

Обзорная статья

УДК 665.3

DOI: 10.17586/2310-1164-2026-19-2-72-88

Установление места происхождения растительных масел по микроэлементному составу: обзор современных подходов

В.А. Васильев¹, Ю.А. Очередко^{2,3}, А.С. Реснянская^{2*}¹Астраханский государственный технический университет, Россия, Астрахань²Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева, Россия, Астрахань³Астраханский государственный медицинский университет, Россия, Астрахань

*resnyanskaya-as@yandex.ru

Аннотация. Микроэлементный анализ – один из важнейших методов идентификации места происхождения растительных масел, требующий систематизированной оценки имеющихся научных источников российских и зарубежных авторов. В статье описаны современные подходы использования данных по микроэлементному составу растительных масел для установления места их происхождения, проанализированы алгоритмы сравнения данных, показаны механизмы сопоставления микроэлементного состава масел и почв и использования этих зависимостей для дискриминационного анализа с применением средств машинного обучения. Проведено обобщение данных многочисленных экспериментальных исследований, преимущественно зарубежных авторов, опубликованных в авторитетных рецензируемых научных журналах. Показано, что комбинирование современных методов определения маркерных элементов на уровне десятых и сотых долей микрограмма с последующей обработкой полученных данных инструментами хемометрического анализа позволяет выстроить многомерные матрицы, являющиеся вводными данными для дальнейшей дискриминации образцов по месту их происхождения. Наилучшие результаты достигнуты путем обобщения полученных моделей с матрицей элементного состава почв, грунтовых вод и геологических пород с использованием возможностей искусственного интеллекта. Подобный подход позволит дискриминировать образцы растительных масел по месту происхождения с эффективностью 85–95%. Дальнейшее повышение результатов возможно путем сочетания микроэлементного анализа с методами изотопной масс-спектрометрии стабильных изотопов легких газообразующих и ряда других элементов.

Ключевые слова: растительные масла; место происхождения; микроэлементный состав; фальсифицированная продукция; маркерные элементы; хемометрический анализ

Review article

Trace element composition to determine geographical origin of vegetable oils: A review of modern approaches

Vladimir A. Vasilyev¹, Yuliya A. Ocheredko^{2,3}, Anna S. Resnyanskaya²¹Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia²Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, Russia³Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russia

*resnyanskaya-as@yandex.ru

Abstract. Microelement analysis is one of the most important methods for identifying the origin of vegetable oils, requiring a systematic assessment of available scientific sources by Russian and foreign authors. In this article, we describe current approaches to using data on the trace element composition of vegetable oils for determining their place of origin, to analyze data comparison algorithms, and to demonstrate the mechanisms for correlating the trace element profiles of oils and soils, as well as the use of these relationships for discriminant analysis employing machine learning tools. The data from numerous experimental studies, predominantly by foreign authors published in reputable peer-reviewed scientific journals, was reviewed. It is shown that combining modern methods for the determining the marker elements at the level of tenths and hundredths of a microgram with subsequent processing of the obtained data using chemometric analysis tools allows for the construction of multidimensional matrices. These matrices serve as input data for the further discrimination of samples according to their origin. The best results are achieved by integrating the obtained models with the elemental composition matrix of soils, groundwater, and geological formations using the capabilities of artificial intelligence. This approach enables the discrimination of vegetable oil samples by geographical origin with an effectiveness of 85–95%. Further improvement of results is possible by combining trace element analysis with isotope mass spectrometry of stable isotopes of light gaseous elements and a number of other elements.

Keywords: vegetable oils; establishing the geographical origin; trace element composition; adulterated products; marker elements; chemometric analysis

Введение

Растительные масла являются важным элементом в балансе питания, обеспечивая значительную часть пищевой ценности рациона. На протяжении длительного времени они рассматривались преимущественно в прикладном аспекте, как необходимый элемент для различных технологических операций при приготовлении кулинарных продуктов, заготовке овощей и др. Растительные масла, полученные из ценного сырья, производились ограниченным количеством предприятий для нужд фармацевтической промышленности и использовались в качестве субстанций для предприятий отрасли. Реализация данной продукции для населения осуществлялась через аптечную сеть. Рост потребления и расширение ассортимента премиальных растительных масел стимулировали торговые организации включить их в постоянный ассортимент пищевой продукции, присутствующей в торговом зале. Изначально это касалось крупных торговых центров, потом данная номенклатура появилась в магазинах шаговой доступности, а на протяжении последних нескольких лет основным каналом реализации становятся торговые интернет-площадки. Высокая стоимость растительных масел, произведенных из ценного сырья, методом холодного прессования, и расширение системы сбыта значительно увеличили объем фальсифицированной продукции, чему способствовало несовершенство методов контроля. Для большей части масел установлены лишь требования, касающиеся показателей безопасности. Только по данным Высшей школы экономики [1], доля фальсификатов в период с 2020 по 2023 год выросла с 8 до 18% от объема реализуемой продукции и оценивается в тысячи тонн. Например, случаи фальсификации тыквенного, кунжутного, кедрового масла выявляются систематически.

Ассортиментная фальсификация, выражающаяся в большинстве случаев в виде пересортицы – подмены одного вида масла другим, менее ценным, выявляется имеющимися в распоряжении контрольно-надзорных органов способами: определение состава жирных кислот [2, 3], триглицеридов и жирных кислот в положении 2 в их составе [4], изомерного состава токоферолов и токотриенолов, фитостеринов и др. [5, 6]. В основе этих методов анализа лежит дискриминация растительных масел, полученных из соответствующего сырья, по составу мажорных и минорных органических компонентов. Этот пул данных малоинформативен при выявлении информационной фальсификации в части места происхождения масленичного сырья и производителей продукции.

Статьи 15.16 и 15.18 Гражданского кодекса Российской Федерации вводят понятия «географическое указание», «наименование места происхождения товара» и определяют порядок регистрации и охраны на территории России. Контроль растительных масел в данной части требует специальных методов анализа.

Производство и оборот фальсифицированных и контрафактных растительных масел наносит значительный ущерб экономическим интересам государства и законным интересам граждан. Если импортер вносит недостоверные данные о стране происхождения сырья, стремясь минимизировать таможенные платежи, необходимо иметь возможность точно установить фактический регион происхождения сырья методами физико-химического анализа. Другой стороной экономической составляющей проблемы является предоставление недостоверной информации о производителе товара, что создает условия для заведомо недобросовестной конкуренции, когда недобросовестные производители, предлагая более низкие цены, сужают потребительскую нишу для качественной продукции. Интересы граждан страдают за счет введения их в заблуждение о регионе происхождения масла. Например, на этикетке заявляется, что кедровое масло произведено из ядер орехов кедровой сосны, произрастающей в экологически чистых регионах Красноярского края, полученное прессовым способом от известного производителя, а по факту приобретается масло, произведенное в Китае неустановленным способом из низкокачественного сырья. Или потребитель под видом масла, произведенного из голосеменной штирийской тыквы методом прямого холодного отжима, по факту получает тыквенное мало, произведенное из семян кормовой тыквы методом углеводородной экстракции. Немалый урон наносится и репутации регионов, каждый из которых стремится брендировать определенный вид сельскохозяйственной продукции: астраханские бахчевые и томаты, краснодарский подсолнечник, мичуринские яблоки и др. Масла, произведенные из подобного сырья, будут иметь более высокую коммерческую привлекательность: «Масло семян астраханских арбузов или томатов», «Краснодарское подсолненное масло», поэтому у недобросовестных производителей

всегда появится желание выдать импортную продукцию, произведенную в странах Азии и Африки, под брендом российских регионов, нанося им репутационные риски.

О важности объективной информации по месту происхождения масла и способе его производства свидетельствуют данные обширного статистического исследования [7], выполненного в Испании, которое показало, что за качественное оливковое масло, произведенное в определенных регионах страны методом прямого холодного отжима, потребители готовы платить по 6–7 евро за литр по сравнению с индустриально произведенной продукцией, стоимость которой находится на уровне двух евро. При этом предпочтение отдается сертифицированным товарам.

В соответствии с европейскими правилами, растительные масла защищенного места происхождения продукта получают знак PDO (Protected Designation of Origin), а защищенного указания на географическую принадлежность PGI (Protected Geographical Indication). Нанесение данных знаков на масла, не относящимся к ним, карается значительными штрафными санкциями.

Основными методами, позволяющими установить конкретный регион происхождения сырья, являются микроэлементный анализ, анализ стабильных легких изотопов, методы спектрального и флуоресцентного анализа в сочетании с хемометрическим аппаратом.

Цель работы – рассмотреть современное состояние научной информационной среды в разрезе использования микроэлементного анализа в целях установления места происхождения растительных масел.

Определение содержания характеристических микроэлементов, присутствующих в растительных маслах, позволяет:

- ✓ определить регион происхождения масленичного сырья, из которого оно изготовлено;
- ✓ определить способ производства;
- ✓ определить принадлежность масла к конкретному производителю и партии товара.

Объекты и методы исследования

Объектами настоящего обзора являлись рецензируемые научные публикации в области пищевой химии и аналитического приборостроения, посвященные установлению места происхождения (географической аутентичности) растительных масел с использованием данных об их микроэлементном составе. Дополнительно анализировались работы, в которых микроэлементный анализ применялся для идентификации подлинности других видов пищевой продукции (виноград, яблоки, вино, мед, кофе, чай, сыры, мясо) с целью экстраполяции методологических подходов.

Поиск литературных источников проводился в электронных научных базах: PubMed (NCBI), Scopus (Elsevier), Web of Science Core Collection (Clarivate Analytics), eLibrary.ru (Российский индекс научного цитирования) и Google Scholar. Глубина поиска охватывала период с января 2000 по апрель 2026 г. Выбор нижней границы обоснован массовым внедрением методов масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) в практику элементного анализа пищевых продуктов на рубеже XXI века. Верхняя граница определена датой финального поиска. Поисковые запросы формировались на русском и английском языках с использованием следующих комбинаций ключевых слов: «vegetable oils» или «edible oils», «trace elements» или «mineral composition» или «multi-element analysis», «geographical origin» или «authentication» или «traceability», «растительные масла», «микроэлементы» или «элементный состав», «место происхождения» или «аутентичность». Дополнительно проводился ручной поиск по спискам литературы в релевантных обзорах.

Применялись следующие критерии включения:

- оригинальные исследовательские статьи, систематические обзоры и мета-анализы;
- статьи, в которых для анализа масел или сырья использовались методы ICP-MS, ICP-OES, ETAAS;
- наличие в публикации данных не менее чем по 3–5 микроэлементам (включая редкоземельные и щелочные металлы);
- полные тексты на английском или русском языке.

Также применялись критерии исключения:

- аннотации конференций, тезисы, препринты, диссертации (кроме авторефератов);
- статьи, в которых анализировались только макроэлементы (Na, K, Ca, Mg, P) или показатели

безопасности (Pb, Cd, As, Hg) без привязки к географии;

- работы, где масла подвергались глубокой рафинации, дезодорации или гидрогенизации (ввиду утраты первичного элементного следа);
- исследования *in vitro* и на животных моделях, не связанные с пищевыми маслами.

Первичный отбор проводился по названиям и аннотациям. Полнотекстовый анализ выполнялся для статей, прошедших первый этап. Из окончательного списка публикаций извлекались следующие данные: тип масла, регион происхождения сырья, метод пробоподготовки (кислотная экстракция, микроволновая минерализация, прямое разбавление), аналитический метод, перечень определенных элементов, их концентрации (мкг/кг или мг/кг), способ статистической обработки (хеометрика: PCA, PLS-DA, LDA, метод главных компонент, кластерный анализ, модели машинного обучения), достигнутая эффективность дискриминации (в процентах). Обобщение данных выполнено с элементами описательной статистики (средние значения, диапазоны концентраций, частота встречаемости элементов). Результаты систематизированы по группам маркерных элементов (редкоземельные, щелочные, переходные металлы и др.) и представлены в сводных таблицах 1–4.

Результаты и их обсуждение

Содержание минеральных компонентов в большинстве растительных масел минимально вследствие высокой гидрофобности липидной матрицы. Исключение составляет фосфор, который входит в состав лецитинов, и за счет этого присутствует в маслах в относительно больших количествах. При этом его содержание в маслах прямого отжима значительно выше, чем в экстракционных, особенно прошедших стадию гидратации и рафинирования [2]. В подавляющем большинстве случаев минеральный состав растительного сырья формируется за счет его поступления через корневую систему. В некоторых случаях приобретает значение поступление микроэлементов через листовую поверхность. Последний случай связан с возможностью выпадения осадков с высоким содержанием отдельных элементов, обусловленных техногенными причинами: наличие свалок, отвалов предприятий, добычей и переработкой минералогического сырья, оживленным транспортным потоком. Основным фактором, определяющим минеральный состав растительного масленичного сырья, является геологический состав почвы, на котором оно выращивается [8]. Другими важными составляющими процесса формирования микроэлементного комплекса растений являются климатические условия: средняя температура, количество осадков, физиологические и ботанические особенности растений (вид, сорт, вегетационный период). Для некоторых элементов, присутствующих в составе удобрений и средств борьбы с вредителями растений, немаловажное значение приобретают агрохимические приемы выращивания и обработки. Данный фактор касается целого ряда металлов, в том числе высокотоксичных – кадмия, ртути, мышьяка, свинца, а также ряда элементов, которые необходимы для роста и развития растений, но могут присутствовать в аномально высоких концентрациях – цинк, медь, железо, никель, хром, марганец, кобальт, калий и ряда других [8]. Большое значение имеют свойства самих элементов, связанные с доступностью для растения за счет формы нахождения в почве и активностью поглощения из нее растением. Для ряда элементов влияние фактора техногенной контаминации почв является минимальным. Содержание этих элементов в растении является проекцией геохимического состава почв, обусловленной природными особенностями региона. К ним можно отнести лантаноиды, литий, стронций, цезий, барий, рубидий, селен, ванадий и пр. Для ряда других элементов вероятность техногенного привнесения в состав почв существует, но она относительно невелика: бор, сурьма, теллур, бром и др. [8].

Содержание и соотношения элементов в растении может иметь смешанное происхождение, как природное, так и техногенное – калий, натрий, алюминий, кальций, иод, фтор и др. [8]. В процессе переработки масленичного сырья небольшая часть содержащихся в нем микроэлементов переходит в состав растительного масла. Микроэлементный состав масла не будет являться полной проекцией состава исходного сырья, что связано с различной способностью ионов элементов к растворению в маслах, образованию солей с жирными кислотами, ассоциации с фосфолипидами, стеринами, высшими спиртами, скорости осаждения из природных эмульсий и т.д. [3]. При этом микроэлементный состав масел прямого отжима всегда богаче, чем экстракционного. Нагревание масла при его отжиме

повышает содержание минеральных компонентов. Проведение гидратации, рафинирования и дезодорирования масла напротив резко снижает долю неорганической составляющей. Исключение могут составлять лишь некоторые элементы, привнесенные в процессе обработки: натрий и калий – в процессе щелочной обработки, а кремний и алюминий – при использовании в качестве адсорбентов некондиционных цеолитов [9].

Практика определения состава характеристических элементов в целях установления подлинности пищевой продукции в части используемой сырьевой базы, географического места происхождения и принадлежности определенному производителю получила широкое распространение в последней четверти XX века, что обусловлено совершенствованием методов определения микроколичеств исследуемых элементов, переходом от классической «мокрой» химии к таким высокотехнологичным направлениям, как масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS), атомно-абсорбционная спектроскопия с электротермической атомизацией и балластом (ETAAS), оптическая спектрометрия на индуктивно-связанной плазме (ICP-OES). Пределы детектирования при соблюдении метрологических требований снизились до десятых и сотых долей микрограмма на литр исследуемого образца [9].

Сложно обозначить товарную группу, для установления подлинности и географического места происхождения которой не применяется анализ микроэлементного состава. В таблице 1 приведены примеры использования микроэлементного анализа для идентификации подлинности пищевых продуктов различных товарных групп.

Таблица 1. Использование микроэлементного анализа для идентификации подлинности пищевых продуктов
Table 1. Using of trace element analysis for food authenticity assessment

Продукция	Метод	Исследуемые элементы	Источник
виноград (Италия, Абруццо)	ICP-MS	Al, As, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Se, Si, Sr, Zn,	[10]
яблоки (Италия)	ICP-MS	Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Li, Mn, Na, Ni, Pb, Rb, Se, Sr, Tl, U, V	[11]
хмель	ICP-MS	Nb, Fe, Rb, Zr, Mg, Ni, Zn, Zr	[12]
вино (Китай)	ICP-MS	Na, Mg, K, Ca, Li, Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Sn, Sb, Ba, Rb, Sr, Y, Cs, Ce, Pb, T, U	[13]
дикорастущие ягоды	ICP-MS	Li, Na, Mg, P, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Ag, Cd, Ba, Pb, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu	[14]
мясо кур (Румыния)	ICP-MS	Na, M, K, Ca, Fe, Zn, Rb, Cu, Cr, B, Ni, Ba, Mn, Se, Mo, Li, Sr, V, Co, La, Nb, Pd, In, Pb, Sn, As, Sb, Cd	[15]
сыр (Сардиния)	ICP-OES ICP-MS	Ca, K, Mg, Na, P, S, (Zn, Fe, Mn, Cu, Se, Rb, Sr, Al, B, Co, Ni, Cr, V, Li, Ag	[16]
мед	ICP-MS	Ag, As, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Sr, Te, Tl, V, Zn	[17]
кофе (Перу)	ICP-MS	Al, Ba, Ca, Cd, Co, Cu, Cr, Na, K, Fe, Mg, Mn, Zn, Ni, Pb, Se, Sc, Ge, Rh, Re	[18]
чай (Китай)	ICP-MS	Cd, As, Pb, Cr, Ni, Se, F, Rb, Sr, Ba	[19]

Сложность использования данных по составу микроэлементов в целях установления подлинности и места происхождения растительных масел обусловлена их чрезвычайно низким содержанием. Появление новых методик определения и пробоподготовки позволило идентифицировать микроэлементы в маслах на уровне следовых количеств. На протяжении длительного времени в маслах, в соответствии с нормативными документами, определялись лишь металлы, обладающие высокой токсичностью, в целях контроля показателей безопасности.

В таблице 2 приведены данные по содержанию тяжелых металлов в маслах, характеризующие предельные значения в соответствии с техническим регламентом Таможенного союза «Технический регламент на масложировую продукцию» ТР ТС 024/2011, и их фактическому содержанию в соответствии с литературными данными.

Таблица 2. Максимальное допустимое и фактическое содержание тяжелых металлов в растительных маслах
 Table 2. Maximum permissible and actual levels of heavy metals in vegetable oils

Элемент	Наименование масла	Метод исследования	Допустимые уровни, мг/кг, не более	Фактическое значение, мг/кг	Источник
свинец	кокосовое EV*	ICP-MS	0,10	0,00026	[20]
свинец	оливковое EV*	ICP-MS	0,10	0,00088	[21]
мышьяк	оливковое EV*	ICP-MS	0,10	0,00026	[21]
кадмий	оливковое EV*	ICP-MS	0,05	0,00033	[22]
кадмий	соевое Refined**	ICP-MS	0,05	<0,001	[23]
ртуть	оливковое EV*	ICP-MS	0,03	0,00015	[24]
ртуть	подсолнечное EV*	ICP-MS	0,03	0,00028	[24]
железо	оливковое EV*	ICP-MS	1,50/5,0 ¹	0,15806	[22]
железо	кокосовое EV*	ICP-MS	1,50/5,0 ¹	0,10956	[20]
медь	оливковое EV*	ICP-MS	0,10/0,40 ¹	0,00460	[22]
медь	кокосовое EV*	ICP-MS	0,10/0,40 ¹	0,00341	[20]
никель	оливковое EV*	ICP-MS	0,70	0,00520	[22]
никель	кокосовое EV*	ICP-MS	0,70	0,00860	[15]
никель	соевое Refined**	ICP-MS	0,70	0,00165	[23]
сурьма	оливковое EV*	ICP-MS	0,3 ²	0,00037	[22]
сурьма	оливковое EV*	ICP-MS	0,3 ²	0,00014	[22]

1 – для нерафинированных масел; 2 – для овощей и фруктов в маслах не регламентируется;

EV* (Extra Virgin) – холодный отжим; Refined** – рафинированное

Анализ приведенных данных показывает, что фактические уровни содержания тяжелых металлов, даже в маслах прямого отжима, оказываются на два порядка ниже медианных значений по европейским странам. Чувствительность современных приборов по указанным выше элементам на три порядка ниже предельно допустимых концентраций в маслах. Высокая чувствительность позволяет фиксировать минимальные различия в концентрации элементов. Аномальные всплески по содержанию тяжелых металлов в большинстве случаев имеют техногенное происхождение, в частности, при хранении продукции в пластиковой таре, не предназначенной для пищевого использования. Высокие концентрации мышьяка в маслах практически не фиксируются [21]. Относительно высокие содержание свинца (в пределах допустимых значений) может свидетельствовать о том, что сырье произведено в регионах добычи свинцово-цинковых концентратов. Оливковое мало, произведенное в регионах Монастир, Меденин, Гафса и Сфакс в Тунисе, известных свинцово-цинковыми рудами, содержит свинца в 5–7 раз больше в сравнении со среднеевропейскими значениями [25]. Концентрация меди в маслах во многом зависит от использования содержащих ее препаратов в регламенте сельскохозяйственных работ по уходу за растениями. В европейских маслах, где использование содержащих медь препаратов минимально, уровень ее концентрации в маслах в среднем на два порядка ниже, чем на севере Африки [21]. Показатели никеля преимущественно коррелируют с его естественным распределением в почвах за редким исключением, когда рядом с полями находятся металлургические и обогатительные предприятия. Содержание железа в оливковом масле, произведенного из аутентичного сырья на севере Италии [22], более чем в два раз превышает этот показатель для южных регионов. Аналогичный параметр для масел, произведенных в Тунисе, на порядок превышает испанские образцы [21, 22]. Таким образом, данные по содержанию этой группы элементов могут быть использованы в целях установления их аутентичности в регионах с их аномально высоким содержанием в почвах. В настоящее время в практике микроэлементного анализа растительных масел в целях установления места происхождения сырья используется более 50 маркерных элементов. Далее рассмотрены их основные группы и их практическая значимость. Сводные данные по микроэлементному составу оливкового масла приводятся в таблице 3, а ряда других растительных масел в таблице 4.

Таблица 3. Содержание микроэлементов в оливковом масле различных географических зон
 Table 3. Trace element composition of olive oils from different geographical zones

Элемент	Среднее содержание в почве, мг/кг	Регион	Среднее значение мкг/кг	Максимальное значение, мкг/кг	Источник
лантаноиды					
лантан (La)	29,5–40	Северная Италия	0,020	0,110	[22]
		Южная Италия	0,064	0,158	[22]
		Тунис	0,700	0,750	[21]
		Тунис, Гафса	0,160	0,220	[25]
церий (Ce)	29,5–40	Тунис, Гафса	0,610	0,830	[25]
		Южная Италия	0,043	0,111	[22]
празеодим (Pr)	3,3–7,7	Тунис, Гафса	0,078	0,103	[25]
неодим (Nd)	27,9–35,0	Тунис, Гафса	0,300	0,400	[25]
самарий (Sm)	4,5–6,1	Тунис, Гафса	0,072	0,094	[25]
		Южная Италия	0,030	0,111	[22]
европий (Eu)	1,0–1,9	Тунис, Гафса	0,025	0,029	[24]
		Южная Италия	0,010	0,020	[22]
гадолиний (Gd)	3,0–4,7	Тунис, Гафса	0,059	0,080	[25]
тербий (Tb)	0,6–0,7	Тунис, Гафса	0,009	0,013	[25]
диспрозий (Dy)	3,8–5,0	Тунис, Гафса	0,044	0,058	[25]
гольмий (Ho)	0,4–1,1	Тунис, Гафса	0,008	0,011	[25]
эрбий (Er)	2,0–2,8	Тунис, Гафса	0,022	0,028	[25]
тулий (Tm)	0,2–0,6	Тунис, Гафса	0,003	0,004	[25]
иттербий (Yb)	2,3–3,1	Тунис, Гафса	0,019	0,022	[25]
		Южная Италия	0,019	0,032	[22]
лютеций (Lu)	0,3–0,4	Тунис, Гафса	0,003	0,004	[25]
скандий и иттрий					
скандий (Sc)	3,5–3,8	Тунис, Гафса	0,530	0,540	[25]
	4,5–4,6	Тунис, Кассерин	0,590	0,600	[25]
	3,0–3,1	Тунис, Сфакс	0,280	0,320	[25]
	11,0–14,0	Тунис, Нефта	0,507	0,520	[25]
иттрий (Y)	10,0–14,0	Тунис, Гафса	0,220	0,230	[25]
	11,0–15,0	Тунис, Кассерин	0,290	0,300	[25]
	4,7–5,3	Тунис, Сфакс	0,110	0,120	[25]
	24,0–28,0	Тунис, Нефта	0,380	0,430	[25]
ванадий, титан, ниобий, галлий, цирконий					
ванадий (V)	нет данных	Тунис	3,25	5,45	[21]
	нет данных	Испания	1,14	1,56	[21]
	нет данных	Франция	0,77	1,53	[21]
	нет данных	Южная Италия	0,55	1,40	[22]
титан (Ti)	нет данных	Южная Италия	2,10	10,7	[22]
	нет данных	Северная Италия	2,20	8,10	[22]
ниобий (Nb)	нет данных	Северная Италия	<0,04	0,11	[22]
галлий (Ga)	нет данных	Северная Италия	<0,06	0,59	[22]
цирконий (Zr)	нет данных	Центр. Италия	0,1	1,8	[22]
	нет данных	Северная Италия	0,1	2,3	[22]
кобальт, марганец, цинк, бериллий, барий					
кобальт (Co)	нет данных	Испания	0,10	нет данных	[21]
	нет данных	Тунис	0,16	нет данных	[21]
	нет данных	Северная Италия	0,11	нет данных	[22]
	нет данных	Центральная Италия	0,13	нет данных	[22]
марганец (Mn)	нет данных	Северная Италия	2,70	нет данных	[22]
	нет данных	Центральная Италия	2,30	нет данных	[22]
	нет данных	Испания	5,03	нет данных	[21]
	нет данных	Тунис	1,57	нет данных	[21]

Элемент	Среднее содержание в почве, мг/кг	Регион	Среднее значение, мкг/кг	Максимальное значение, мкг/кг	Источник
цинк (Zn)	нет данных	Северная Италия	146,00	нет данных	[22]
	нет данных	Центр. Италия	98,00	нет данных	[22]
	нет данных	Тунис, Сфакс	180,00	нет данных	[25]
	нет данных	Тунис, Кайруан	120,00	нет данных	[25]
бериллий (Be)	нет данных	Северная Италия	<0,004	0,471	[22]
	нет данных	Центр. Италия	<0,004	0,272	[22]
	нет данных	Южная италия	<0,004	0,061	[22]
барий (Ba)	нет данных	Северная Италия	0,60	нет данных	[22]
	нет данных	Центр. Италия	2,90	нет данных	[22]
	нет данных	Испания	1,28	нет данных	[21]
	нет данных	Франция	1,61	нет данных	[21]
	нет данных	Тунис, Кайруан	0,60	нет данных	[25]
	нет данных	Тунис, Кассерин	0,85	нет данных	[25]
хром, молибден					
хром (Cr)	нет данных	Тунис	10,30	нет данных	[21]
	нет данных	Испания	8,48	нет данных	[21]
	нет данных	Франция	14,4	нет данных	[21]
	нет данных	Северная Италия	3,70	нет данных	[22]
	нет данных	Центр. Италия	5,00	нет данных	[22]
	нет данных	Южная Италия	4,10	нет данных	[22]
молибден (Mo)	нет данных	Южная Италия	<0,3	нет данных	[22]
	нет данных	Северная Италия	<0,3	нет данных	[22]
	нет данных	Тунис, Гафса	0,130	нет данных	[25]
олово, висмут, бор, теллур, селен					
олово (Sn)	нет данных	Центр. Италия	0,06	0,60	[22]
	нет данных	Южная Италия	0,90	1,94	[22]
	нет данных	Тунис, Гафса	0/06	0,60	[25]
висмут (Bi)	нет данных	Центр. Италия	0/10	0,40	[22]
бор (B)	нет данных	Северная Италия	<20	734,0	[22]
теллур (Te)	нет данных	Южная Италия	0,03	0,06	[22]
селен (Se)	нет данных	Северная Италия	0,6	6,80	[22]
литий, рубидий, стронций, цезий, серебро					
литий (Li)	нет данных	Северная Италия	<0,06	1,67	[22]
	нет данных	Центр. Италия	<0,06	6,07	[22]
	нет данных	Южная Италия	<0,06	4,42	[22]
	нет данных	Италия, Ирпиния	0,23	нет данных	[41]
	нет данных	Италия, Соленто	43,53	нет данных	[41]
	нет данных	Испания	6,40	нет данных	[42]
рубидий (Rb)	нет данных	Испания	2,60	нет данных	[42]
	нет данных	Италия, Калабрия	0,237	нет данных	[38]
	нет данных	Италия, Венета	0,336	нет данных	[38]
	нет данных	Тунис	0,35	1,85	[21]
	нет данных	Испания	0,55	0,95	[21]
	нет данных	Франция	0,66	1,94	[21]
	нет данных	Южная Италия	0,26	1,36	[22]
стронций (Sr)	нет данных	Северная Италия	3,00	7,00	[22]
	нет данных	Центр. Италия	3,00	34,00	[22]
	нет данных	Северная Италия	3,00	58,00	[22]
	нет данных	Тунис	2,58	5,04	[21]
	нет данных	Испания	1,73	2,11	[21]
	нет данных	Франция	2,50	3,55	[21]
цезий (Cs)	нет данных	Тунис, Гафса	0,008	нет данных	[24]
	нет данных	Северная Италия	0,013	0,08	[22]
серебро (Ag)	нет данных	Северная Италия	<0,06	0,26	[22]
	нет данных	Центр. Италия	<0,06	0,86	[22]

Лантаноиды – семейство, состоящее из 15 химических элементов 3 группы 6-го периода периодической таблицы – металлов с атомными номерами 57–71 (от лантана до лютеция). До конца прошлого века добывались и производились на очень ограниченном количестве предприятий в относительно небольшом объеме и не использовались в составе агрохимических препаратов. При этом содержание в почвах соответствовало их химическим, геологическим особенностям и естественному фракционированию в почвах [26]. Ситуация коренным образом изменилась с развитием автотранспорта и радиоэлектроники, технологии постоянных магнитов. Добыча и извлечение лантаноидов увеличилась в десятки раз. В настоящее время 90% мощностей сосредоточено в Китае. Помимо этого, в многочисленных исследованиях показано благоприятное влияние добавок лантаноидов для повышения урожайности сельскохозяйственных культур [26, 27]. Сочетание данных факторов привело к резкому росту содержания данной группы элементов в пищевых продуктах целого ряда стран, особенно Китая, где внедрение добавок лантаноидов в сельское хозяйство имеет общенациональный характер. В результате концентрация лантаноидов в верхних слоях почвы увеличивается в несколько раз. В некоторых провинциях Китая она достигает до 243 мг/кг, при этом имеются очаги до 870–1100 мг/кг. Оливковое масло прямого отжима составляет основу сегмента премиальных растительных масел как в объемном, так и в стоимостном выражении, поэтому подавляющее большинство работ [21–25] в области микроэлементного анализа лантаноидов и других редких элементов посвящено именно этому продукту. Значительно меньше работ посвящено микроэлементному составу масла семян плодов аргании [28]. Вероятность обнаружения этих элементов в маслах зависит от свойств отдельных лантаноидов.

Лантан идентифицируется в 70% образцов, церий в 65%, неодим в 52%, празеодим в 40%; диспрозий и тербий в 19%, остальные ниже 10%, поэтому значимость лантаноидов по квалификационной ценности для анализа оливкового масла также убывает в этом ряду [25]. Для других масел могут быть иные показатели встречаемости. Содержание лантаноидов в растительном масле является производным значением их концентрации в масленичном сырье, которое в свою очередь зависит от типа растения, климатических условий и состава почв. Так содержание лантаноидов в растительных продуктах Китая близко к верхней гигиенической норме их потребления. В российских регионах уровень лантаноидов в верхних слоях почв сильно отличается. Например, сумма наиболее распространенных из них лантана, церия и неодима для Кировской области составляет 42,6 мг/кг, Волгоградской – 87,3 мг/кг, а Амурской – 97,1 мг/кг [29–31]. Концентрация лантаноидов в корневой системе всегда выше, чем в надземной части. Природная неоднородность содержания лантаноидов в почвах, климатические факторы, антропогенное воздействие и видовые особенности ассимиляции позволяют использовать данную группу элементов для идентификации подлинности растительных масел.

Скандий (Sc) и иттрий (Y), которые достаточно близки к лантаноидам по химическим свойствам и характеру распределения в почвах, совместно с лантаноидами образуют группу редкоземельных элементов. В регионах России их содержание зависит от типа почв и в среднем составляет соответственно 13,0 и 27,0 мг/кг для дерново-подзолистых среднесуглинистых почв, 23,0 и 34,0 мг/кг для дерново-карбонатных глинистых почв, 15,0 и 29,0 мг/кг для серых лесных средне- и тяжелосуглинистых почв соответственно [32].

Ванадий, ниобий, цирконий, титан, галлий образуют группу важных характеристических элементов. В наибольшем числе работ в пуле маркерных элементов для идентификации растительных масел используют концентрацию ванадия, реже титана и галлия, еще реже ниобия и циркония. Количество образцов оливкового масла, в которых обнаружен цирконий, в среднем составило 57%, ниобий 7%, галлий 15%, ванадий 98%, титан 100%, что говорит о достаточно низкой эффективности включения ниобия и галлия в состав статистической выборки при установлении подлинности растительных масел [21, 22]. При анализе каждого конкретного вида масла необходимо определять ряд приоритетных маркерных элементов.

Кобальт, цинк, барий, бериллий, марганец – металлы, которые в природных объектах находятся преимущественно в степени окисления +2. Растворимые соли этих металлов токсичны. Кобальт, цинк и марганец являются биогенными элементами, необходимыми для роста и развития растений в малых концентрациях. Количество образцов оливкового масла, в которых обнаружен цинк и марганец составило

100%, кобальт 90%, барий 50%, бериллий 40%, что делает определение бериллия мало информативным и нецелесообразным [21, 22].

Цинк улучшает усвоение азота растениями, входит в состав комплексных удобрений с микроэлементами. В полевых культурах кобальта содержится на порядок меньше, чем в почвах, 0,2–0,4 мг/кг сухого вещества. Аномально высокая концентрация марганца наблюдается у растений, произрастающих вблизи промышленных предприятий, свалок, животноводческих комплексов. Марганец необходим для нормального функционирования ферментных систем растений и животных. В настоящее время выпускаются индивидуальные и комплексные добавки марганца для растений. В урожае зерновых, кормовых и овощных культур концентрация марганца колеблется от нескольких единиц до сотен мг/кг сухого веществ [15].

Хром, молибден, вольфрам – типичные металлы, входящие в шестую группу элементов периодической системы, имеют близкие химические свойства и области применения. Хром и молибден относятся к биогенным элементам. Вольфрам способен замещать молибден в молибдензависимых ферментах. Количество образцов оливкового масла, в которых обнаружен хром, составило 100%; вольфрам 40%, молибден 30% [22, 33]. В связи с этим при разработке стратегии анализа необходимо оценить целесообразность включения вольфрама и молибдена в пул маркерных элементов. Аномально высокие концентрации хрома обнаруживаются вблизи перерабатывающих и металлургических предприятий. В микродозах он улучшает рост и развитие растений, а в высоких угнетает. Содержание в удобрениях незначительно. Содержание в зерновых культурах и овощах на уровне 0,3–0,5 мг/кг [33].

Олово, висмут, теллур, бор, селен. Олово и висмут – металлы, теллур – полуметалл, бор и селен – неметаллы. Количество образцов оливкового масла, в которых обнаружен селен, составило 55%, олово 80%, бор 20%, теллур 5%, висмут 40% [22], поэтому при разработке стратегии анализа необходимо оценить целесообразность их включения в пул маркерных элементов.

Литий, рубидий, цезий, стронций. Литий, рубидий и цезий – типичные щелочные металлы, а стронций – типичный щелочноземельный металл. Данная группа является одной из наиболее перспективных в анализе растительных масел на предмет идентификации места происхождения вследствие низкой вероятности техногенной контаминации почвы.

Мировое производство *лития* составляет свыше 200 тысяч тонн [36]. Основные потребители – производители литий-ионных аккумуляторов. Взрывной рост его производства в последнее десятилетие связан с развитием электротранспорта. Спектр использования очень широкий. Физиологическая потребность для человека порядка 600 мкг в сутки. Вероятность аномально высоких концентраций значительна. В минимальных концентрациях присутствует в большинстве удобрений. Содержание в зольных остатках растения *Agrimonia pilosa* в зависимости от места сбора составило от 74 до 190 мкг/г [34].

Мировое производство *рубидия* составляет несколько тонн в год [36]. Низкие объемы техногенного производства минимизируют вероятность его экзогенного попадания в растения и хорошо коррелируют с его естественным фоновым содержанием в почвах. Физиологическая потребность для человека не установлена. Токсичность средняя. В минимальных концентрациях присутствует в большинстве калийных и натриевых удобрениях. Содержание в ячмене, овсе, горохе и свекле соответственно 5,8; 6,9; 10,7 и 13,3 мг/кг сухой массы [35].

Мировое производство *стронция* немного более 520 тысяч тонн в год [36]. Физиологическая потребность для человека не установлена. Токсичность средняя, а у радиоактивного стронция 90 высокая. Среднее содержание в свекле, редисе, луке и кукурузе соответственно 42,1; 30,8; 22,3 и 16,2 мг/кг сухой массы [37].

При выборе набора микроэлементов для целей идентификации места происхождения растительного масла необходимо ориентироваться на уникальность полученных данных и минимальную вероятность вторичного загрязнения в процессе сбора сырья, его хранения, переработки, выработки масла, розлива и хранения в потребительской или промышленной таре.

Таблица 4. Содержание микроэлементов в растительных маслах различных географических зон
 Table 4. Trace element composition of vegetable oils from different geographical zones

Элемент	Наименование масла	Регион	Среднее значение, мкг/кг	Источник
лантаноиды				
Празеодим (Pr)	аргановое, ручного отжима	Марокко	2,10	[28]
	аргановое, промышленное	Марокко	2,6	[28]
Самарий (Sm)	аргановое, ручного отжима	Марокко	2,3	[28]
	аргановое, промышленное	Марокко	0,5	[28]
кобальт, цинк, марганец				
Кобальт (Co)	аргановое, ручного отжима	Марокко	0,49	[28]
	аргановое, промышленное	Марокко	1,14	[28]
Марганец (Mn)	кокосовое	Тамилнад, Индия	3,76	[20]
		Карнатака, Индия	2,36	[20]
		Каралла, Индия	2,30	[20]
		Гоа, Индия	7,24	[20]
Цинк (Zn)	кокосовое	Тамилнад, Индия	3,09	[20]
		Карнатака, Индия	21,75	[20]
		Каралла, Индия	3,29	[20]
		Гоа, Индия	4,54	[20]
хром, молибден, вольфрам				
Хром (Cr)	аргановое, ручного отжима	Каралла, Индия	0,51	[28]
	кокосовое	Тамилнад, Индия	5,92	[20]
Молибден (Mo)	кокосовое	Каралла, Индия	0,14	[20]
		Карнатака, Индия	0,14	[20]
		Гоа, Индия	0,35	[20]
Вольфрам (W)	кокосовое	Северная Италия	<0,3	[22]
		Центральная Италия	<0,3	[22]
		Южная Италия	<0,3	[22]
селен				
Селен (Se)	аргановое, ручного отжима	Марокко	1,63	[28]
	аргановое, промышленное	Марокко	0,75	[28]
	кокосовое	Каралла, Индия	0,18	[20]
		Тамилнад, Индия	0,28	[20]
литий, рубидий, стронций				
Литий (Li)	аргановое, промышленное	Марокко	0,115	[28]
	виноградных косточек, нерафинированное холодного отжима	Россия, Краснодарский край, Темрюкский район	1,46	[42]
	тыквенной семечки, нерафинированное холодного отжима	Россия, Астраханская область, Харабалинский район	0,75	[42]
	арбузной семечки, нерафинированное холодного отжима	Россия, Астраханская область, Камызякский район	0,84	[42]
	арбузной семечки, нерафинированное холодного отжима	Россия, Астраханская область, Икрянинский район	1,19	[42]
	дынной семечки, нерафинированное холодного отжима	Россия, Астраханская область, Харабалинский район	1,19	[42]
	дынной семечки, нерафинированное холодного отжима	Россия, Астраханская область, Камызякский район	1,13	[42]
	черного тмина, нерафинированное холодного отжима	Россия, Астраханская область, Приволжский район	0,87	[42]

Рубидий (Rb)	кокосовое	Гоа, Индия	0,37	[20]
	виноградных косточек, нерафинированное холодного отжима	Россия, Краснодарский край, Темрюкский район	7,56	[42]
	тыквенной семечки, нерафинированное холодного отжима	Россия, Астраханская область, Харабалинский район	1,24	[42]
	арбузной семечки, нерафинированное холодного отжима	Россия, Астраханская область, Камызякский район	1,40	[42]
	арбузной семечки, нерафинированное холодного отжима	Россия, Астраханская область, Икрянинский район	1,97	[42]
	дынной семечки, нерафинированное холодного отжима	Россия, Астраханская область, Харабалинский район	1,61	[42]
	дынной семечки, нерафинированное холодного отжима	Россия, Астраханская область, Камызякский район	1,34	[42]
	черного тмина, нерафинированное холодного отжима	Россия, Астраханская область, Приволжский район	3,87	[42]
Стронций (Sr)	кокосовое	Индия, Андхра Прадеш	2,46	[20]
	виноградных косточек, нерафинированное холодного отжима	Россия, Краснодарский край, Темрюкский район	3,65	[42]
	тыквенной семечки, нерафинированное холодного отжима	Россия, Астраханская область, Харабалинский район	9,77	[42]
	арбузной семечки, нерафинированное холодного отжима	Россия, Астраханская область, Камызякский район	4,54	[42]
	арбузной семечки, нерафинированное холодного отжима	Россия, Астраханская область, Икрянинский район	5,11	[42]
	дынной семечки, нерафинированное холодного отжима	Россия, Астраханская область, Харабалинский район	5,05	[42]
	дынной семечки, нерафинированное холодного отжима	Россия, Астраханская область, Камызякский район	6,11	[42]
	черного тмина, нерафинированное холодного отжима	Россия, Астраханская область, Приволжский район	12,83	[42]

В одной из ранних работ итальянских авторов [38] идентификация места происхождения премиальных оливковых масел, полученных из олив, собранных в различных регионах Италии, проводилась на основании данных по содержанию 26 маркерных элементов (Li, Rb, Cs, La, Ce, Sr, Sm и др.) и одновременно дополнялась результатами изотопного анализа $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, D/H, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$. Параллельно с данным исследованием авторы из Марокко и Испании [31] предложили процедуру идентификации масла аргании, полученного как в условиях ручного производства в кооперативах производителей, так и промышленным способом на основе содержания Al, Ca, Cr, Fe, Li, Mg, Na, V, Zn, K, Pb, Mn. Элементный состав масла аргании сильно отличался от оливкового и подсолнечного.

В работе интернационального коллектива авторов из Индии и Австрии [20] решалась важная для региона проблема установления места происхождения кокосового масла. На основе данных по уровню в маслах таких элементов, как Mg, Al, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Se, Rb, Sr, Mo, Pb в сочетании с хемометрической обработкой проведена успешная дискриминация масла по региону.

Исследование пула элементов Co, Ni, Ba, Rb, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Sr, V в сочетании с современной статистической обработкой позволило построить корреляционные зависимости для идентификации оливкового масла из различных регионов Туниса, Франции и Испании [21].

Определение места происхождения итальянских оливковых масел прямого отжима, произведенных в различных регионах северной, центральной и южной Италии, рассмотрено в работе авторов из Римского университета [22]. В целях определения географической принадлежности проводилось построение профиля для каждого образца, состоящего более чем из 40 элементов. Близкая по направленности работа, посвященная дискриминации оливкового масла в зависимости от провинции Туниса, проделана авторами из Японии и Туниса [39], где показано, что построение корреляционных моделей для элементов Co, Mg, Si, Sr, K, Ti, Rb, U, Nd, Pb, Mn, Ca, Ta, W, Hf, Er, Ni, Tb, Al, Zn, La в составе масел позволят повысить точность географического соотнесения образца до 93,3%. В исследовании итальянских и американских ученых [40] изучен комплекс параметров оливковых масел и оливок, касающихся микроэлементного и изотопного состава, в целях точного определения принадлежности масел двум самобытным производственным зонам Ирпинии и прибрежного кластера вокруг провинции Салерно. Анализ микроэлементного состава испанских оливковых масел позволил правильно определить от 91 до 100% случаев географического происхождения продукции [41].

В целях выявления возможных фальсификатов масла бахчевых авторами [42] определено содержание Sr, Rb и Li в образцах масел тыквы, арбуза, дыни, черного тмина, полученных из сырья, выращенного в Астраханской области, а также масла виноградной косточки Краснодарского края методом ETAAS. Полученные дынные могут использоваться для идентификации места происхождения масел, так как определение концентраций Rb, Sr, Li в составе премиальных масел при наличии статистически значимой информации по их содержанию в составе выпускаемой легальной продукции служит надежным критерием идентификации подлинности продукции данного товарного сегмента.

Заключение

Информация по микроэлементному составу растительных масел в сочетании с современными методами обработки данных – надежный инструмент идентификации географического региона сырья. Получаемые корреляционные зависимости в виде многомерных матриц могут быть использованы для автоматизированной обработки больших массивов данных. При достаточной информационной базе возможна идентификация конкретного производителя продукции и партии производства, что особенно важно при использовании растительных масел для фармацевтических целей. Повышение степени достоверной дискриминации образцов в части места происхождения возможно при сочетании микроэлементного и изотопного анализа стабильных легких газообразующих элементов [43].

Литература

1. Доля фальсификата на рынке растительных масел в России превысила 18% [Электронный ресурс] // Известия. 2023. URL: <https://iz.ru/1579263/2023-09-26/dolia-falsifikata-na-rynke-rastitelnykh-masel-v-rossii-prevysila-18> (дата обращения: 25.05.2026)
2. Grajzer M., Kozłowska W., Zalewski I. et al. Nutraceutical prospects of pumpkin seeds: A study on the lipid fraction composition and oxidative stability across eleven varieties. *Foods*. 2025, V. 14, article 354. DOI: 10.3390/foods14030354
3. Özçakmak S., Almatar M., Var I., Tekin A. Investigation on the microbiological quality and fatty acid methyl esters composition of commercially available cold-pressed *Nigella sativa* L. oil. *Current Analytical Chemistry*. 2023, V. 19. DOI: 10.2174/0115734110265562230927091336
4. Рудаков О.Б., Рудакова Л.В., Саранов И.А. и др. Определение подлинности масла какао по данным ВЭЖХ о триглицеридном составе // Сорбционные и хроматографические процессы. 2020. Т. 20. № 3. С. 393–399. DOI: 10.17308/sorpchrom.2020.20/2876
5. Liu Y., Lv M., Wang Y., Wei J., Chen D. Analytical strategies for tocopherols in vegetable oils: Advances in extraction and detection. *Pharmaceuticals (Basel)*. 2025, V. 18, no. 8, article 1137. DOI: 10.3390/ph18081137
6. Hu Z., Yang K., Yu A. The Extraction technologies, nutritional compositions, and health benefits of camellia oleifera seed oil – A review. *Journal of Oleo Science*. 2025, V. 74, no. 10, pp. 859–878. DOI: 10.5650/jos.ess25082
7. Albaladejo-García J.A., Zabala J.A., Martínez-García G., Martínez-Paz J.M. Local or ecological? An agri-food choice experiment for extra virgin olive oil. *Agriculture*. 2025, V. 15, no. 16, p. 1754. DOI: 10.3390/agriculture15161754
8. Побилат А.Е., Волошин Е.И. Микроэлементы в сельскохозяйственных растениях (обзор) // Микроэлементы в медицине. 2021. Т. 22, № 3. С. 3–14. DOI: 10.19112/2413-6174-2021-22-3-3-14
9. Оганесянц Л.А., Панасюк А.Л., Кузьмина Е.И. и др. Современные методы идентификации растительных масел из различного сырья // Пищевая промышленность. 2021. № 12. С. 56–59. DOI: 10.52653/PPI.2021.12.12.010
10. Rapa M., Ferrante M., Rodushkin I., Conti M.E. Safety and quality of grapes: Elemental, isotopic and chemometric

- analysis from Montepulciano d'Abruzzo PDO Chain. *Agriculture*. 2024, V. 14, no. 6, article 966. DOI: 10.3390/agriculture14060966
11. Zhang J, Shen Y, Ma N, Xu G. Authentication of apples from the Loess Plateau in China based on interannual element fingerprints and multidimensional modelling. *Food Chemistry X*. 2023, V. 20, no. 11, article 100948. DOI: 10.1016/j.fochx.2023.100948
 12. Pepi S., Chicca M., Telloli C. et al. Discrimination of geographical origin of hop (*Humulus lupulus* L.) using geochemical elements combined with statistical analysis. *Environmental Geochemistry and Health*. 2019, V. 41, no. 3, pp. 1559–1576. DOI: 10.1007/s10653-018-0232-7
 13. Tian L., Zheng S., Zhou H. et al. Mapping the origins of Chinese grape wine: Unlocking geographical regions through chemometrics, stable isotopes, and multielement analysis. *Journal of Food Quality*. 2025, V. 2025, article 5556138. DOI: 10.1155/jfq/5556138
 14. Cristea G., Dehelean A., Romulus P. et al. Characterization and differentiation of wild and cultivated berries based on isotopic and elemental profiles. *Applied Sciences*. 2023, V. 13, article 2980. DOI: 10.3390/app13052980
 15. Dehelean A., Cristea G., Romulus P. et al. Assigning the geographical origin of meat and animal rearing system using isotopic and elemental fingerprints. *Applied Sciences*. 2022, V. 12, article 12391. DOI: 10.3390/app122312391
 16. Mara A., Caredda M., Addis M. et al. Elemental fingerprinting of pecorino Romano and pecorino Sardo PDO: Characterization, authentication and nutritional value. *Molecules*. 2024, V. 29, article 869. DOI: 10.3390/molecules29040869
 17. Mara A., Deidda S., Caredda M. et al. Multi-elemental analysis as a tool to ascertain the safety and the origin of beehive products: Development, Validation, and application of an ICP-MS method on four unifloral honeys produced in Sardinia, Italy. *Molecules*. 2022, V. 27, article 2009. DOI: 10.3390/molecules27062009
 18. Pan X., Yan W., Wu X. et al. Replacing traditional coffee appraisers with inductively coupled plasma – mass spectrometry (ICP-MS): From manual sensory evaluation to scientific analysis. *Food Chemistry X*. 2024, V. 24, article 101980. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.101980
 19. Zhuang Z., Mi Z., Kong L. et al. Accumulation of potentially toxic elements in Chinese tea (*Camellia sinensis*): Towards source apportionment and health risk assessment. *Science of the Total Environment*. 2022, V. 851, article 158018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.158018
 20. Yadav A., Jamwal R., Kumari S. et al. Assessment of geographical origin of virgin coconut oil using inductively coupled plasma mass spectrometry along with multivariate chemometrics. *Current Research in Food Science*. 2022, V. 5. DOI: 10.1016/j.crfs.2022.03.003
 21. Nasr E.G., Epova E.N., de Diego A. et al. Trace elements analysis of Tunisian and European extra virgin olive oils by ICP-MS and chemometrics for geographical discrimination. *Foods*. 2021, V. 11, no. 1, article 82. DOI: 10.3390/foods11010082
 22. Astolfi M.L., Marini F., Frezzini M.A., Massimi L., Capriotti A.L., Montone C.M., Canepari S. Multielement characterization and antioxidant activity of Italian extra-virgin olive oils. *Front Chem*. 2021, V. 9, article 769620. DOI: 10.3389/fchem.2021.769620
 23. Souza R., Toloza Toloza C., Aucélio R. Fast determination of trace metals in edible oils and fats by inductively coupled plasma mass spectrometry and ultrasonic acidic extraction. *Journal of Trace Elements and Minerals*. 2022, V. 1, article 100003. DOI: 10.1016/j.jtemin.2022.100003
 24. Brodziak-Dopierała B., Fischer A., Chrzanowska M., Ahnert B. Mercury exposure from the consumption of dietary supplements containing vegetable, cod liver, and shark liver oils. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2023, V. 20, no. 3, article 2129. DOI: 10.3390/ijerph20032129
 25. Damak F., Asano M., Baba K., Suda A., Araoka D., Wali A., Isoda H., Nakajima M., Ksibi M., Tamura K. Interregional traceability of Tunisian olive oils to the provenance soil by multielemental fingerprinting and chemometrics. *Food Chemistry*. 2019, V. 283, pp. 656–664. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.01.082
 26. Шаповал О.А., Мухина М.Т., Боровик Р.А., Можарова И.П. Влияние редкоземельных элементов на рост и развитие растений пшеницы в начальные периоды развития // Плодородие. 2022. № 5. С. 40–45. DOI: 10.25680/S19948603.2022.128.11
 27. Котельникова А.Д., Рогова О.Б., Столбова В.В. Лантаноиды в почве: поступление, содержание, влияние на растения, генотоксичность (обзор) // Почвоведение. 2021. № 1. С. 100–119. DOI: 10.31857/S0032180X21010056
 28. González A., Ghanjaoui M.E., El Rhazi M., de la Guardia M. Inductively coupled plasma optical emission spectroscopy determination of trace element composition of argan oil. *Food Science and Technology International*. 2010, V. 16, pp. 65–71. DOI: 10.1177/1082013209353343
 29. Брянин С.В., Сорокина О.А. Вертикальное распределение редкоземельных элементов в почвах южной тайги Верхнего Приамурья, сформированных на горных породах различного состава // Тихоокеанская геология. 2015. Т. 34. № 3. С. 104–111.
 30. Дабах Е.В. Редкоземельные элементы в почвах природных и техногенных ландшафтов Кировской области // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 3. С. 56–67.

31. Ladonin D.V. Lanthanides in soils of the Cherepovets steel mill impact zone. *Eurasian Soil Science*. 2017, V. 50, no. 6, pp. 672–680. DOI: 10.1134/S1064229317060047
32. Зыкина Н.Г., Кузнецов М.Ф. К вопросу о фоновом содержании некоторых микроэлементов (V, Ni, Ti, Sn, Sc, Sr, Zr, Y, Yb) в почвах Удмуртии // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2020. Т. 30. № 1. С. 43–52. DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-1-43-52
33. Лукин С.В. Мониторинг содержания хрома в сельскохозяйственных культурах и почвах // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 6. С. 54–55
34. Отмахов В.И., Кускова И.С., Петрова Е.В. и др. Аналитическое сопровождение получения литийсодержащих растительных экстрактов ритмомоделирующего действия // Вестник Томского государственного университета. Химия. 2016. № 2. С. 35–44. DOI: 10.17223/24135542/4/4
35. Пономарева Н.А. Коэффициент биологического поглощения рубидия некоторых кормовых культур южной лесостепной зоны Омской области // Омский научный вестник. 2003. № 3. С. 135–138
36. Спорыхина Л.В., Быховский Л. З., Чернова А. Д. Сырьевая база рассеянных элементов России: состояние и использование // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2020. № 2. С. 23–34
37. Иванов А.Ф., Ермохин Ю.И. О содержании стронция в растениях кормовых, овощных культур и картофеля в конкретных природных условиях // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2014. № 1. С. 15–20
38. Camin F. et al. Characterisation of Authentic Italian Extra-Virgin Olive Oils by Stable Isotope Ratios of C, O and H and Mineral Composition. *Food Chemistry*. 2010, V. 118, pp. 901–909. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.04.059
39. Damak F., Bougi M.S.M., Araoka D. et al. Soil geochemistry, edaphic and climatic characteristics as components of Tunisian olive terroirs: Relationship with the multielemental composition of olive oils for their geographical traceability. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*. 2021, V. 6, article 37 DOI: 10.1007/s41207-021-00241-y
40. Russo G., Beritognolo I., Bufacchi M., Stanzione V., Pisanelli A., Ciolfi M., Lauteri M., Brush S.B. Advances in biocultural geography of olive tree (*Olea europaea* L.) landscapes by merging biological and historical assays. *Scientific Reports*. 2020, V. 10, article 7673. DOI: 10.1038/s41598-020-64063-8
41. Beltrán M., Sánchez-Astudillo M., Aparicio R., García-González D.L. Geographical traceability of virgin olive oils from south-western Spain by their multi-elemental composition. *Food Chemistry*. 2015, V. 169, pp. 350–357. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.07.104
42. Васильев В.А., Реснянская А.С. Рубидий, стронций, литий как индикаторы места происхождения и способа производства ценных пищевых растительных масел // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2025. № 3. С. 70–78. DOI 10.17586/2310-1164-2025-18-3-70-78
43. 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

References

1. The share of counterfeit products in the vegetable oil market in Russia exceeded 18%. *Izvestiya*. 2023. URL: <https://iz.ru/1579263/2023-09-26/dolia-falsifikata-na-rynke-rastitelykh-masel-v-rossii-prevysila-18> (Accessed 25.05.2026). (In Russian)
2. Grajzer M., Kozłowska W., Zalewski I. et al. Nutraceutical prospects of pumpkin seeds: A study on the lipid fraction composition and oxidative stability across eleven varieties. *Foods*. 2025, V. 14, article 354. DOI: 10.3390/foods14030354
3. Özçakmak S., Almatar M., Var I., Tekin A. Investigation on the microbiological quality and fatty acid methyl esters composition of commercially available cold-pressed *Nigella sativa* L. oil. *Current Analytical Chemistry*. 2023, V. 19. DOI: 10.2174/0115734110265562230927091336
4. Rudakov O.B., Rudakova L.V., Saranov I.A. et al. Identification of adulterated cocoa butter by using HPLC to evaluate the composition of triglyceride. *Sorbtsionnye i Khromatograficheskie Protssessy*. 2020, V. 20, no. 3, pp. 393–399. – DOI: 10.17308/sorpchrom.2020.20/2876. (In Russian)
5. Liu Y., Lv M., Wang Y., Wei J., Chen D. Analytical strategies for tocopherols in vegetable oils: Advances in extraction and detection. *Pharmaceuticals (Basel)*. 2025, V. 18, no. 8, article 1137. DOI: 10.3390/ph18081137
6. Hu Z., Yang K., Yu A. The Extraction technologies, nutritional compositions, and health benefits of camellia oleifera seed oil – A review. *Journal of Oleo Science*. 2025, V. 74, no. 10, pp. 859–878. DOI: 10.5650/jos.ess25082
7. Albaladejo-García J.A., Zabala J.A., Martínez-García G., Martínez-Paz J.M. Local or ecological? An agri-food choice experiment for extra virgin olive oil. *Agriculture*. 2025, V. 15, no. 16, p. 1754. DOI: 10.3390/agriculture15161754
8. Pobilat A.E., Voloshin E.I. Microcells in agricultural plants (review). *Microelements in Medicine*. 2021, V. 22, no. 3, pp. 3–14. DOI: 10.19112/2413-6174-2021-22-3-3-14. (In Russian)
9. Oganesyants L.A., Panasyuk A.L., Kuz'mina E.I. et al. Modern methods for vegetable oils from various raw materials identification. *Food Industry*. 2021, no. 12. pp. 56–59. DOI 10.52653/PPI.2021.12.12.010. (In Russian)
10. Rapa M., Ferrante M., Rodushkin I., Conti M.E. Safety and quality of grapes: Elemental, isotopic and chemometric

- analysis from Montepulciano d'Abruzzo PDO Chain. *Agriculture*. 2024, V. 14, no. 6, article 966. DOI: 10.3390/agriculture14060966
11. Zhang J, Shen Y, Ma N, Xu G. Authentication of apples from the Loess Plateau in China based on interannual element fingerprints and multidimensional modelling. *Food Chemistry X*. 2023, V. 20, no. 11, article 100948. DOI: 10.1016/j.fochx.2023.100948
 12. Pepi S., Chicca M., Telloli C. et al. Discrimination of geographical origin of hop (*Humulus lupulus* L.) using geochemical elements combined with statistical analysis. *Environmental Geochemistry and Health*. 2019, V. 41, no. 3, pp. 1559–1576. DOI: 10.1007/s10653-018-0232-7
 13. Tian L., Zheng S., Zhou H. et al. Mapping the origins of Chinese grape wine: Unlocking geographical regions through chemometrics, stable isotopes, and multielement analysis. *Journal of Food Quality*. 2025, V. 2025, article 5556138. DOI: 10.1155/jfq/5556138
 14. Cristea G., Dehelean A., Romulus P. et al. Characterization and differentiation of wild and cultivated berries based on isotopic and elemental profiles. *Applied Sciences*. 2023, V. 13, article 2980. DOI: 10.3390/app13052980
 15. Dehelean A., Cristea G., Romulus P. et al. Assigning the geographical origin of meat and animal rearing system using isotopic and elemental fingerprints. *Applied Sciences*. 2022, V. 12, article 12391. DOI: 10.3390/app122312391
 16. Mara A., Caredda M., Addis M. et al. Elemental fingerprinting of pecorino Romano and pecorino Sardo PDO: Characterization, authentication and nutritional value. *Molecules*. 2024, V. 29, article 869. DOI: 10.3390/molecules29040869
 17. Mara A., Deidda S., Caredda M. et al. Multi-elemental analysis as a tool to ascertain the safety and the origin of beehive products: Development, Validation, and application of an ICP-MS method on four unifloral honeys produced in Sardinia, Italy. *Molecules*. 2022, V. 27, article 2009. DOI: 10.3390/molecules2706200
 18. Pan X., Yan W., Wu X. et al. Replacing traditional coffee appraisers with inductively coupled plasma – mass spectrometry (ICP-MS): From manual sensory evaluation to scientific analysis. *Food Chemistry X*. 2024, V. 24, article 101980. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.101980
 19. Zhuang Z., Mi Z., Kong L. et al. Accumulation of potentially toxic elements in Chinese tea (*Camellia sinensis*): Towards source apportionment and health risk assessment. *Science of the Total Environment*. 2022, V. 851, article 158018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.158018
 20. Yadav A., Jamwal R., Kumari S. et al. Assessment of geographical origin of virgin coconut oil using inductively coupled plasma mass spectrometry along with multivariate chemometrics. *Current Research in Food Science*. 2022, V. 5. DOI: 10.1016/j.crfs.2022.03.003
 21. Nasr E.G., Epova E.N., de Diego A. et al. Trace elements analysis of Tunisian and European extra virgin olive oils by ICP-MS and chemometrics for geographical discrimination. *Foods*. 2021, V. 11, no. 1, article 82. DOI: 10.3390/foods11010082
 22. Astolfi M.L., Marini F., Frezzini M.A., Massimi L., Capriotti A.L., Montone C.M., Canepari S. Multielement characterization and antioxidant activity of Italian extra-virgin olive oils. *Front Chem*. 2021, V. 9, article 769620. DOI: 10.3389/fchem.2021.769620
 23. Souza R., Toloza Toloza C., Aucélio R. Fast determination of trace metals in edible oils and fats by inductively coupled plasma mass spectrometry and ultrasonic acidic extraction. *Journal of Trace Elements and Minerals*. 2022, V. 1, article 100003. DOI: 10.1016/j.jtemin.2022.100003
 24. Brodziak-Dopierała B., Fischer A., Chrzanowska M., Ahnert B. Mercury exposure from the consumption of dietary supplements containing vegetable, cod liver, and shark liver oils. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2023, V. 20, no. 3, article 2129. DOI: 10.3390/ijerph20032129
 25. Damak F., Asano M., Baba K., Suda A., Araoka D., Wali A., Isoda H., Nakajima M., Ksibi M., Tamura K. Interregional traceability of Tunisian olive oils to the provenance soil by multielemental fingerprinting and chemometrics. *Food Chemistry*. 2019, V. 283, pp. 656–664. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.01.082
 26. Shapoval O.A., Mukhina M.T., Borovik R.A., Mozharova I.P. The influence of rare earth elements on the growth and development of wheat plants in the initial periods of development. *Plodorodie*. 2022, no. 5, pp. 40–45. DOI: 10.25680/S19948603.2022.128.11. (In Russian)
 27. Kotelnikova A.D., Rogova O.B., Stolbova V.V. Lanthanides in the soil: routes of entry, content, effect on plants, and genotoxicity (A review). *Eurasian Soil Science*. 2021, no. 1, pp. 100–119. DOI: 10.31857/S0032180X21010056. (In Russian)
 28. González A., Ghanjaoui M.E., El Rhazi M., de la Guardia M. Inductively coupled plasma optical emission spectroscopy determination of trace element composition of argan oil. *Food Science and Technology International*. 2010, V. 16, pp. 65–71. DOI: 10.1177/1082013209353343
 29. Bryanin S.V., Sorokina O.A. Vertical distribution of rare earth elements in southern taiga soils of Upper Priamurye formed on the mountain rocks of various composition. *Russian Journal of Pacific Geology*. 2015, V. 34. no. 3, pp. 104–111. (In Russian)
 30. Dabakh E.V. Rare earth elements in soil of natural and technogenic landscapes of Kirov region. *Theoretical and Applied Ecology*. 2016, no. 3, pp. 56–67. (In Russian)

31. Ladonin D.V. Lanthanides in soils of the Cherepovets steel mill impact zone. *Eurasian Soil Science*. 2017, V. 50, no. 6, pp. 672–680. DOI: 10.1134/S1064229317060047
32. Zykina N.G., Kuznetsov M.F. On background content of some microelements (V, Ni, Ti, Sn, Sc, Sr, Zr, Y, Yb) in soils of Udmurtia. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*. 2020, V. 30, no. 1, pp. 43–52. DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-1-43-52. (In Russian)
33. Lukin S.V. Monitoring of the chromium content in crops and lands. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2011, no. 6, pp. 54–55. (In Russian)
34. Otmakhov V.I., Kuskova I.S., Petrova E.V. et al. Analytical support to obtain lithium-containing plant extracts of the rhythm-modulating action. *Tomsk State University Journal of Chemistry*. 2016, no. 2, pp. 35–44. DOI: 10.17223/24135542/4/4. (In Russian)
35. Ponomareva N.A. Coefficient of biological absorption of rubidium of some fodder crops of the southern forest-steppe zone of the Omsk region. *Omsk Scientific Bulletin*. 2003, no. 3, pp. 135–138. (In Russian)
36. Sporykhina L.V., Bykhovsky L.Z., Chernova A.D. The state and usage of Russian mineral resource base of scattered elements. *Mineral Resources of Russia. Economics and Management*. 2020, no. 2, pp. 23–34. (In Russian)
37. Ivanov A.F., Ermokhin Yu.I. About the content of strontium in plants of forage, vegetable crops and potatoes in the concrete environment. *Vestnik of Omsk SAU*. 2014, no. 1, pp. 15–20. (In Russian)
38. Camin F. et al. Characterisation of Authentic Italian Extra-Virgin Olive Oils by Stable Isotope Ratios of C, O and H and Mineral Composition. *Food Chemistry*. 2010, V. 118, pp. 901–909. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.04.059
39. Damak F., Bougi M.S.M., Araoka D. et al. Soil geochemistry, edaphic and climatic characteristics as components of Tunisian olive terroirs: Relationship with the multielemental composition of olive oils for their geographical traceability. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*. 2021, V. 6, article 37 DOI: 10.1007/s41207-021-00241-y
40. Russo G., Beritognolo I., Bufacchi M., Stanzione V., Pisanelli A., Ciolfi M., Lauteri M., Brush S.B. Advances in biocultural geography of olive tree (*Olea europaea* L.) landscapes by merging biological and historical assays. *Scientific Reports*. 2020, V. 10, article 7673. DOI: 10.1038/s41598-020-64063-8
41. Beltrán M., Sánchez-Astudillo M., Aparicio R., García-González D.L. Geographical traceability of virgin olive oils from south-western Spain by their multi-elemental composition. *Food Chemistry*. 2015, V. 169, pp. 350–357. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.07.104
42. Vasilyev V.A., Resnyanskaya A.S. Rubidium, strontium, lithium as indicators of place of origin and method of production for valuable edible vegetable oils. *Processes and Food Production Equipment*. 2025, no. 3, pp. 70–78. DOI: 10.17586/2310-1164-2025-18-3-70-78. (In Russian)
43. Vasilyev V.A., Resnyanskaya A.S. Synchronized scanning fluorescence spectra method for grape seed oil authenticity identification. *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

Юлия Александровна Очередко – канд. техн. наук, доцент

Анна Станиславовна Реснянская – канд. хим. наук, доцент

Information about the authors

Ocheredko Yuliya Aleksandrovna, Ph.D. (Eng.), 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 23.03.2026

Одобрена после рецензирования 10.06.2026

Принята к публикации 11.06.2026

The article was submitted 23.03.2026

Approved after reviewing 10.06.2026

Accepted for publication 11.06.2026