

Научная статья

УДК 665.3

DOI: 10.17586/2310-1164-2025-18-3-70-78

Рубидий, стронций, литий как индикаторы места происхождения и способа производства ценных пищевых растительных масел

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

*resnyanskaya-as@yandex.ru

Аннотация. Определяли содержание рубидия, стронция и лития в образцах масел тыквы, арбуза, дыни, черного тмина с целью оценить возможность использования полученных данных для идентификации места происхождения масел и их производителя. Изучали семь образцов масел, полученных из сырья, выращенного в Астраханской области, а также масла виноградной косточки Краснодарского края высокочувствительным методом атомной адсорбции с электротермической атомизацией пробы с использованием эффекта Земана и танталового балласта. Масло бахчевых получено путем отжима на ручном прессе авторами статьи, виноградной косточки – с промышленного производства. Для иллюстрации также исследовано рафинированное дезодорированное масло подсолнечника, приобретенное в сетевом магазине шаговой доступности. Особенностью Rb, Sr и Li является независимость их содержания от техногенных факторов: внесения удобрений, гербицидов, материала изготовления сельскохозяйственной техники, технологического оборудования и т.д. Уровень этих металлов в сырье и маслах зависит только от их природного регионального геохимического распределения в почвах. Показано, что микроэлементный анализ премиальных растительных масел прямого отжима наряду с другими современными методами является важным элементом в общей системе идентификации их подлинности.

Ключевые слова: пищевые растительные масла; тыква; дыня; арбуз; индикатор места происхождения; рубидий; стронций; литий

Original article

Rubidium, strontium, lithium as indicators of place of origin and method of production for valuable edible vegetable oils

Vladimir A. Vasilyev¹, Anna S. Resnyanskaya^{2*}¹Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia²Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, Russia

*resnyanskaya-as@yandex.ru

Abstract. The content of rubidium, strontium, and lithium was determined in samples of pumpkin, watermelon, melon, and black cumin oils in order to assess the possibility of using the obtained data to identify the origin of the oils and their manufacturer. Seven samples of oils obtained from raw materials grown in the Astrakhan region, as well as grape seed oil from the Krasnodar region, were studied using a highly sensitive method of atomic adsorption with electrothermal atomization of the sample using the Zeeman effect and tantalum ballast. The melon oil was obtained by pressing with a manual press by the authors of the article, and the grape seed oil was obtained from industrial production. As an alternative example, refined deodorized sunflower oil purchased from a nearby chain grocery store was also studied. A distinctive feature of Rb, Sr, and Li is that their content is independent of anthropogenic factors: the use of fertilizers, herbicides, the materials of the agricultural machinery or technological equipment, etc. The level of these metals in raw materials and oils depends only on their natural regional geochemical presence in soils. It has been shown that microelement analysis of premium cold-pressed vegetable oils, along with other modern methods, is an important element in the overall system of identifying their authenticity.

Keywords: edible vegetable oils; pumpkin; melon; watermelon; place of origin; rubidium; strontium; lithium

Введение

Географическая идентификация места происхождения сырья, используемого для изготовления ценных пищевых растительных масел и способа его производства, является актуальной проблемой, стоящей перед испытательными лабораториями пищевой отрасли. Покупателей начинает интересовать не только качество и безопасность растительных масел функционального назначения, но и географическое происхождения сырья, и технология изготовления. При этом предпочтение отдается качественному сырью местного производства, выработанному без использования органических растворителей. Масло,

изготовленное из семечек астраханских бахчевых – тыквы, арбуза, дыни или краснодарского винограда, будет иметь большую коммерческую привлекательность в сравнении с продукцией азиатских стран. В связи с этим для того, чтобы создать конкурентоспособную среду необходимо иметь инструменты идентификации масленичного сырья по географическому признаку. В России данному направлению уделяется недостаточное внимание, и направлено оно на идентификацию вин географического наименования и защищенного места происхождения. Основными методами установления места происхождения сырья для производства растительных масел является определение состава легких стабильных изотопов $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ и $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ его микроэлементного состава. Использование метода масс-спектрометрии стабильных изотопов показывает высокую эффективность дискриминации премиальных растительных масел на предмет фальсификации, но не всегда технически осуществимо вследствие низкой доступности приборной базы [1]. При этом определение микроэлементного состава пищевых продуктов является рутинным анализом в практике лабораторных исследований. Минеральные элементы попадают в состав масла из семян при прямом отжиме в крайне небольшом количестве, а в рафинированных маслах могут отсутствовать. В свою очередь минеральный состав семян определяется составом почв. Высокая химизация сельского хозяйства, а также использование различных сплавов в технике изменяют минеральный состав почв и делают большинство металлов малоприспособными в качестве маркеров происхождения сырья. В связи с этим, в качестве таковых было предложено использовать металлы, малораспространенные в сельском хозяйстве, концентрация которых остается относительно стабильной длительный период времени. В технологии винодельческих продуктов хорошо зарекомендовала себя практика определения концентраций Rb, Sr, Li [2], которые могут отличаться для разных регионов в десятки и сотни раз. Содержание Rb в почвах в основном наследуется от материнских пород. Об этом свидетельствует тот факт, что самые высокие средние содержания Rb 100–120 мг/кг наблюдаются в почвах, развитых на гранитах и гнейсах, и в аллювиальных почвах. Самые низкие концентрации рубидия (30–50 мг/кг) характерны для песчаных почв. Содержание лития обычно хорошо коррелирует с содержанием Rb. Распределение Li в профиле почвы подчиняется общим тенденциям циркуляции почвенных растворов. Содержание Sr в почвах в большей степени контролируется составом материнских пород и климатом. Интервал его содержаний в поверхностных горизонтах составляет 18–3500 мг/кг, причем наивысшие значения характерны для русских черноземов и лесных почв [12]. Большинство работ, изучающих микроэлементный состав растительных масел, посвящено оливковому и аргановому маслам [3–5]. Металлы Sr, Rb и Li содержатся в оливковом масле в различных концентрациях, хотя они и не являются необходимыми для роста и развития оливкового дерева. Их концентрация в основном зависит от типа почвы и коренных пород. Таким образом, эти элементы могут быть использованы для определения географического происхождения масла [6]. В таблице 1 приводятся литературные данные по содержанию Sr, Rb и Li в оливковом масле.

Таблица 1. Содержание Sr, Rb и Li в оливковом масле в зависимости от региона

Table 1. Sr, Rb, and Li content in olive oil depending on the region

Образец	Наименование	Регион, произрастания сырья	Концентрация мкг/кг ⁻¹			Источник
			Li	Rb	Sr	
1	масло оливковое	Италия	0,02	0,39	0,3	7
2	масло оливковое	Испания	6,4	2,6	н. д.	8, 9
3	масло оливковое	Тунис	н. д.*	н. д.	40,0	10
4	масло оливковое	Италия (Чиленто)	0,25	н. д.	н. д.	11
5	масло оливковое	Италия (Ирпиния)	0,23	н. д.	н. д.	11
6	масло оливковое	Италия (Соленто)	43,53	н. д.	н. д.	11
7	масло оливковое	Италия (Колабрия)	0,01	0,237	1,23	8
8	масло оливковое	Италия (Венето)	0,064	0,336	1,01	8

*н. д. – нет данных

Работ, посвященных определению Sr, Rb и Li в маслах бахчевых культур и виноградной семечки, обнаружить не удалось. Метод атомной адсорбции с электротермической атомизацией пробы (ЭТА-ААС) является одним из наиболее точных и чувствительных для определения микроконцентраций металлов

в различных пробах, широко применяется в практике лабораторного анализа пищевых продуктов, в том числе для определения Rb, Sr и Li [12]. По сравнению с масс-спектрометрией на основе индуктивно-связанной плазмы (ИСП-МС) метод более прост в части используемого оборудования. Приборы, реализующие ЭТА-ААС, используются в рутинном анализе питьевой и сточной воды, поэтому входят в стандартное оснащение большинства испытательных лабораторий.

Цель работы – определить 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 ЭТА-ААС. Оценить возможность использования полученных данных для идентификации места происхождения масел.

Материалы и методы

Образцы. В ходе проведения работы методом атомной адсорбции с электротермической атомизацией пробы определены концентрации Rb, Sr, Li в восьми образцах ценных растительных масел функционального назначения: масло виноградной косточки (1 образец), масло семян тыквы (1 образец), масло семян арбуза (2 образца), масло семян дыни (2 образца), масло семян черного тмина (1 образец), масло подсолнечное рафинированное дезодорированное, приобретенное в сетевом магазине шаговой доступности (1 образец). Для корректной интерпретации результатов исследования необходимо знать место происхождения сырья с высокой точностью. Приобретение образцов у сторонних организаций не позволяло решить эту задачу, т. к. продавец не обладал данной информацией. В связи с этим только образцы виноградного масла и черного тмина были получены от производителя (точно известно место сбора сырья), сырье для получения остальных образцов закупалось непосредственно в поле (бахче) и перерабатывалось на масло по технологии, которая будет описана ниже. Данные по используемым в ходе исследования образцам масел приводятся в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики образцов

Table 2. Characteristics of the samples

Образец	Наименование	Регион произрастания сырья	Сорт /средний вес образцов, кг
1*	масло виноградных косточек Velvet Skin нерафинированное первого холодного отжима	Краснодарский край, Темрюкский район, пос. Сенной	Совиньон-блан
2	масло тыквенной семечки нерафинированное первого холодного отжима	Астраханская область, Харабалинский район, пос. Бугор	Волжская Серая/5,7
3	масло арбузной семечки нерафинированное первого холодного отжима	Астраханская область, Камызякский район, с. Чаган	Холодок/11,5
4	масло арбузной семечки нерафинированное первого холодного отжима	Астраханская область, Икрянинский район, с. Красные Баррикады	Холодок/12,7
5	масло дынной семечки нерафинированное первого холодного отжима	Астраханская область, Харабалинский район, пос. Бугор	Кампир (бабушка)/2,6
6	масло дынной семечки нерафинированное первого холодного отжима	Астраханская область, Камызякский район, с. Чаган	Эфиопка/2,5
7**	масло черного тмина нерафинированное первого холодного отжима	Астраханская область, Приволжский район, пос. Ивановский	н. д****
8***	масло подсолнечное рафинированное дезодорированное	н. д	н. д

*Для образца подтверждена дата производства; полностью известна вся технологическая цепочка, начиная от входного контроля качества сырья, до розлива в потребительскую тару

**Образец приобретен в специализированном магазине, реализующего продукцию из собственного сырья, произведенного фермерским хозяйством, путем холодного прессования

***Образец приобретен в магазине шаговой доступности, способ производства и место произрастания сырья неизвестно, использован в качестве доступного рафинированного дезодорированного масла

****н. д. – нет данных

Получение масел. Семена растительных масел отбирались из сырья вручную. Для этого из тыквы и дыни сначала механическим образом отделялась плацентарная ткань и энокарпий, из которых семена выбирались вручную и промывались дистиллированной водой. Семена арбуза выделялись непосредственно из мякоти. Семечки высушивали до влажности 6% в изотермическом режиме при 80°C и шелушились механическим способом. Семена измельчались до фракции 2–3 мм в кофемолке Bosch MKM 6003 (Германия). Масло из очищенных семян отжималось с помощью ручного механического шнекового пресса LAONAO ZYJ0001 (Китай) при температуре 60°C.

Методика подготовки пробы. Непосредственный ввод растительных масел в графитовую кювету атомизатора вызывает сильное задымление вследствие образования коптящих продуктов сгорания, поэтому перед проведением анализа осуществлялась стандартная процедура кислотной экстракции, хорошо зарекомендовавшая себя в оценке оливковых масел прямого отжима при определении низких концентраций исследуемых элементов [7]. Навеску образца массой 15 г отвешивали в конический флакон из полипропилена объемом 15 см³ и добавляли туда 15 мл 1% водного раствора HNO₃/0,2% HCl. Смесь встряхивали в течение 60 с и помещали в ультразвуковую ванну (450 Вт, 5 мин) для извлечения микроэлементов из масла в кислотный раствор. Смесь центрифугировали (4000 об/мин, 5 мин) для разделения двух фаз. Верхняя масляная фаза была аккуратно удалена путем аспирации, а нижняя водная фаза перенесена в стеклянную виалу, которая хранилась в холодильнике при температуре 4°C не более 3 суток. Перед непосредственным проведением анализа пробу из виалы с помощью одноканального микродозатора на 1000 мкл перенесли в пипетку Эппендорфа, установленную в турель автодозатора атомно-адсорбционного спектрофотометра.

Оборудование. Весы лабораторные ЕК — 610i (A&D Co. LTD, Япония). Ультразвуковая ванна ПСБ-4035-05 предназначена для очистки, смешивания, перемешивания, измельчения, дегазации жидкостей, ускорения химических реакций, экстракции сырья, получения стойких эмульсий и др., рабочая частота 35 кГц, количество излучателей 3 шт. по 150 Вт каждый. Центрифуга DSC-302SMD, частота вращения 300 ... 4000 об/мин.

Определение содержания маркерных металлов лития, рубидия и стронция проводили с помощью атомно-абсорбционного спектрометра с реализацией обратного эффекта Зеемана «Квант Z» (ВНИИ оптико-физических измерений, Россия). Прибор имеет широкий спектральный диапазон 185–1100 нм. Метод атомизации электротермический. Максимальная температура до 2800°C. В качестве источника света использовали спектральные лампы с полым катодом типа ЛТ 6М с аналитическими линиями для рубидия, стронция и лития соответственно 780; 460,7; 670,8 нм.

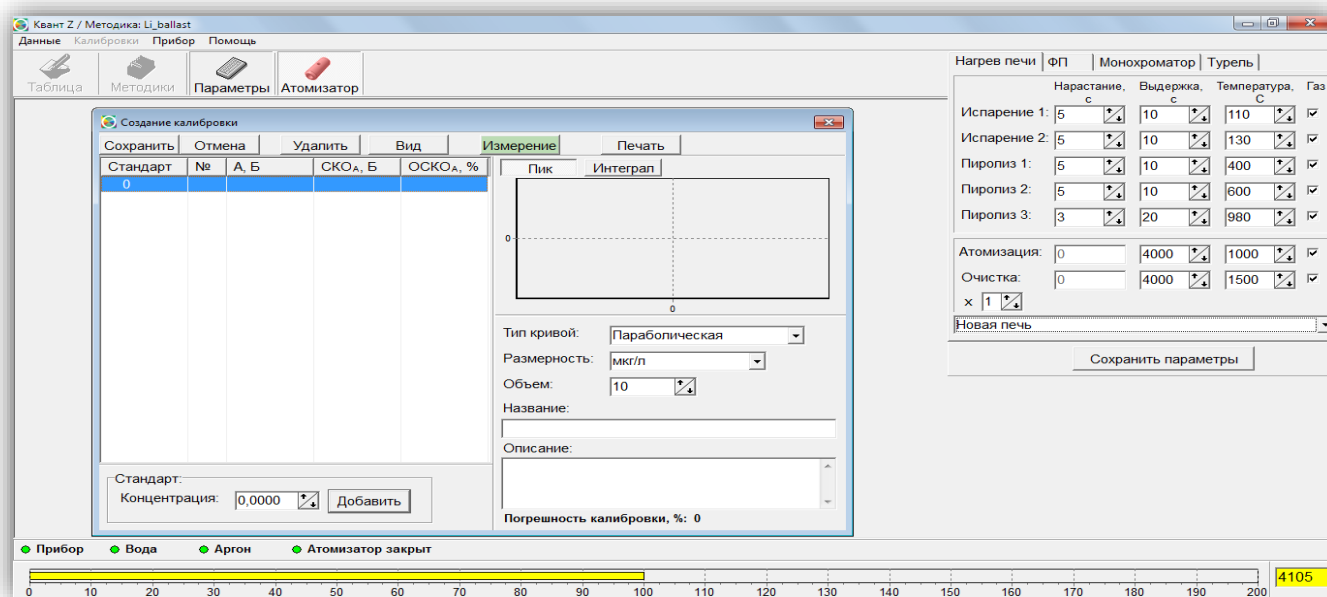


Рисунок – Программа прогрева печи атомизатора при определении лития с балластом
Figure. Atomizer furnace heating program for determination of lithium with ballast

Методика анализа. Определение маркерных элементов в маслах производили в графитовой печи при параметрах атомно-адсорбционного спектрофотометра, приведенных в таблице 3.

Таблица 3. Основные настройки прибора «Квант Z»

Table 3. Basic settings Kvant Z apparatus

Позиция	Длина волны, нм	Турель	Фотоумножение	Ток лампы, мА
рубидий, Rb	780,0	634/114	9	20
стронций, Sr	460,7	832/111	32	25
литий, Li	670,8	1032/107	9	5

Остальные настройки (их несколько десятков) прибор выбирает автоматически в соответствии с интегрированной для каждого определяемого элемента программой заводских настроек. В качестве примера (рисунок) приведена одна из вкладок программы заводской настройки определения лития с использованием танталового балласта.

В ходе эксперимента применяли модифицированную методику определения Rb, Sr, Li с использованием танталового балласта, помещенного в графитовую кювету, называемая «балласт в графитовой печи» (методология БГП). Для этого стандартный танталовый стержень цилиндрической формы длиной 8–9 мм, диаметром 1 мм, разработанный и произведенный ВНИИ оптико-физических измерений, помещали внутрь вольфрамизированной графитовой печи и запускали стандартную программу определения. После стандартного запуска прибора и его прогрева по методике, заданной в техническом описании, пробирку Эппендорфа с пробой помещали в турель прибора и запускали программу, интегрированную в прибор. Проба вводилась с помощью автосемплера в объеме 10 мкл. Для каждой пробы проводили три параллельных измерения концентрации исследуемого образца: программа вычисляет среднее арифметическое значение концентрации исследуемого элемента $C_{\text{ср}}$, среднее квадратичное отклонение $СКО = S$ трех параллельных измерений концентраций и относительное среднее квадратичное отклонение $ОСКО$. Данные по минимально определяемой концентрации для исследуемых элементов, приводимые в технической документации на измерительный прибор, представлены в таблице 4.

Таблица 4. Характеристики минимальных концентраций Rb, Sr, Li, определяемых на приборе «КВАНТ-Z»

Table 4. Characteristics of minimum concentrations of Rb, Sr, Li, determined by the QUANT-Z apparatus

Позиция	Масса характеристическая, пг	Концентрация характеристическая С, нг/л	Предел обнаружения С, нг/л
рубидий Rb	0,88	180	80
стронций Sr	2,30	230	100
литий Li	0,89	88	40

Максимальная определяемая концентрация элементов практически не ограничена и регулируется калибровкой прибора и разбавлением исследуемого раствора в случае необходимости до значения оптической плотности не более 0,4D.

Результаты и их обсуждение

Содержание группы маркерных микроэлементов в исследуемых образцах масел варьируется в достаточно широких пределах (таблица 5). Причины подобного распределения различны. В большинстве случаев концентрация исследуемых элементов коррелирует с их содержанием в почвах. Содержание рубидия и лития в растениях зависит от кислотности почвы, степени обеднения почвы ионами калия, особенностями всасывающей и проводниковой системы растения. Количество стронция коррелирует с концентрацией калия и составляет в среднем 1/100 от 1/236 у лука до 1/18 в клубнях картофеля. Для плодов тыквы и томатов это значение составляет в 1/125 и 1/226 соответственно [14]. Абсолютное содержание стронция в пищевых растениях по указанным причинам может колебаться в значительных пределах. Так для брюквы и лука, возделываемых на черноземах, в зависимости от места выращивания этот показатель варьируется диапазоне 37,2–80,2 и 29,0–115 мг/кг соответственно. Для мякоти тыквы и семян этот параметр в среднем составлял 29,0 и 3,0 мг/кг сухой

массы соответственно [14, 15]. Из приведенных данных видно, что наибольшее количество лития содержится в масле черного тмина, который обладает высокой способностью поглощать его из почвы, и достигает 4,6 мг/кг [16]. Содержание лития в тыкве и дыне имеет большой разброс значений, в среднем составляя 0,06 мг/кг [17]. Виноград так же способен к высокому накоплению лития и рубидия, что обуславливает их высокие содержания в вине.

Таблица 5. Содержание Sr, Rb и Li в исследуемых образцах

Table 5. Sr, Rb, and Li content in the samples under study

Образец	Сырье	Регион, произрастания сырья	Концентрация мкг/кг ⁻¹		
			Li	Rb	Sr
1	виноградные косточки	Россия, Краснодарский край	1,46	7,56	3,65
2	тыквенные семечки	Россия, Астраханская область	0,75	1,24	9,77
3	арбузные семечки	Россия, Астраханская область	0,84	1,40	4,54
4	арбузные семечки	Россия, Астраханская область	1,19	1,97	5,11
5	дынные семечки	Россия, Астраханская область	1,13	1,61	5,05
6	дынные семечки	Россия, Астраханская область	0,87	1,34	6,11
7	семена черного тмина	Россия, Астраханская область	2,33	3,87	12,83
8	семена подсолнечника	н. д.*	<0,04	<0,08	0,70

*н. д. – нет данных

Астраханская область располагается в непосредственной близости от Каспийского моря, что во многом определяет количество исследуемых элементов в почвах, грунтовых и поверхностных водах. Так уровень лития и стронция в дельте Волги значительно превосходит средние значения показателей по литию – 1,84 и 3,88 мкг/л, по стронцию – 60 и 700 мкг/л. Содержание Li и Sr на южной границе Северного Каспия может составлять 268 и 12100 мкг/л, что значительно превышает показатель мирового океана [18]. Помимо этого, в Астраханской области располагается большое число соленых озер, рапа которых содержит высокие концентрации щелочных элементов, в том числе Li и Rb. Данные факты обуславливают высокие показатели исследуемых элементов в изучаемом растительном сырье. В процессе технологической переработки методом холодного прямого отжима небольшая часть лития, стронция и рубидия переходит в состав масла. При прочих равных условиях, чем больше концентрация данных элементов в сырье, тем выше она и в масле, чем и объясняется относительно высокий уровень Li, Sr и Rb в исследуемых образцах. Большое содержание этих элементов в масле виноградной косточки обусловлено значительным количеством частиц мякоти и кожицы винограда в исходном сырье, из которых находящиеся в них металлы в процессе отжима переходят в готовый продукт. Соли исследуемых элементов с неорганическими ионами практически нерастворимы в маслах, поэтому, вероятно, присутствуют в составе сложных органических систем: солей свободных жирных кислот, лецитинов, стерингов, токоферолов, полифенольных соединений. Хорошая совместимость липидов и солей данных металлов с жирными кислотами подтверждается использованием соответствующих им стеаратов в качестве компонентов специальных промышленных смазок. В процессе экстракции органическим растворителем с последующей рафинацией и дезодорацией все эти соединения удаляются из масел, переходя в состав осадка или сорбента. В связи с этим, как видно из полученных данных, пищевые масла, произведенные экстракционными методами, не содержат значимых количеств исследуемых маркерных элементов, что является для них характеристическим критерием при определении способа производства. Степень достоверности дискриминации масел может быть значительно повышена сочетанием данных по микроэлементному составу образца и его профиля маркерных соединений, содержащих флуорофорные группы, полученные современными методами флуоресцентной спектроскопии [19, 20].

Заключение

Микроэлементный анализ премиальных растительных масел прямого отжима наряду с другими современными методами является важным элементом в общей системе идентификации их подлинности. Выбранные для исследования маркерные металлы рубидий, стронций, литий имеют низкую вероятность техногенной контаминации масел, вследствие их отсутствия в составе сплавов для изготовления

технологического оборудования общего использования (машины и аппараты пищевых производств, сельскохозяйственная техника), они не применяются в составе удобрений и ядохимикатов. Концентрация исследуемых элементов в маслах зависит от исходного содержания в масличном сырье и способа производства. Уровень присутствия Rb, Sr, Li в сырье, используемом при изготовлении растительных масел, определяется, в основном, концентрацией их в почве и видовыми особенностями корневой фильтрации. При этом первый фактор характеризует географию и геологию места происхождения, а второй – вид используемого сырья. Таким образом, определение концентраций Rb, Sr, Li в составе премиальных масел, при наличии статистически значимой информации по их содержанию в составе выпускаемой легальной продукции, может служить надежным критерием идентификации подлинности продукции данного товарного сегмента.

Литература

1. Васильев В.А., Реснянская А.С. Идентификация подлинности масла виноградных семян методом изотопного анализа углерода $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ EA-IRMS // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2024. № 2. С. 10–18. DOI: 10.17586/2310-1164-2024-17-2-10-18
2. Темердашев З.А., Халафян А.А., Абакумов А.Г., Большов М.А., Каунова А.А. Установление географического происхождения некоторых сухих белых вин по данным ИСП спектрометрического и хемотрического анализа // Аналитика и контроль. 2023. Т. 27. № 4. С. 252–264. DOI: 10.15826/analitika.2023.27.4.006
3. Marfil R., Cabrera-Vique C., Giménez R., Bouzas P.R., Martínez O., Sánchez J.A. Metal content and physicochemical parameters used as quality criteria in virgin argan oil: influence of the extraction method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008, V. 56, no. 16, pp. 7279–7284. DOI: 10.1021/jf801002w
4. Wali A., Damak F., Kawada K. *et al.* The effects of geographic region and cultivar on oxidative stability and elemental analysis of Tunisian extra virgin olive oil. *European Food Research and Technology*. 2021, V. 247, no. 9, pp. 1401–1409. DOI: 10.1007/s00217-021-03717-x
5. Lučić M. *et al.* Traceability of Croatian extra virgin olive oils to the provenance soils by multielement and carbon isotope composition and chemometrics. *Food Chemistry*. 2023, V. 424, article 136401. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.136401
6. Nasr E.G. *et al.* Olive Oil Traceability Studies Using Inorganic and Isotopic Signatures: A Review. *Molecules*. 2022, V. 27, no. 6, p. 2014. DOI: 10.3390/molecules27062014
7. Camin F. *et al.* Isotopic and elemental data for tracing the origin of European olive oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010, V. 58, no. 1, pp. 570–577. DOI: 10.1021/jf902814s
8. 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
9. 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
10. 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
11. 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
12. Методика измерений массовых концентраций рубидия, стронция и лития в винах и виноматериалах методом электротермической атомно-абсорбционной спектроскопии [Электронный ресурс] // Федеральная служба по регулированию алкогольного рынка РФ. М.: ВНИИ оптико-физических измерений, 2014. URL: https://fsrar.gov.ru/files/29643_21%20%D1%84%D1%80.1.31.2014.18874.pdf (Дата обращения 03.03.2025)
13. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: пер. с англ. М.: Мир, 1989. 439 с.
14. 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.
15. Amin T., Thakur M. Cucurbita mixta (pumpkin) seeds- a general overview on its health benefits. *International Journal of Recent Scientific Research*. 2013, V. 4, no. 6, pp. 846–854.
16. Iordache A.M., Voica C., Roba C., Nechita C. Lithium content and its nutritional beneficence, dietary intake, and impact on human health in edibles from the Romanian market. *Foods*. 2024, V. 13, article 592. DOI: 10.3390/foods13040592
17. Sobolev O.I., Gutty B.V., Darmohray L.M., Sobolieva S.V., Ivanina V.V., Kuzmenko O.A., Karkach P.M., Fesenko V.F., Bilkevych V.V., Mashkin Y.O., Trofymchuk A.M., Stavetska R.V., Tkachenko S.V., Babenko O.I., Klopenko N.I., Chernyuk S.V. Lithium in the natural environment and its migration in the trophic chain. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019, V. 9, no. 2, pp. 195–203.

18. Савенко А.В., Бреховских В.Ф., Покровский О.С. Миграция растворенных микроэлементов в зоне смешения вод Волги и Каспийского моря (по многолетним данным) // Геохимия. 2014. № 7. С. 590. DOI: 10.7868/So016752514070061
19. 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
20. Васильев В.А., Реснянская А.С. Использование метода синхронного сканирования спектров флуоресценции для идентификации подлинности масла виноградной косточки // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2025. № 1. С. 3–11. DOI 10.17586/2310-1164-2025-18-1-3-11

References

1. Vasilyev V.A., Resnyanskaya A.S. Authentication of grape seed oil by isotopic analysis of carbon $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ EA-IRMS. *Processes and Food Production Equipment*. 2024, no. 2, pp. 10–18. DOI: 10.17586/2310-1164-2024-17-2-10-18. (In Russian)
2. Temerdashev Z.A., Khalafyan A.A., Abakumov A.G., Bolshov M.A., Kaunova A.A. Establishing the geographical origin of some dry white wines according to ICP spectrometric and chemometric analysis. *Analytics and Control*. 2023, V. 27, no. 4, pp. 252–264. DOI: 10.15826/analitika.2023.27.4.006. (In Russian)
3. Marfil R., Cabrera-Vique C., Giménez R., Bouzas P.R., Martínez O., Sánchez J.A. Metal content and physicochemical parameters used as quality criteria in virgin argan oil: influence of the extraction method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008, V. 56, no. 16, pp. 7279–7284. DOI: 10.1021/jf801002w.
4. Wali A., Damak F., Kawada K. *et al.* The effects of geographic region and cultivar on oxidative stability and elemental analysis of Tunisian extra virgin olive oil. *European Food Research and Technology*. 2021, V. 247, no. 9, pp. 1401–1409. DOI: 10.1007/s00217-021-03717-x
5. Lučić M. *et al.* Traceability of Croatian extra virgin olive oils to the provenance soils by multielement and carbon isotope composition and chemometrics. *Food Chemistry*. 2023, V. 424, article 136401. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.136401
6. Nasr E.G. *et al.* Olive Oil Traceability Studies Using Inorganic and Isotopic Signatures: A Review. *Molecules*. 2022, V. 27, no. 6, p. 2014. DOI: 10.3390/molecules27062014
7. Camin F. *et al.* Isotopic and elemental data for tracing the origin of European olive oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010, V. 58, no. 1, pp. 570–577. DOI: 10.1021/jf902814s
8. 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
9. 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
10. 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
11. 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
12. Methodology for measuring mass concentrations of rubidium, strontium and lithium in wines and wine materials by electrothermal atomic absorption spectrometry. *Federal Service for Alcohol Market Regulation of the Russian Federation*. Moscow, 2014. URL: https://fsrar.gov.ru/files/29643_21%20%D1%84%D1%80.1.31.2014.18874.pdf (Accessed 03.03.2025) (In Russian)
13. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace elements in soils and plants*. Moscow, Mir Publ., 1989. 439 p. (In Russian)
14. Ivanov A.F., Ermokhin Yu.I. About the content of strontium in plants of forage, vegetable crops and potatoes in the concrete environment. *Bulletin of Omsk State Agrarian University*. 2014, no. 1, pp. 15–20. (In Russian)
15. Amin T., Thakur M. Cucurbita mixta (pumpkin) seeds- a general overview on its health benefits. *International Journal of Recent Scientific Research*. 2013, V. 4, no. 6, pp. 846–854
16. Iordache A.M., Voica C., Roba C., Nechita C. Lithium content and its nutritional beneficence, dietary intake, and impact on human health in edibles from the Romanian market. *Foods*. 2024, V. 13, article 592. DOI: 10.3390/foods13040592
17. Sobolev O.I., Gut'y B.V., Darmohray L.M., Sobolieva S.V., Ivanina V.V., Kuzmenko O.A., Karkach P.M., Fesenko V.F., Bilkevych V.V., Mashkin Y.O., Trofymchuk A.M., Stavetska R.V., Tkachenko S.V., Babenko O.I., Klopenko N.I., Chernyuk S.V. Lithium in the natural environment and its migration in the trophic chain. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019, V. 9, no. 2, pp. 195–203.
18. Savenko A.V., Brekhovskikh V.F., Pokrovskii O.S. Migration of dissolved trace elements in the mixing zone between Volga River water and Caspian seawater: results of observations over many years. *Geochemistry International*. 2014, V. 52, no. 7, pp. 533–547. DOI: 10.7868/So016752514070061. (In Russian)

19. Vasilyev V.A., Resnyanskaya A.S. Using 3D fluorescence spectra to identify the authenticity of grape seed oil. *Processes and Food Production Equipment*. 2024, no. 3, pp. 3–11. DOI: 10.17586/2310-1164-2024-17-3-10-17. (In Russian)
20. Vasilyev V.A., Resnyanskaya A.S. Synchronized scanning fluorescence spectra method for grape seed oil authenticity identification. *Processes and Food Production Equipment*. 2025, no. 1, pp. 3–11. DOI: 10.17586/2310-1164-2025-18-1-3-11. (In Russian)

Информация об авторах

Владимир Анатольевич Васильев – канд. хим. наук, доцент

Анна Станиславовна Реснянская – канд. хим. наук, доцент

Information about the authors

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

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

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

Статья поступила в редакцию 11.04.2025

Одобрена после рецензирования 15.06.2025

Принята к публикации 16.06.2025

The article was submitted 11.04.2025

Approved after reviewing 15.06.2025

Accepted for publication 16.06.2025