$  – его приближение, найденное методом А.

Машина фактически «скрывает» от пользователя исходную функцию, заменяя ее конечной разностью

$$A \Big|_{v_1}^{v_2},$$

где  $A$  – метод приближенного интегрирования;

$v_1, v_2$  – пределы интегрирования (в данном случае – 1730 и 1720 см<sup>-1</sup> соответственно), поэтому статистические характеристики функции  $f$  не поддавались оценке, и достоверность метода можно было оценить по косвенным признакам – разбросу выходных показателей  $\tilde{x}$ , – для чего следовало найти закон распределения.

Аналогичным образом исследовали градуировочный график для спирта, построенный методом С на полосе 1125–1000 см<sup>-1</sup>.

Далее для оценки достоверности градуировочной функции находили экспериментальный закон распределения и сравнили с теоретическим законом, предполагаемым градуировочной функцией, при доверительной вероятности 0,95.

Соответствие уравнения градуировки экспериментальному закону распределения оценивалось квадратичным критерием Пирсона

$$\chi^2 = n \frac{\sum_{i=1}^n (p_i^* - p_i)^2}{p_i},$$

где  $n = 10$  – число образцов;

$p$  – вероятность по теоретическому закону распределения (градуировочной функции);

$p^*$  – вероятность по экспериментальному закону.

### Результаты и обсуждение

Принимая во внимание положение, что количественное определение этилового спирта и органических кислот в винах по их «общей» группе – ОН невозможно, установили корреляцию между объемной долей спирта и интенсивностью поглощения группы С–О [5]. Данная группа присутствует и в других компонентах вина, в частности, кислотах, где является частью группы О=С–ОН. Вклад этанола в интенсивность поглощения группы С–О сравнительно вкладу мешающих компонентов достаточно велик, чтобы влияние последних было пренебрежимо слабым [5].

Анализ спектров первого набора образцов позволил локализовать полосу поглощения группы С–О между 1125 и 1000 см<sup>-1</sup> (рисунок 3). На рисунках 3 и 4 также можно наблюдать снижение интенсивности этой полосы поглощения вследствие разбавления образцов. В то же время высота максимума на этом участке даже при наибольшем разбавлении осталась достаточной как для визуального определения, так и для автоматизированной локализации. Это показывает высокую чувствительность описываемого метода к присутствию этилового спирта в вине.

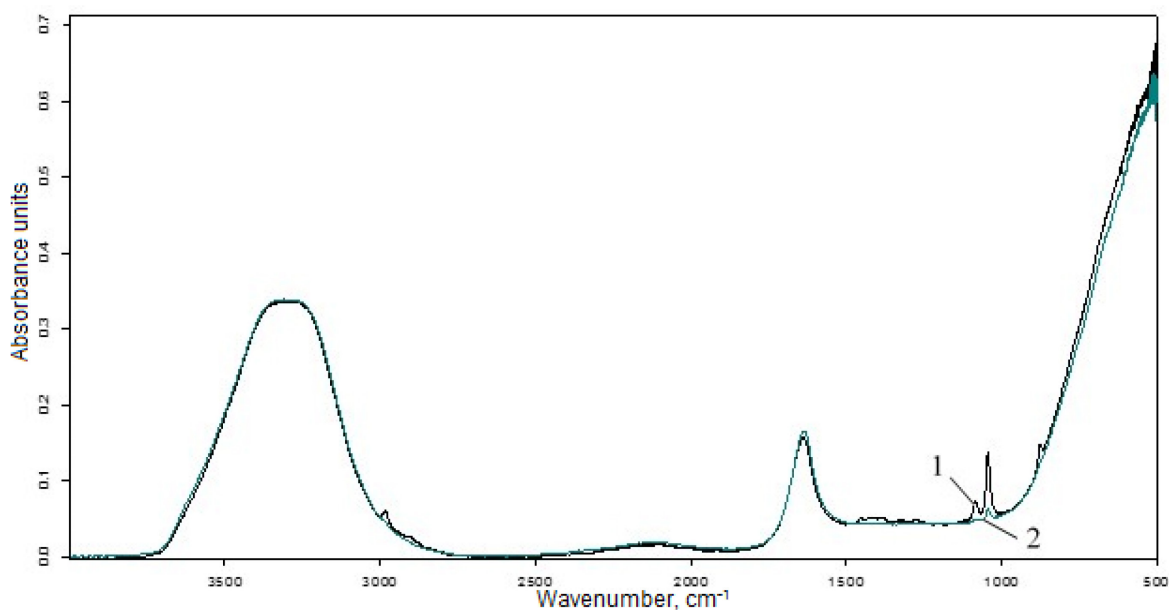


Рисунок 3 – Спектры образца без разбавления (1) и с разбавлением (2)  
 Figure 3. Spectra of the sample without (1) and with dilution (2)

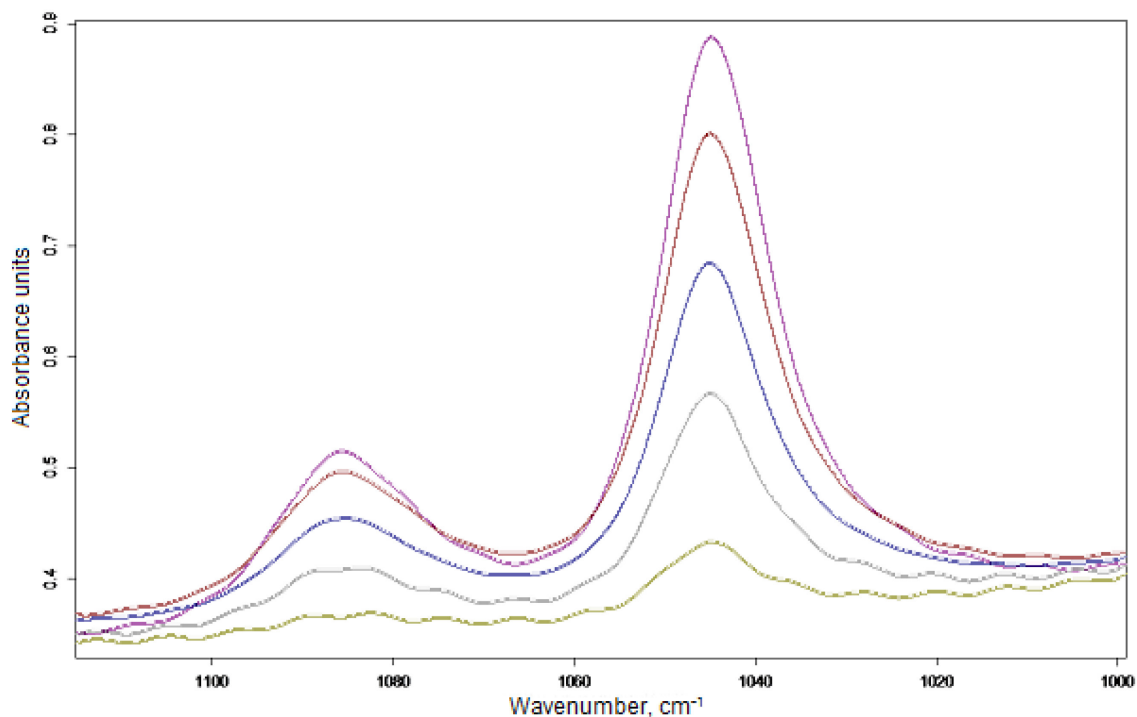


Рисунок 4 – Снижение интенсивности полосы поглощения группы C–O при разбавлении  
 Figure 4. The decrease in the absorption band intensity of C–O group upon dilution

Характерная особенность органических кислот – наличие карбоксильной группы, имеющей полосу поглощения в интервале 1750...1705  $\text{cm}^{-1}$  [12]. Анализ спектра второго набора образцов позволил локализовать полосу поглощения группы C=O между 1730 и 1720  $\text{cm}^{-1}$  (рисунок 5). Ослабление интенсивности этой полосы поглощения при разбавлении также недостаточно для ее «разглаживания», откуда следует, что описываемый метод имеет высокую чувствительность и к органическим кислотам вина.

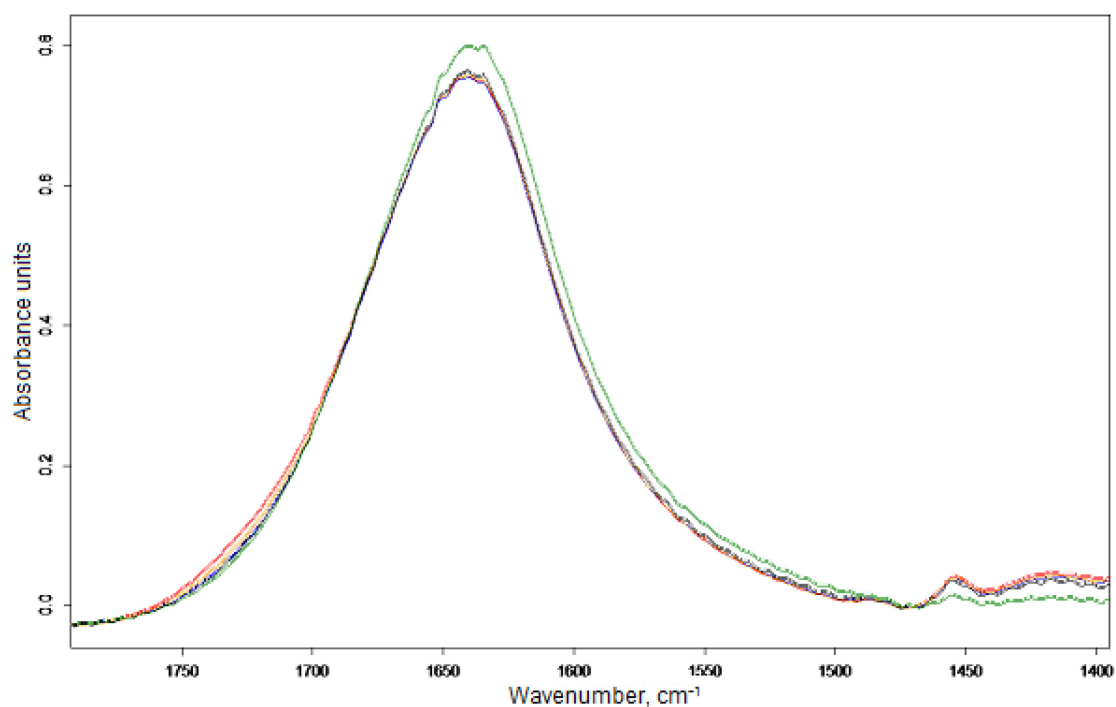


Рисунок 5 – Полоса поглощения C=O группы

Figure 5. Absorption band of C=O group

Сказанное относится к качественному определению в винах спирта и органических кислот, то есть к потенциальной возможности применения данного метода к спирту и кислотам вина. Для количественного определения было необходимо проверить устойчивость метода к помехам, определив с помощью данного метода искомые показатели вин по зашумленной выборке значений  $\tilde{x}$ .

Чтобы объективно оценить статистические показатели метода, требуется тестировать его на выборках, отличных от тех, на которых производилась градуировка, то есть полученных из других наборов образцов. Однако в таком случае тестированию может мешать распределение внутри новых выборок.

Искомые показатели образцов исходных и разбавленных вин извлекаются из генеральной совокупности, внутри которой в силу закона больших чисел действует нормальное распределение. Это приводит к появлению составляющей шума, связанной с распределением в генеральной совокупности, что может повлиять на результат оценки помехоустойчивости. Существуют способы минимизации влияния на эту оценку подобного шума [14]. В данном же эксперименте такое влияние устранялось тем, что шум, накладываемый на исходную выборку, генерировался искусственно, поэтому распределение результатов генерации было независимым.

Амплитуда искусственного шума выбиралась согласно требованиям ГОСТ 32095 и ГОСТ 32114, которые устанавливают требования к воспроизводимости результатов определения концентрации этилового спирта и титруемых кислот как разности двух независимых единичных измерений показателя одним методом одного и того же образца. При доверительной вероятности 0,95 эта разность для массовой концентрации титруемых кислот в винах и виноматериалах не должна превышать 0,2 г/дм<sup>3</sup>, для объемной доли этилового спирта – 0,19%. Поэтому было принято следующее условие модельного эксперимента: пусть результаты арбитражных анализов имеют разброс до 0,2 г/дм<sup>3</sup> титруемых кислот и 0,19% спирта. Градуировочные функции при этом должны сохранять справедливость по формуле Пирсона.

Из первого набора образцов исходных и разбавленных вин была получена градуировочная функция для содержания этилового спирта. Коэффициент корреляции функции составил 0,989, коэффициент детерминации – 0,977.

$$y = 1,339 + 0,869\tilde{x},$$

где  $\tilde{x}$  – интегральная площадь;

$y$  – содержание компонента.



Градуировочная функция для содержания органических кислот, найденная по второму набору образцов, характеризовалась коэффициентом корреляции 0,987 и коэффициентом детерминации 0,975 и имела вид

$$y = 38,708 + 229,774x.$$

Значения коэффициентов корреляции и детерминации обеих функций, близкие 1, показывают, что метод достаточно чувствителен к интенсивности поглощения групп С–О и С=О, чтобы проводить с его помощью количественное определение спирта и органических кислот даже при незначительной мощности соответствующих полос, а также то, что мешающее влияние других веществ, содержащих эти функциональные группы, незначительно и не искажает результаты определения.

Проведенный с этими функциями модельный эксперимент показал, что описанный метод позволяет проводить измерение содержания в винах этилового спирта и титруемых кислот при условии, что используемые при градуировке арбитражные данные соответствуют приведенным выше требованиям ГОСТ 32095 и ГОСТ 32114 к воспроизводимости.

Для этого на основе спектров двух наборов образцов исходных и разбавленных вин одного сорта были подобраны параметры методов градуировки (границы полос поглощения и способы приближенного автоматизированного вычисления интенсивности полос) и найдены уравнения, позволяющие определять искомые показатели вин непосредственно из спектров образцов. Отмечено, что диапазоны полос поглощения в целом соответствуют ранее опубликованным данным, но как левые, так и правые их границы оказались смещенными, что закономерно, поскольку полосы поглощения могут смещаться от сорта к сорту вина (но не от партии к партии). Следовательно, эксперимент показал, что полосы поглощения, соответствующие характеристическим группам искомого вещества (спирта и кислот) в образцах вин различных партий одного сорта совпадают.

Исходя из этого, в рамках описываемого метода определения содержания спирта и органических кислот можно рекомендовать прибегать к приготовлению новых наборов образцов и повторной градуировке лишь при анализе нового сорта, на основе которого еще не были получены градуировочные графики. Уже имеющиеся графики могут использоваться неограниченно (для столовых вин), в чем состоит главное достоинство метода. Что касается марочных вин, для каждой партии нужна отдельная градуировка, поскольку характеристики таких вин значительно отличаются внутри сорта на одной и той же винодельческом хозяйстве [9, 15]. Однако большие затраты на контроль качества марочных вин неизбежны при любом методе анализа.

### Заключение

Исследование показало возможность определения объемной доли этилового спирта и массовой концентрации органических кислот в виноградных винах методом ИК спектроскопии в среднем диапазоне.

Модельный эксперимент, проведенный с найденными градуировочными функциями, показал, что описанный спектроскопический метод позволяет проводить количественное определение этилового спирта и органических кислот в винах при условии, что данные, применяемые для градуировки, имеют воспроизводимость в пределах, установленных соответствующими стандартами.

### References

1. Yakuba Yu.F. Temerdashev Z.A. Chromatographic methods in the analysis and identification of grape wines. *Analytics and Control*. 2015, V. 19, no. 4, pp. 288–301 (In Russian).
2. Böcker J. *Chromatographie : instrumentelle Analytik mit Chromato-graphie und Kapillarelektrophorese*. Würzburg : Vogel, LaborPraxis, 1997.
3. Lohumi S., Lee S., Lee H., Cho B.-K. A review of vibrational spectroscopic techniques for the detection of food authenticity and adulteration. *Trends in Food Science & Technology*. 2015, V. 46, no. 1, pp. 85–98.
4. Dos Santos C.A.T., Pascoa R.N.M.J., Lopes J.A. A review on the application of vibrational spectroscopy in the wine industry: From soil to bottle. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2017, V. 88, pp. 100–118.
5. Debebe A., Redi-Abshiro M., Chandravanshi B.S. Non-destructive determination of ethanol levels in fermented alcoholic beverages using Fourier transform mid-infrared spectroscopy. *Chem Cent J*. 2017, V. 11. URL: <https://ccj.springeropen.com/articles/10.1186/s13065-017-0257-5> (accessed 13.06.2019).

6. Ozaki Y., McClure W.F., Christy A.A. *Near-infrared spectroscopy in food science and technology*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. 408 p.
7. Cozzolino D. The role of visible and infrared spectroscopy combined with chemometrics to measure phenolic compounds in grape and wine samples. *Molecules*. 2015, V. 20, pp. 726–737.
8. Friedel M., Patz C.D., Dietrich H. Comparison of different measurement techniques and variable selection methods for FT-MIR in wine analysis. *Food Chemistry*. 2013, V. 141, pp. 4200–4207.
9. Resolution OIV/OENO 390/2010 guidelines on infrared analysers in oenology. *The International Organisation of Vine and Wine*. URL: <http://www.oiv.int/en/technical-standards-and-documents/resolutions-of-the-oiv/oenology-resolutions> (accessed 13.06.2019).
10. Aleixandre-Tudo J.L., Nieuwoudt H., Aleixandre J.L., Du Toit W. Chemometric compositional analysis of phenolic compounds in fermenting samples and wines using different infrared spectroscopy techniques. *Talanta*. 2018, V. 176, pp. 526–536.
11. Peng B., Ge N., Cui L., Zhao H. Monitoring of alcohol strength and titratable acidity of apple wine during fermentation using near-infrared spectroscopy. *LWT – Food Science and Technology*. 2016, V. 66, pp. 86–92.
12. Regmi U., Rai K.P., Palma M. Determination of organic acids in wine and spirit drinks by fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy. *J. Food Sci. & Technol. Nepal*. 2012, V. 7, pp. 36–43.
13. Lasch P. Spectral pre-processing for biomedical vibrational spectroscopy and microspectroscopic imaging. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2012, no. 117, pp. 100–114.
14. Hyvärinen A., Oja E. Independent component analysis: algorithms and applications. *Neural networks*. 2000, V. 13, no. 4–5, pp. 411–430.
15. Guguchkina T.I., Markovskiy M.G., Popandopulo V.G. Features of testing wines using an analyzer Bruker Alpha. *Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex – healthy nutrition products*. 2016, no. 5(13), pp. 95–96 (In Russian).

Статья поступила в редакцию 09.08.2019