

УДК 663.2 + 543
EDN QMGULA

ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Метод атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой для определения содержания макро- и микроэлементов в винах

Аникина Н.С.^{1✉}, Сластья Е.А.¹, Гниломедова Н.В.¹, Весютова А.В.¹, Ермихина М.В.¹, Штельцер Е.М.¹, Пелипасов О.В.^{2,3}, Трунова В.А.³, Полякова Е.В.^{3,4}, Комин О.В.^{2,3}

¹ Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарах» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Ялта, Россия;

² Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск, Россия;

³ ВМК-Оптоэлектроника, г. Новосибирск, Россия;

⁴ Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск, Россия.

✉ hv26@mail.ru

Аннотация. Работа посвящена разработке методики определения мультиэлементного состава винодельческой продукции с географическим статусом с использованием отечественного атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой «Гранд-ИСП» («ВМК-Оптоэлектроника», Россия), ранее не применявшегося для анализа винопродукции. В качестве объектов исследования использовались виноматериалы, полученные в условиях микровиноделия из винограда автохтонных, интродуцированных и селекционных сортов, а также готовая продукция различных производителей. Разработана и экспериментально обоснована методология определения мультиэлементного состава вин с последующим построением профилей образцов и проведением сравнительной характеристики виноматериалов, произведённых из винограда различного географического происхождения. Установлены доверительные интервалы измерений для 13 элементов в 100 образцах виноматериалов, получены первые данные по продукции из восьми виноградарско-винодельческих районов Крыма. Показана принципиальная возможность использования отечественного аналитического оборудования для задач аутентификации вин с географическим статусом. Полученные многокомпонентные массивы нормализованных данных могут служить основой для формирования обучающих выборок при применении методов машинного обучения, включая нейросетевые модели. Результаты исследования могут быть использованы при создании и пополнении регионального банка данных подлинной винодельческой продукции Крыма, а также при разработке новых подходов к идентификации и контролю качества вин.

Ключевые слова: вина с географическим статусом; идентификация винопродукции; атомно-эмиссионные спектрометры; мультиэлементный состав вин; нейросетевые методы идентификации вин; виноградо-винодельческий район.

Для цитирования: Аникина Н.С., Сластья Е.А., Гниломедова Н.В., Весютова А.В., Ермихина М.В., Штельцер Е.М., Пелипасов О.В., Трунова В.А., Полякова Е.В., Комин О.В. Метод атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой для определения содержания макро- и микроэлементов в винах // «Магарах». Виноградарство и виноделие. 2025;27(2);140-147. EDN QMGULA.

ORIGINAL RESEARCH

Method of atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma for determining the content of macro- and microelements in wines

Anikina N.S.^{1✉}, Slastyia E.A.¹, Gnilomedova N.V.¹, Vesytova A.V.¹, Ermikhina M.V.¹, Shtelzer E.M.¹, Pelipasov O.V.^{2,3}, Trunova V.A.³, Polyakova E.V.^{3,4}, Komin O.V.^{2,3}

¹ All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking "Magarach" of the National Research Centre "Kurchatov Institute", Yalta, Russia;

² Institute of Automation and Electrometry Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russia;

³ VMK-Optoelectronics, Novosibirsk, Russia;

⁴ Institute of Inorganic Chemistry named after A.V. Nikolaev Siberian Branch of the RAS.

✉ hv26@mail.ru

Abstract. This study presents the development and validation of a methodology for determining the multi-element composition of wine products with geographical indication using Russian-made inductively coupled plasma atomic emission spectrometer (ICP-AES) "Grand-ICP" ("VMK-Optoelektronika", Russia), which had not previously been applied to wine analysis. The research objects included wine materials obtained under microvinification conditions from autochthonous, introduced and bred grape varieties, as well as finished products from various manufacturers. The methodology for multi-element analysis was developed and experimentally substantiated, followed by the construction of element profile diagrams and a comparative assessment of wine samples produced from grapes of different geographical origins. Confidence intervals for the measurement of 13 elements were established based on 100 wine samples. Initial data were obtained for products from eight viticulture and winemaking regions of Crimea. The study demonstrated the potential applicability of domestically produced analytical equipment for authentication of wines with geographical indication. The resulting multivariate normalized datasets can serve as the foundation for training datasets in machine learning applications, including neural network models. The findings may be used to establish and expand regional database of genuine Crimean wine products, as well as to develop new approaches to identification and quality control of wines.

Key words: wines with geographical indication; identification of wine products; atomic emission spectrometers; multi-element composition of wines; neural network methods of wine identification; viticulture and winemaking region.

For citation: Anikina N.S., Slastyia E.A., Gnilomedova N.V., Vesytova A.V., Ermikhina M.V., Shtelzer E.M., Pelipasov O.V., Trunova V.A., Polyakova E.V., Komin O.V. Method of atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma for determining the content of macro- and microelements in wines. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2025;27(2);140-147. EDN QMGULA (in Russian).

Введение

Возрастающая осведомленность отечественных покупателей винопродукции требует обеспечения потребительских предпочтений в направленности расширения ассортимента вин с географическим статусом. С одной стороны, это ставит задачу насыщения рынка данным видом продукции, а с другой, обуславливает необходимость подтверждения ее подлинности и происхождения. Фальсификация винопродукции обладает экономической выгодой для ее изготовителей и наносит существенный вред имиджу виноградо-винодельческой отрасли, подрывая доверие потребителей к добросовестным производителям. Последнее не способствует развитию конструктивной конкуренции на рынке и негативно сказывается как на рынке в целом, так и в части обеспечения интересов потребителя [1-3].

Качество и характер вина отчасти определяются терруаром, а содержание микро- и макроэлементов в винах является одним из критериев географической идентификации напитка. Это обусловлено тем, что регион выращивания винограда оставляет «геохимический след», который в первую очередь обусловлен спецификой содержания металлов в почве [4-8]. Для определения региональности вин применяют различные методические подходы, в частности, большое внимание уделяется мультиэлементному анализу проб с использованием спектроскопических методов, таких как атомно-эмиссионная спектроскопия и масс-спектрометрия индуктивно-связанной плазмы [9-12]. Полученные мультиэлементные массивы данных систематизированы в базах данных для эффективной математической обработки с применением хемометрических методов для классификации и аутентификации вин [13-14].

Наиболее перспективными для внедрения в сфере исследования вин и подобных напитков представляются методы атомно-эмиссионной спектроскопии плазмы (ИСП-АЭС и МП-АЭС), демонстрирующие быстрый сбор данных о содержании нескольких десятков элементов одновременно и позволяющих использовать спектральные картины в обработке данных без идентификации состава [15-17].

«ВМК-Оптоэлектроника» (Россия) выпускает «Спектрометры оптические Гранд», которые в 2023 году внесены в Госреестр средств измерений РФ под № 89108-23 [18]. Новое средство измерения «атомно-эмиссионный спектрометр «Гранд-ИСП» применяется для определения массовых долей элементов в природных и промышленных материалах, почвах, металлах и их сплавах, однако ра-

нее это оборудование не применялось для анализа элементного состава винопродукции.

Цель работы – апробация методики определения мультиэлементного состава вин атомно-эмиссионной спектроскопией индуктивно-связанной плазмы на отечественном спектрометре «Гранд-ИСП».

Объекты и методы исследования

Объектами исследований являлись виноматериалы, выработанные в условиях микровиноделия из винограда интродуцированных, автохтонных и селекционных сортов, готовая продукция разных производителей.

Исследования проводились в следующих виноградо-винодельческих районах (ВВР) Крыма (Территориальное деление виноградопригодных земель Российской Федерации. <https://rvwa.ru/images/07e6/06/08/59871.pdf>): 03. Восточный степной (ВВР3); 04. Горно-долинный (ВВР4); 05. Горно-долинно-приморский (ВВР5); 07. Западный приморско-степной (ВВР7); 08. Крымский западно-приморский предгорный (ВВР8); 10. Предгорный (ВВР10); 12. Южный берег Крыма (ВВР12); 13. г. Севастополь (ВВР13).

Переработка винограда предусматривала два технологических этапа:

1) по белому способу – гребнеотделение и дробление винограда, отделение сусла, сульфитация ($75 \text{ мг/дм}^3 \text{ SO}_2$), отстаивание, брожение, дображивание и осветление;

2) по красному способу – гребнеотделение и дробление винограда, сульфитация ($75 \text{ мг/дм}^3 \text{ SO}_2$), брожение мезги до $1/3$ остаточных сахаров, отделение сусла, дображивание и осветление.

Брожение проводили с применением дрожжей 47-К (I-527) из Коллекции микроорганизмов виноделия «Магарач». После окончания брожения в виноматериалы вносили диоксид серы из расчета его общего содержания 150 мг/дм^3 .

Все исследованные образцы виноматериалов и вин по значениям физико-химических показателей соответствовали требованиям НД (ГОСТ 32030–2013 Вина столовые и виноматериалы столовые. Общие технические условия).

Определение содержания макро- и микроэлементов в винах проводили на отечественном атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой «Гранд-ИСП» («ВМК-Оптоэлектроника», Россия) на базе Института автоматики и электрометрии СО РАН (рис. 1).

Поставленная методика обеспечивает быстрый сбор данных – для единичного измерения достаточно 15 с, статистическая выборка из 10 измерений одной и той же пробы занимает от 3 до 5 мин. Данный режим позволяет производить за



Рис. 1. Атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно-связанной плазмой «Гранд-ИСП» (Россия)

Fig. 1. Atomic emission spectrometer with inductively coupled plasma Grand-ICP (Russia)

1 ч работы прибора анализ от 10 до 20 проб и за рабочую сессию продолжительностью 8 ч позволяет провести изучение около 100 проб, 20 калибровочных растворов и выделить время на стабилизацию плазмы. Оптимизированные параметры работы прибора представлены в табл. 1.

Система ввода пробы включает горелку 31-808-3557 (GlassExpansion, Австралия) с инжектором 750-83/1.8 (PGB, США), двухпроходную циклонную распылительную камеру 20-808-8882HE (GlassExpansion, Австралия) и пневматический распылитель с технологией размытия потока (FlowBlurring) («ВМК-Оптоэлектроника», Россия, г. Новосибирск).

Приготовление растворов сравнения. Для приготовления растворов использовали деионизованную воду (ГОСТ 52501-2005, 1-я степень чистоты), азотную кислоту 70 % особо чистую (ос. ч.), спирт этиловый медицинский 95 %, государственные стандартные образцы (ГСО) катионов металлов K, Na, Ca и Mg (ГСО 8092-94, ГСО 7474-98, ГСО 7682-99, ГСО 7681-99) по 1,0 г/дм³ и растворы с мультиэлементным составом (МЭС) производства НПП «Скат», г. Новосибирск. МЭС-1 содержал Al, Ca, Cd, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Na, Zn, P (по 50,0 мг/дм³), Li (10,0 мг/дм³). МЭС-2 содержал B, V, Bi, Ga, In, Cu, Ni, Si, Ti (по 50,0 мг/дм³). МЭС-3 содержал As, Pb, Rb, Sb, Se, Sn, Te (по 50,0 мг/дм³), Ba, Sr (по 20,0 мг/дм³), Ag, Au, Be (по 10,0 мг/дм³), Hg (5,0 мг/дм³). В качестве внутреннего стандарта, необходимого для оценки однородности дозирования проб в плазму, применяли раствор иттрия, полученный растворением ос.ч. оксида иттрия в 1 %-ной азотной кислоте, его концентрация в анализируемых растворах составила 1,0 мг/дм³.

Были приготовлены мультиэлементные градуировочные растворы для серий макроэлементов K (1,00 – 200 мг/дм³), Na, Ca, Mg (0,25 – 20,0 мг/

Таблица 1. Параметры работы спектрометра «Гранд-ИСП»

Table 1. Operating parameters of Grand-ICP spectrometer

Параметр	Значение
Мощность плазмы, Вт	1500
Расход аргона, л/мин.	
внешний поток	13
промежуточный поток	0,50
распылительный поток	0,35
Скорость подачи пробы, мл/мин.	1,5
Скорость вращения перистальтического насоса во время анализа, об/мин	7
Положение обзора плазмы	аксиальный радиальный
Базовая экспозиция детектора, мс	40
Полная экспозиция, с	10,5

дм³) и микроэлементов Al, Fe, Mn, Cu, Cr, Zn, P, B, Ba, Sr, Co, Cu, Ni, Li, Cd, As, Pb, Hg, Sn, Si 0,25 – 1,00 мг/дм³. Градуировочные растворы готовили разбавлением соответствующих стандартных образцов (ГСО и МЭС) элементов 1 %-ным раствором азотной кислоты, добавляя также этанол (итоговая концентрация 1,2 %) и внутренний стандарт.

Пробоподготовка. Образцы вин разбавляли в отношении 1 часть вина к 9 частям 1 %-ного раствора азотной кислоты с добавлением внутреннего стандарта. Для этого в полимерную мерную пробирку на 10 мл вносили 1 мл пробы вина, 1 мл раствора иттрия с концентрацией 10 мг/дм³ в 1 %-ной азотной кислоте и доводили до общего объема 10 мл 1 %-ным раствором азотной кислоты в деионизированной воде 1-го класса чистоты.

Градуировка спектрометра по растворам, приготовленным с использованием ГСО и растворам МЭС. Во время измерений использовали два режима обзора плазмы: для определения K, Na, Ca и Mg использовали радиальный, для остальных элементов (Al, Fe, Mn, Cu, Cr, Zn, P, B, Ba, Sr, Co, Cu, Ni, Li, Cd, As, Pb, Hg, Sn) – аксиальный. При выборе аналитических линий и линий внутреннего стандарта руководствовались значениями интенсивности и отсутствием спектральных наложений, а также результатами эксперимента «введено-найденно».

Обработку результатов осуществляли методами математической статистики в программной среде Excel.

Результаты и обсуждение

При адаптации методики определения мультиэлементного состава вин методом атомно-эмиссионной спектрометрии установлено, что содержание этанола и углеводов практически не влияет на результат измерения массовой концентрации эле-

ментов вин.

Показано влияние легкоионизируемых атомов щелочных металлов на точность измерения массовой концентрации других элементов в пробах вина, анализируемых в условиях аргонной индуктивно-связанной плазмы (ИСП-плазмы). Определено, что при подготовке проб к измерению оптимальным является их разбавление 1 %-ным водным раствором азотной кислоты в пропорции 1:9. При уменьшении степени разведения увеличивается эффект матричного влияния щелочных металлов, обуславливающий снижение энергии плазмы и занижение значений измеряемых показателей. ИСП-плазма в аргоне стабильна к проявлениям вторичного переноса энергии от легко ионизируемых атомов щелочных металлов к другим элементам и демонстрирует полную ионизацию всех элементов пробы. Для повышения чувствительности определения элементов, присутствующих в пробах в следовых количествах, допустимо использование неразбавленных проб, а также проб, сконцентрированных в результате озоления.

Статистическая обработка результатов анализа 100 образцов вин позволила установить доверительные интервалы измерений 13 элементов (табл. 2).

Проведена систематизация опытных виноматериалов Крыма по 13 элементам (Al, Ba, Ca, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, P, Si, St, Zn). Образцы были выработаны из интродуцированных и крымских автохтонных белых и красных сортов винограда, выращенного в различных виноградо-винодельческих районах Крыма (табл. 3 и 4). Из представленных данных видно, что диапазоны варьирования изучаемых компонентов значительно расходятся в пределах от 0,037 мг/дм³ содержания меди до 2100 мг/дм³ содержания калия, что типично для подлинных вин. Полученные результаты являются составной частью создаваемого Банка данных подлинной винопродукции Крыма.

Для удобства сопоставления содержания элементов, находящихся в разных порядковых диапазонах концентраций, для упрощения сравнения, анализа и обработки данных, облегчения их интерпретации применяют процедуру их нормализации [19]. Процесс приведения разных масштабов и единиц измерения к единому виду был осу-

ществлен путем минимально-максимальной нормализации. Нормализованное значение x' рассчитывали по формуле, которая преобразует данные таким образом, чтобы все значения находились в диапазоне от 0 до 1:

$$x' = (x - \min(x)) / (\max(x) - \min(x)),$$

где x – исходное значение; $\min(x)$ – минимальное значение в наборе данных; $\max(x)$ – максимальное значение в наборе данных.

Таблица 2. Статистические данные по результатам измерений 100 образцов

Table 2. Statistical data based on the measurement results of 100 samples

Химический элемент	Содержание элемента, мг/дм ³			Доверительный интервал, $\pm\Delta$
	минимальное	максимальное	среднее	
Cu	0,01	1,1	0,161	0,015
Fe	0,1	16	4,669	0,067
Al	0,049	2,5	0,837	0,022
Zn	0,089	8,0	1,785	0,035
Mn	0,036	2,8	1,447	0,020
Ba	0,025	0,92	0,212	0,023
Si	0,1	29	6,741	0,182
St	0,063	7,2	1,531	0,083
Li	0,0091	1,5	0,341	0,008
Ca	3,2	94,0	53,0	0,900
K	450	2100	1012	16,6
Mg	0,15	170,0	102,0	1,4
Na	4,0	99,0	40,0	0,8

Таблица 3. Содержание химических элементов в белых виноматериалах Крыма

Table 3. The content of chemical elements in white wines of Crimea

Сорт винограда	Массовая концентрация, мг/дм ³												
	Cu	Fe	Al	Zn	Mn	Ba	Si	St	Li	Ca	K	Mg	Na
05. Горно-долинно-приморский район													
Шардоне	0,063	0,48	0,063	0,28	0,67	0,082	6,8	0,63	0,13	55	980	69	4,8
08. Крымский западно-приморский предгорный район													
Алиготе	0,081	0,26	0,071	0,29	0,84	0,092	6,2	0,24	0,05	51	870	53	4,9
Кокур белый	0,037	0,22	0,049	0,15	0,46	0,13	5,9	1,6	0,14	70	950	54	5,1
Совиньон блан	0,15	1,2	0,89	0,81	1,3	0,23	8,8	0,69	0,2	53	700	53	29
10. Предгорный район													
Шардоне	0,075	0,23	0,1	0,41	0,97	0,15	4,8	0,43	0,12	69	860	68	7,8
12. Южный берег Крыма													
Алиготе	0,071	0,37	1,5	0,2	0,4	0,095	4,5	0,25	0,064	45	870	53	4,1
Кокур белый	0,075	0,35	0,11	0,24	0,4	0,061	5,3	0,74	0,15	82	870	67	5,7

Пределы изменения переменных задавались с учетом минимальных и максимальных значений в имеющейся выборке данных.

Сравнительный анализ нормализованных данных по мультиэлементному составу виноматериалов из белых и красных сортов винограда различных виноградо-винодельческих районов Крыма представлен на рис. 2. Анализ средних данных белых виноматериалов показал, что наибольшие отклонения между образцами установлены по содержанию катионов меди – 74%, натрия – 33 %, марганца – 29 %, цинка – 37 %, отклонение по другим элементам составляет 3 – 13 %.

Для красных виноматериалов характерна несколько иная

Таблица 4. Содержание химических элементов в красных виноматериалах Крыма

Table 4. The content of chemical elements in red wines of Crimea

Сорт винограда	Массовая концентрация, мг/ дм ³												
	Cu	Fe	Al	Zn	Mn	Ba	Si	St	Li	Ca	K	Mg	Na
05. Горно-долинно-приморский район													
Бастардо магарачский	0,065	0,86	0,093	0,1	0,49	0,05	3,8	0,47	0,11	47	1500	59	7,5
07. Западный приморско-степной район													
Мерло	0,061	0,66	0,14	0,22	0,81	0,14	11	1,6	0,35	52	1800	110	5,4
Бастардо магарачский	0,085	0,35	0,11	0,11	1,3	0,23	11	1,6	0,28	93	2100	130	14
08. Крымский западно-приморский предгорный район													
Каберне-Совиньон	0,066	0,38	0,77	0,36	0,55	0,14	8,5	0,32	0,083	29	450	38	17
Каберне-Совиньон	0,16	1,5	0,49	0,71	1,4	0,45	11	0,83	0,2	51	1200	110	22
Кефесия	0,053	0,51	0,085	0,089	0,9	0,19	5,3	0,55	0,12	42	1000	62	4,6
12. Южный берег Крыма													
Бастардо магарачский	0,072	3,1	0,38	0,13	1	0,029	6,8	0,14	0,022	60	1300	56	6
Каберне-Совиньон	0,062	0,54	0,084	0,18	0,43	0,077	7,4	0,41	0,1	43	1100	86	4
Кефесия	0,09	1,5	0,29	0,21	1,6	0,31	9,5	0,69	0,16	49	980	77	7,2

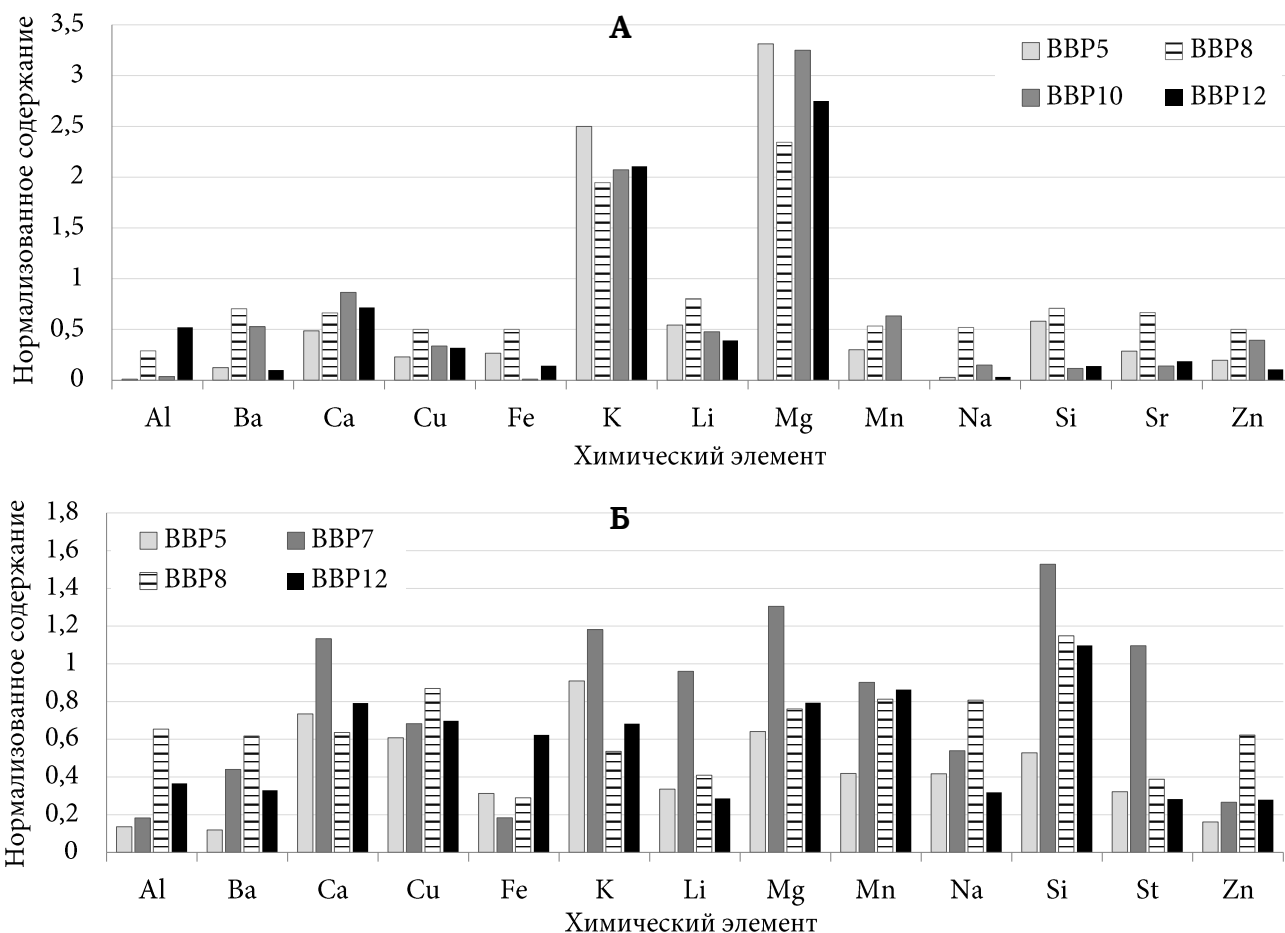


Рис. 2. Сравнительный анализ мультиэлементного состава виноматериалов из различных виноградо-винодельческих районов Крыма: А – белые виноматериалы; Б – красные виноматериалы

Fig. 2. Comparative analysis of multi-element composition of wines from various viticulture and winemaking regions of Crimea: A – white wines; B – red wines

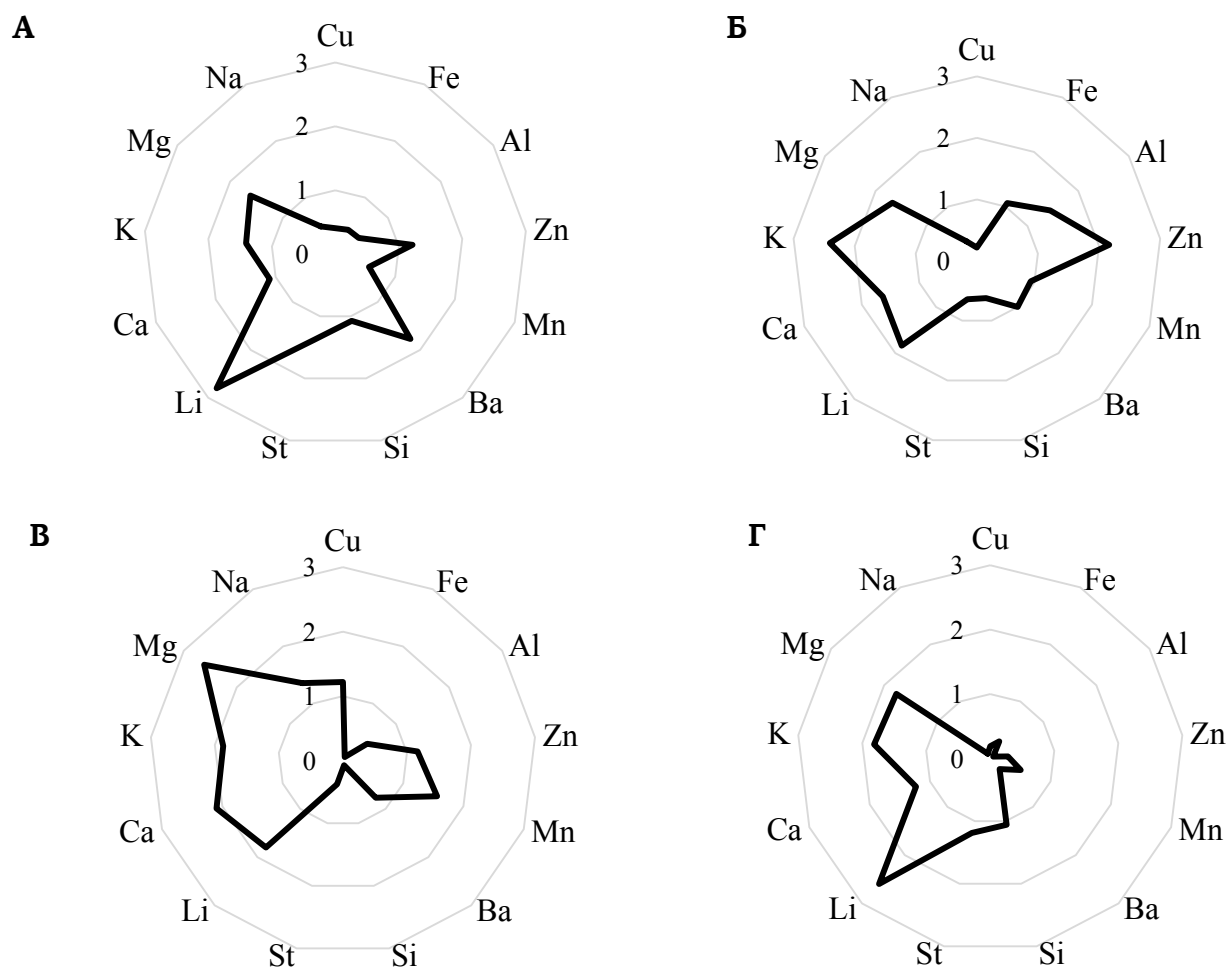


Рис. 3. Профилограммы вин различного географического происхождения (виноград сорта Шардоне): А – Лангедок-Руссильон, Франция; Б – Бургундия, Франция; В – Тамань, Россия; Г – горно-долинно-приморский район, Крым, Россия

Fig. 3. Profilograms of wines of different geographical origins ('Chardonnay' grapevine cultivar): А – Languedoc-Roussillon, France; В – Burgundy, France; С – Taman, Russia; D – Mountain-Valley-Coastal Region, Crimea, Russia

картина: отклонение по содержанию меди составляет 8 %, натрия – 6 %, марганца – 9 %, цинка – 8 %, по другим элементам отклонение составляет 2-7 %. В целом результаты измерений в виноматериалах из красных сортов винограда более близкие по содержанию элементов в разрезе виноградо-винодельческих районов.

Применение процедуры нормализации позволило составить профилограммы 20 образцов вин, выработанных в Крыму в 4 виноградо-винодельческих районах из винограда белых и красных сортов, а также образцов вин российского и зарубежного производства. Сравнительная характеристика готовой продукции из винограда сорта Шардоне различного географического происхождения представлена на рис. 3. Из полученных данных видно, что профиль химических элементов существенно отличается в исследуемых образцах, причем это касается всех 13 элементов.

Выводы

На данном этапе работы была проведена отработка метода определения количественного со-

держания металлов, для однозначного вывода требуется расширение выборки. Полученные результаты дополняют общий банк данных, собранный по результатам предыдущих исследований, и в дальнейшем будут обработаны методами математической статистики, рассчитанными на большие массивы данных.

Проведенные исследования показали принципиальную возможность использования отечественного атомно-эмиссионного спектрометра «Гранд-ИСП» для анализа вин с географическим статусом. Применение принципа нормализации данных обеспечило сопоставимость результатов и может быть распространено на другие компоненты мультиэлементного состава вин. Массивы нормализованных данных могут быть использованы при подборе и создании обучающих выборок спектральных данных, верифицированных по географическому происхождению вин для обучения нейронной сети с целью их идентификации. Исследования будут продолжены.

Источник финансирования

Работа выполнена в рамках государственного задания № FNZM-2022-0005.

Financing source

The work was conducted under public assignment No. FNZM-2022-0005.

Конфликт интересов

Не заявлен.

Conflict of interests

Not declared.

Список литературы / References

1. Chen K., Xue H., Shi Q., Zhang F., Ma Q., Sun J., Liu Ya., Tang Yi., Wang W. Geographical identification of Chinese wine based on chemometrics combined with mineral elements, volatile components and untargeted metabonomics. *Food Chemistry: X*. 2024;22:101412. DOI 10.1016/j.fochx.2024.101412.
2. Хуршудян С.А., Кобелев К.В., Абрамова И.М., Медриш М.Э. Новый подход к расширению идентификационных параметров напитков брожения // Пиво и напитки; 2021;3:29-32. DOI 10.52653/PIN.2021.3.3.002. EDN OWGJQX.
Khurshudyan S.A., Kobelev K.V., Abramova I.M., Medrish M.E. A new approach to expanding the identification parameters of fermented beverages. *Beer and Beverages*. 2021;3:29-32. DOI 10.52653/PIN.2021.3.3.002 (in Russian).
3. Сиюхова Н.Т., Тазова З.Т., Лунина Л.В., Блягоз З.Н. Аналитический контроль качества вин и вино-материалов // Новые технологии. 2022;18(4):78-94. DOI 10.47370/2072-0920-2022-18-4-78-94.
Siyukhova N.T., Tazova Z.T., Lunina L.V., Blyagoz Z.N. Analytical quality control of wines and wine materials. *New Technologies*. 2022;18(4):78-94. DOI 10.47370/2072-0920-2022-18-4-78-94 (in Russian).
4. Антоненко М.В., Гугучкина Т.И., Антоненко О.П., Якименко Е.Н. Особенности катионно-анионного состава красных вин на примере продукции «Совербаш» и «Фанагория» // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2022;5(389):127-132. DOI 10.26297/0579-3009.2022.5.27.
Antonenko M.V., Guguchkina T.I., Antonenko O.P., Yakimenko E.N. Features of the cation-anion composition of red wines on the example of "Soverbash" and "Fanagoria" enterprises. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*. 2022;5(389):127-132. DOI 10.26297/0579-3009.2022.5.27 (in Russian).
5. Репкин В.С., Ли А.В., Семенов Г.Ю., Сермавкин Н.И., Коваленко А.С., Егошин Н.С. Сравнительный анализ моделей классификации для определения качества вина по его химическому составу // Известия Томского политехнического университета. Промышленная кибернетика. 2023;1(1):50-58.
Repkin V.S., Li A.V., Semenov G.Yu., Sermavkin N.I., Kovalenko A.S., Egoshin N.S. Comparative analysis of classification models for determining the quality of wine by its chemical composition. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Industrial Cybernetics*. 2023;1(1):50-58 (in Russian).
6. Свиридов Д.А., Ганин М.Ю., Ильин А.А., Шмигельская Н.А. Изучение особенностей элементного профиля вин Бахчисарайского района Республики Крым // Пищевая промышленность. 2023;8:71-77. DOI 10.52653/PPI.2023.8.8.013.
Sviridov D.A., Ganin M.Yu., Il'in A.A., Shmigelskaia N.A. Study of the features of the elemental profile of wines of the Bakhchisarai region of the Republic of Crimea. *Food Processing Industry*. 2023;8:71-77. DOI 10.52653/PPI.2023.8.8.013 (in Russian).
7. Антоненко О.П., Гугучкина Т.И., Шелудько О.Н., Антоненко М.В., Храпов А.А. Исследование вин с географическим статусом производства ООО «Шумринка» // Вестник КрасГАУ. 2023;11:258-267. DOI 10.36718/1819-4036-2023-11-258-267.
Antonenko O.P., Guguchkina T.I., Sheludko O.N., Antonenko M.V., Hrapov A.A. Research of wines with geographical status produced by Shumrinka LLC. *The Bulliten of KrasSAU*. 2023;11:258-267. DOI 10.36718/1819-4036-2023-11-258-267.5 (in Russian).
8. Rocha S., Pinto E., Almeida A., Fernandes E. Multi-elemental analysis as a tool for characterization and differentiation of Portuguese wines according to their Protected Geographical Indication. *Food Control*. 2019;103:27-35. DOI 10.1016/j.foodcont.2019.03.034.
9. Duley G., Dujourdy L., Klein S., Werwein A., Spartz Ch., Gougeon R., Taylor D. Regionality in Australian Pinot Noir wines: A study on the use of NMR and ICP-MS on commercial wines. *Food Chemistry*. 2021;340:127906. DOI 10.1016/j.foodchem.2020.127906.
10. Аникина Н.С., Гниломедова Н.В., Сластья Е.А., Пелипасов О.В. Методическая база для многоэлементного анализа вин // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2024;26(4):408-415. EDN UOYRO.
Anikina N.S., Gnilomedova N.V., Slasya E.A., Pelipasov O.V. Methodological basis for multi-element analysis of wines. *Magarach. Viticulture and Winemaking*. 2024;26(4):408-415. EDN UOYRDJ (in Russian).
11. Jakkielska D., Dasteridis I., Kubicki M., Frankowski M., Ziola-Frankowska A. Determination of metal content by inductively coupled plasma - mass spectrometry in Polish red and white wine samples in relation to their type, origin, grape variety and health risk assessment. *Foods*. 2023;12(17):3205. DOI 10.3390/foods12173205.
12. Gao F., Hao X., Zeng G., Guan L., Wu H., Zhang L., Wei R., Wang H., Li H. Identification of the geographical origin of Ecolly (*Vitis vinifera* L.) grapes and wines from different Chinese regions by ICP-MS coupled with chemometrics. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2022;105:104248. DOI 10.1016/j.jfca.2021.104248.
13. Якуба Ю.Ф., Шелудько О.Н., Чемисова Л.Э., Митрофанова Е.А., Ширишова А.А., Редька В.М. Математические приемы контроля качества и установления аутентичности винодельческой продукции // Передовые исследования Кубани: Сборник материалов ежегодной отчетной конференции грантодержателей Кубанского научного фонда. 2022;116-120. EDN HXSPYX.

- Yakuba Yu.F., Sheludko O.N., Chemisova L.E., Mitrofanova E.A., Shirshova A.A., Redka V.M. Mathematical techniques of quality control and authenticity of wine products. *Advanced Research in Kuban: Collection of Materials of the Annual Reporting Conference of Grant Holders of the Kuban Science Foundation*. 2022:116-120. EDN HXSPYX (*in Russian*).
14. Maioli F., Picchi M., Guerrini L., Parenti A., Domizio P., Andrenelli L., Zanoni B., Canuti V. Monitoring of Sangiovese red wine chemical and sensory parameters along one-year aging in different tank materials and glass bottle. *ACS Food Science & Technology*. 2022;2(2):221-239. DOI 10.1021/acsfoodscitech.1c00329.
15. Temerdashev Z., Abakumov A., Khalafyan A., Bolshov M., Lukyanov A., Vasilyev A., Gipich E. The influence of the soil profile on the formation of the elemental image of grapes and wine of the Cabernet Sauvignon variety. *Molecules*. 2024;29(10):2251. DOI 10.3390/molecules29102251.
16. Leder R., Petric I.V., Jusup J., Banović M. Geographical discrimination of Croatian wines by stable isotope ratios and multielemental composition analysis. *Frontiers in Nutrition*. 2021;8:625613. DOI 10.3389/fnut.2021.625613.
17. Serrano R., Grindlay G., Gras L., Mora J. Microwave-sustained inductively coupled atmospheric-pressure plasma (MICAP) for the elemental analysis of complex matrix samples. *Talanta*. 2024;271:125666. DOI 10.1016/j.talanta.2024.125666.
18. Лабусов В.А., Дзюба А.А., Гаранин В.Г., Пелипасов О.В., Зарубин И.А., Борисов А.В., Болдова С.С., Григорьева С.В., Путымаков А.Н., Селюнин Д.О., Бабин С.А., Саушкин М.С. Спектрометры оптические Гранд – новое средство измерения массовых долей определяемых элементов // *Аналитика и контроль*. 2024;28(3):259-269. DOI 10.15826/analitika.2024.28.3.004.
- Labusov V.A., Dzyuba A.A., Garanin V.G., Pelipasov O.V., Zarubin I.A., Borisov A.V., Boldova S.S., Grigor'eva, S.V., Putmakov A.N., Selyunin D.O., Babin S.A., Saushkin M.S. Optical spectrometers Grand: a new tool for measuring mass fractions of analytes. *Analytics and Control*. 2024;28(3):259-269. DOI 10.15826/analitika.2024.28.3.004 (*in Russian*).
19. Microsoft 365. Описание основных приемов нормализации базы данных. <https://learn.microsoft.com/ru-ru/office/troubleshoot/access/database-normalization-description>. (дата обращения: 06.06.2024).
- Microsoft 365. Description of the basic techniques for database normalization. <https://learn.microsoft.com/ru-ru/office/troubleshoot/access/database-normalization-description> (date of access 06.06.2024) (*in Russian*).

Информация об авторах

Надежда Станиславовна Аникина, д-р техн. наук, ст. науч. сотр., зав. лабораторией химии и биохимии вина; e-mail: hv26@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5682-3426>;

Евгений Анатольевич Сластья, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории химии и биохимии вина; e-mail: yslasty@list.ru; orcid.org/0000-0002-6750-9587;

Нонна Владимировна Гниломедова, канд. техн. наук, доцент, вед. науч. сотр. лаборатории химии и биохимии вина; e-mail: 231462@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1784-2370>;

Антонина Валерьевна Весютова, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаборатории химии и биохимии вина; e-mail: foxt.80@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3815-5756>;

Марианна Вадимовна Ермихина, науч. сотр. лаборатории химии и биохимии вина; e-mail: mariannaermikhina@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6457-2129>;

Екатерина Максимовна Штельцер, вед. инженер лаборатории химии и биохимии вина; e-mail: eshteltser@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0004-2830-1726>;

Олег Владимирович Пелипасов, канд. техн. наук, науч. сотр. лаборатории оптических информационных систем; e-mail: pelipasov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9318-5475>;

Виктория Анатольевна Трунова, лаборант химического анализа; e-mail: trunova20@vmk.ru; <https://orcid.org/0009-0009-3744-8187>;

Евгения Валерьевна Полякова, канд. хим. наук, науч. сотр. ЦКП; e-mail: e.polyakova.niic@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9007-6006>;

Олег Владимирович Комин, инженер-исследователь лаборатории оптических информационных систем; e-mail: kominoleg97@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1168-7701>.

Information about authors

Nadezhda S. Anikina, Dr. Techn. Sci., Senior Staff Scientist, Head of the Laboratory of Chemistry and Biochemistry of Wine; e-mail: hv26@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5682-3426>;

Evgenij A. Slasty, Cand. Biol. Sci., Senior Staff Scientist, Laboratory of Chemistry and Biochemistry of Wine; e-mail: yslasty@list.ru, phyton.crimea@gmail.com; orcid.org/0000-0002-6750-9587;

Nonna V. Gnilomedova, Cand. Techn. Sci., Assistant Professor, Leading Staff Scientist, Laboratory of Chemistry and Biochemistry of Wine; e-mail: 231462@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1784-2370>;

Antonina V. Vesytova, Cand. Techn. Sci., Senior Staff Scientist, Laboratory of Chemistry and Biochemistry of Wine; e-mail: foxt.80@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3815-5756>;

Marianna V. Ermikhina, Staff Scientist, Laboratory of Chemistry and Biochemistry of Wine; e-mail: mariannaermikhina@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6457-2129>;

Ekaterina M. Shtelzer, Leading Engineer, Laboratory of Chemistry and Biochemistry of Wine; e-mail: eshteltser@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0004-2830-1726>;

Oleg V. Pelipasov, Cand. Techn. Sci., Staff Scientist, Laboratory of Optical Information Systems; e-mail: pelipasov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9318-5475>;

Victoria A. Trunova, Laboratory Assistant of Chemical Analysis; e-mail: trunova20@vmk.ru; <https://orcid.org/0009-0009-3744-8187>;

Evgeniya V. Polyakova, Cand. Chem. Sci., Staff Scientist, Center of Collective Use; e-mail: e.polyakova.niic@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9007-6006>;

Oleg V. Komin, Research Engineer, Laboratory of Optical Information Systems; e-mail: kominoleg97@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1168-7701>.

Статья поступила в редакцию 25.04.2025, одобрена после рецензии 29.04.2025, принята к публикации 20.05.2025.