

АНАЛІТЫЧНАЯ ХІМІЯ
ANALYTICAL CHEMISTRY

УДК 543.552.054.1:665.3

Поступила в редакцию 21.02.2017

Received 21.02.2017

Н. П. Матвейко¹, А. И. Кулак², С. К. Протасов¹, В. В. Садовский¹

¹*Белорусский государственный экономический университет, Минск, Беларусь*

²*Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

**ИНВЕРСИОННО-ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ
МЕТАЛЛОВ В РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЛАХ**

Аннотация: Показана возможность инверсионно-вольтамперометрического определения следовых количеств Zn, Cd, Pb, Cu, Hg в растительных маслах без использования процедуры минерализации проб. Установлено, что для достижения высокой чувствительности метода ($<0,001$ мг/дм³) целесообразно осуществлять катодное накопление Zn, Cd, Pb, Cu на поверхности индикаторного электрода из амальгамированного серебра, а накопление ртути – на электроде, содержащем 58 % Au, 34 % Cu, 8% Ag. Количество осажденного металла определялось по величине токов его анодного окисления в водно-ацетоновом электролите с добавкой муравьиной (Zn, Cd, Pb, Cu) либо серной (Hg) кислот. Анализ 12 образцов рафинированных и нерафинированных растительных масел – подсолнечного, оливкового, льняного, рапсового и кукурузного – показал наличие в них следовых примесей цинка (0,6–9,6 мг/дм³), свинца (0,02–0,09 мг/дм³) и меди (0,02–0,17 мг/дм³). Кроме того, в восьми образцах масла обнаружены следы ртути (0,002–0,009 мг/дм³) и в девяти образцах – следы кадмия (0,02–0,05 мг/дм³). В целом ни в одном из образцов содержание токсичных металлов не превысило допустимых уровней, регламентированных техническими нормативными правовыми актами.

Ключевые слова: электроаналитическая химия, инверсионная вольтамперометрия, растительные масла, тяжелые металлы

Для цитирования: Инверсионно-вольтамперометрическое определение тяжелых металлов в растительных маслах / Н. П. Матвейко [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2017. – № 3. – С. 38–44.

N. P. Matveiko¹, A. I. Kulak², S. K. Protasov¹, V. V. Sadowski¹

¹*Belarusian State Economic University, Minsk, Belarus*

²*Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

STRIPPING VOLTAMMETRIC DETERMINATION OF HEAVY METALS IN VEGETABLE OILS

Abstract: The possibility of stripping-voltammetric determination of Zn, Cd, Pb, Cu, Hg trace amounts in vegetable oils without the use of mineralization procedure has been demonstrated. It has been established that high sensitivity of the method (<0.001 mg/dm³) can be achieved for Zn, Cd, Pb, Cu by cathodic accumulation on the surface of the amalgamated silver indicator electrode, and by the accumulation of mercury on the electrode containing 58 % Au, 34 % Cu, 8% Ag. The amount of the deposited metal has been determined by the magnitude of the anodic current in an aqueous-acetone electrolyte containing formic (Zn, Cd, Pb, Cu) or sulfuric (Hg) acid additives. Analysis of twelve refined and unrefined vegetable oil samples (sunflower, olive, linseed, rapeseed, and corn) showed the presence of trace impurities of zinc (0.6–9.6 mg/dm³), lead (0.02–0.09 mg/dm³), and copper (0.02–0.17 mg/dm³). Additional traces of mercury (0.002–0.009 mg/dm³) were detected in eight oil samples and cadmium traces (0.02–0.05 mg/dm³) in nine samples. In general, the content of toxic metals in the samples does not exceed the permissible levels governed by technical regulations.

Keywords: electroanalytical chemistry, stripping voltammetry, vegetable oils, heavy metals

For citation: Matveiko N. P., Kulak A. I., Protasov S. K., Sadowski V. V. Stripping voltammetric determination of heavy metals in vegetable oils. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk*. [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, chemical series], 2017, no. 3, pp. 38–44 (In Russian).

Введение. Следовые количества металлов в растительных маслах могут аккумулироваться из окружающей среды вблизи промышленных предприятий и магистралей, из почвы, удобрений и средств защиты растений, а также попадать в масла на различных стадиях переработки растительного сырья – при отбеливании, закаливании, дезодорации, в результате коррозии технологического оборудования. Особо нежелательными примесями, естественно, являются такие высокотоксичные металлы, как кадмий, свинец, ртуть. Переходные металлы, кроме того, могут

играть роль промоторов свободнорадикальных окислительных процессов, вызывая существенное ухудшение качества и органолептических характеристик масел при их хранении [1–3].

Для определения следов тяжелых металлов в растительных маслах применяют методы атомно-абсорбционной спектrophотометрии [4–6], масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой [7, 8], ионной хроматографии [9]. Значительное внимание уделялось электрохимическим методам – инверсионной потенциометрии [10–12], адсорбционной [13, 14] и прямой [15] инверсионной вольтамперометрии.

Количественное определение в растительных маслах следов металлов является сложной аналитической задачей из-за их низкой концентрации и необходимости использования трудоемких процедур пробоподготовки, таких как кислотная обработка [5, 8, 11–13], получение водно-масляных микроэмульсий [7], разрушение органической матрицы путем сухого или мокрого озоления [6, 14, 15].

Цель настоящей работы – разработка метода определения цинка, кадмия, свинца, меди и ртути в образцах растительных масел методом инверсионной вольтамперометрии без использования процедуры минерализации проб.

Методика эксперимента. Для проведения анализов использовались образцы как рафинированных, так и нерафинированных растительных масел: подсолнечного, оливкового, льняного, рапсового и кукурузного из торговой сети г. Минска (табл. 1).

Таблица 1. Сведения об образцах растительного масла, использовавшихся для анализа

Table 1. Information about vegetable oil samples used for the analysis

Номер образца	Название масла (страна производитель)	Сведения об образцах масла	Стандарт
1	Подсолнечное (Украина)	Рафинированное, дезодорированное, вымороженное	ДСТУ 4492:2005
2	Подсолнечное (Россия)	Рафинированное, дезодорированное, вымороженное	ГОСТ 1129–2013
3	Подсолнечное (Республика Татарстан)	Рафинированное, дезодорированное, вымороженное	ГОСТ 1129–2013
4	Подсолнечное (Украина)	Нерафинированное, вымороженное, пресловое	ДСТУ 4492:2005
5	Подсолнечное (Россия)	Нерафинированное	ГОСТ 1129–2013
6	Подсолнечное (Беларусь)	Рафинированное, дезодорированное, вымороженное	ГОСТ 1129–2013
7	Подсолнечное с добавлением оливкового (Россия)	Рафинированное, дезодорированное, вымороженное подсолнечное и рафинированное оливковое	ТУ 9141–015–0333693–01
8	Оливковое (Италия)	Нерафинированное, пресловое	–
9	Кукурузное (Россия)	Рафинированное, дезодорированное	ГОСТ 8808–2000
10	Рапсовое (Беларусь)	Рафинированное, дезодорированное, марки «П»	СТБ 1486 ТИ БРЗМ 700067240.05
11	Льняное (Беларусь)	Нерафинированное, холодный отжим	ТУ РБ 101191824.649–2000
12	Льняное (Беларусь)	Нерафинированное, холодный отжим	ТУ ВУ 290340416.001

Предварительное исследование показало, что все анализируемые масла, хотя и растворяются в ряде органических растворителей (бензоле, толуоле, ацетоне, диэтиловом эфире и др.), но в присутствии необходимого для проведения электрохимических измерений количества воды устойчивыми являются лишь растворы в ацетоне. Для приготовления проб навеску растительного масла массой 0,1 г растворяли в 2,5 см³ ацетона. Для определения Zn, Cd, Pb, Cu отбирали 0,05–0,07 см³ аликвоты, помещали ее в двухэлектродную кварцевую электрохимическую ячейку, добавляли 0,135 см³ концентрированной муравьиной кислоты и доводили объем раствора до 10 см³ бидистиллятом. При определении ртути объем аликвоты снижали до 0,01 см³ (при большем содержании ртути осложняется ее накопление на катоде) затем добавляли по 0,02 см³ 8 М раствора H₂SO₄ и 1 М раствора KCl, раствор доводили до 10 см³ бидистиллятом. В качестве фонового раствора при определении Zn, Cd, Pb, Cu использовали водный 0,35 М раствор муравьиной

кислоты, а при определении ртути – раствор, содержащий 0,016 моль/дм³ H₂SO₄ и 0,002 моль/дм³ KCl; во все пробы фонового электролита добавляли по 0,07 см³ ацетона.

Для сопоставления часть экспериментов была выполнена с использованием процедуры мокрой минерализации. Для этого в кварцевый стакан помещали пробу анализируемого масла массой 0,5 г, добавляли 3 см³ 10 %-ного спиртового раствора нитрата магния. Затем раствор выпаривали, а осадок обугливали, постепенно поднимая температуру до 400 °С и выдерживая при этой температуре 30 мин с последующим озолением в течение 30 мин при температуре 500 °С. Полученную золу растворяли в смеси 2 см³ концентрированной HNO₃ и 1 см³ 30 %-ного раствора пероксида водорода, после чего выпаривали досуха при температуре 150 °С. Образовавшийся осадок повторно озолляли в течение 180 мин при температуре 500 °С, затем золу растворяли в 1 см³ муравьиной кислоты. Объем раствора доводили бидистиллятом до 10 см³ и из полученного раствора для анализа отбирали аликвоту объемом 1 см³.

Электрохимические измерения проводили на вольтамперометрическом анализаторе ТА-4 (Томаналит, Томск, РФ). Содержание Zn, Cd, Pb, Cu определяли на индикаторном электроде из амальгамированной серебряной проволоки, а содержание ртути – на электроде из золота 583 пробы, поверхность которого механически обновляли перед исследованием каждой пробы. Вспомогательным электродом и электродом сравнения служил хлорсеребряный электрод в 1 М растворе хлорида калия. Все электрохимические измерения проводили при температуре 25 °С; растворенный кислород из рабочих растворов не удалялся.

Определение тяжелых металлов осуществляли методом добавок стандартных растворов, содержащих 1 мг/дм³ Hg, 2 мг/дм³ Cd, Pb, Cu и 3 мг/дм³ Zn, приготовленных на основе государственных стандартных образцов (ГСО). Содержание металла в образцах растительного масла рассчитывали по разности тока на вольтамперных кривых пробы и фона, а также пробы с добавкой стандартного раствора и фона, используя специализированную программу VALabTx (Томаналит, РФ).

Каждую пробу растительного масла анализировали 4 раза и рассчитывали относительные стандартные отклонения (S_r) и интервальные значения ($\pm\Delta x$) содержания металлов в образцах растительного масла.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что для инверсионно-вольтамперометрического определения Zn, Cd, Pb и Cu в растительных маслах электрохимическую очистку индикаторного электрода целесообразно проводить в течение 20 с при чередовании анодной (+100 мВ) и катодной (–1150 мВ) поляризации. Продолжительность катодного накопления металлов при потенциале –1350 мВ составляет 100 с. После успокоения раствора при потенциале –1130 мВ в течение 15 с можно проводить регистрацию анодной поляризационной кривой в интервале от –1130 до +100 мВ с линейной разверткой потенциала со скоростью 80 мВ/с.

Для определения ртути электрохимическую очистку индикаторного электрода целесообразно проводить при потенциале +630 мВ в течение 15 с, процесс накопления – при –600 мВ, 240 с и успокоение раствора – при +340 мВ, 25 с. Регистрация анодной вольтамперной кривой осуществляется при скорости развертки потенциала 6 мВ/с в интервале от +340 до +600 мВ.

На рис. 1 и 2 приведены типичные примеры анодных вольтамперных кривых, характеризующих зависимость тока окисления накопленного металла на поверхности индикаторного электрода от его электродного потенциала. Для всех исследовавшихся проб растительного масла, как и для образца № 12 (льняное масло), вольтамперные кривые содержат четыре максимума тока при потенциалах –840, –460, –290 и –15 мВ, которые связаны с анодным окислением Zn, Cd, Pb и Cu соответственно как при растворении пробы в ацетоне (рис. 1 *а*), так и при подготовке пробы мокрой минерализацией (рис. 1, *б*). Введение стандартного раствора, содержащего Zn, Cd, Pb и Cu, в растворы проб льняного масла приводит к пропорциональному увеличению анодного тока на вольтамперных кривых (кривая 3) в максимумах тока окисления металлов. Близкое подобие вольтамперных кривых, приведенных на рис. 1, *а* и *б*, для проб без минерализации и с мокрой минерализацией свидетельствует о возможности использования метода инверсионно-вольтамперометрического определения Zn, Cd, Pb и Cu в образцах растительного масла без применения трудоемкой операции мокрой минерализации проб.

Из рис. 2 следует, что на поляризационной кривой в фоновом электролите отсутствуют токи, обусловленные окислением примесей, что указывает на высокую чистоту фонового электролита

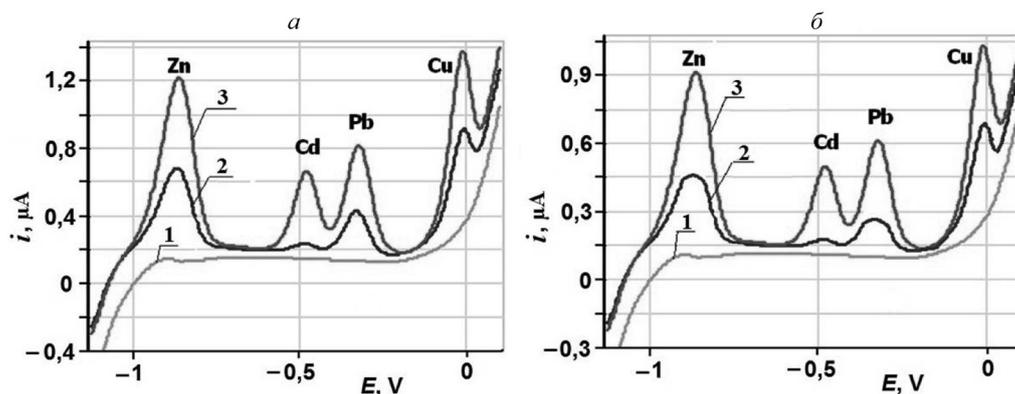


Рис. 1. Анодные вольтамперные кривые, полученные на индикаторном электроде из амальгамированного серебра для определения Cd, Pb, Cu и Zn в образце льняного масла (проба № 12) без минерализации (а) и с мокрой минерализацией пробы (б): 1 – фоновый электролит (0,35 моль/дм³ муравьиной кислоты и 0,095 моль/дм³ ацетона); 2 – раствор пробы образца масла; 3 – раствор пробы образца масла с добавкой стандартного раствора (2 мг/дм³ Cd, Pb, Cu; 3 мг/дм³ Zn)

Fig. 1. Anodic current-voltage curves obtained at the amalgamated silver indicator electrode for the determination of Cd, Pb, Cu, and Zn in a linseed oil sample (sample № 12) without mineralization (a) and after wet mineralization (b): 1 – supporting electrolyte 0.35 mol/dm³ formic acid and 0.095 mol/dm³ acetone; 2 – oil solution; 3 – oil with the addition of the standard solution containing 2 mg/dm³ Cd, Pb, Cu, and 3 mg/dm³ Zn

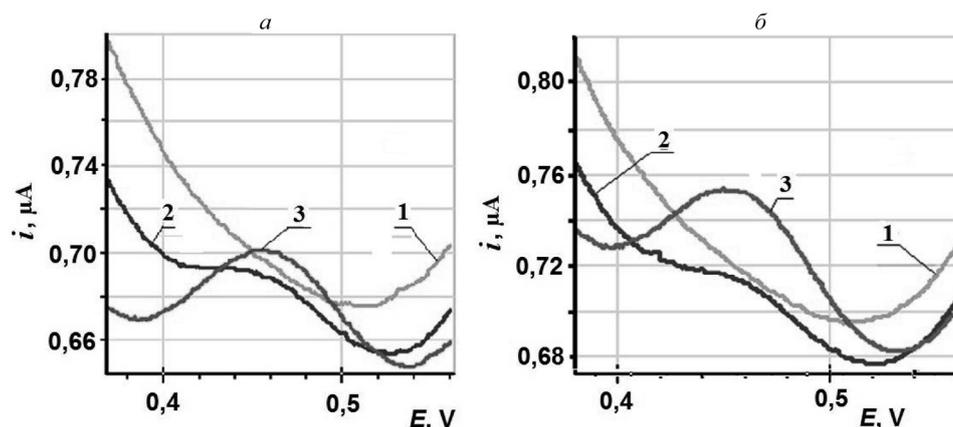


Рис. 2. Анодные вольтамперные кривые, полученные на золотом электроде для определения ртути в образце подсолнечного масла (проба № 4) без минерализации (а) и с мокрой минерализацией пробы (б): 1 – фоновый электролит (0,0175 моль/дм³ H₂SO₄ + 0,002 моль/дм³ KCl); 2 – раствор пробы образца масла; 3 – раствор пробы образца масла с добавкой 0,01 см³ стандартного раствора, содержащего 2 мг/дм³ Hg

Fig. 2. Anodic current-voltage curves obtained at the gold electrode for the determination of mercury in the sample of sunflower oil (sample № 4) without mineralization (a) and after wet mineralization (b): 1 – supporting electrolyte (0.0175 mol/dm³ H₂SO₄ + 0.002 mol/dm³ KCl); 2 – oil sample; 3 – oil sample with the addition of 0.01 cm³ of a standard solution containing 2 mg/dm³ Hg

и, в частности, на отсутствие в нем ртути (в пределах чувствительности метода). На вольтамперных кривых, зарегистрированных в растворе проб образца растительного масла № 4, независимо от способа подготовки пробы наблюдается увеличение анодного тока в интервале потенциалов 400–530 мВ, что связано с анодным окислением ртути, осажденной на индикаторный электрод в процессе ее накопления. Введение стандартного раствора ртути (2 мг/дм³ Hg) в раствор пробы образца растительного масла приводит к пропорциональному возрастанию тока окисления в интервале потенциалов 400–530 мВ. Следует отметить, что при определении Zn, Cd, Pb, Cu, Hg токи окисления на вольтамперных кривых пробы растительного масла без минерализации (рис. 2, а) и с мокрой минерализацией (рис. 2, б) совпадают по потенциалам максимумов и оказываются сопоставимыми по абсолютным значениям токов (некоторые различия в последних легко устраняются посредством соответствующих калибровочных процедур).

Подобные результаты по определению металлов получены в масле подсолнечном с добавлением оливкового (образец № 7), а также установлено близкое подобие вольтамперных кривых для образцов, подвергавшихся и не подвергавшихся мокрой минерализации. Поэтому определения металлов в остальных образцах растительного масла (№ 1–3,5,6) проводили без использования мокрой минерализации проб, ограничиваясь их растворением в ацетонсодержащих электролитах. Результаты определений приведены в табл. 2.

Таблица 2. Содержание (мг/дм³) цинка, кадмия, свинца, меди и ртути в образцах растительного масла, определенное методом инверсионной вольтамперметрии (номера образцов соответствуют номерам в табл. 1)

Table 2. Zinc, cadmium, lead, copper and mercury content (mg/dm³) in vegetable oil samples determined by stripping voltammetry method (sample numbers are the same as in Table 1)

Номер образца	Zn	Cd	Pb	Cu	Hg
1	6,1±0,12	0,03±0,002	0,07±0,003	0,17±0,008	0,006±0,0004
2	8,7±0,16	0,05±0,003	0,09±0,004	0,02±0,001	<0,001
3	2,5±0,05	0,03±0,002	0,02±0,001	0,02±0,001	<0,001
4	7,8±0,16	0,03±0,002	0,09±0,004	0,03±0,002	0,009±0,0007
5	4,6±0,09	0,04±0,002	0,06±0,003	0,04±0,002	0,008±0,0007
6	2,4±0,05	0,03±0,002	0,04±0,002	0,02±0,001	0,009±0,0007
6*	7,5±0,15	0,03±0,002	0,07±0,003	0,03±0,002	0,008±0,0006
7	9,6±0,17	0,05±0,003	0,08±0,003	0,02±0,001	<0,001
7*	9,2±0,17	0,04±0,002	0,07±0,003	0,02±0,001	<0,001
8	0,6±0,01	<0,001	0,02±0,001	0,03±0,002	0,002±0,0001
9	8,4±0,15	0,02±0,001	0,09±0,004	0,09±0,004	0,006±0,0005
10	2,1±0,03	<0,001	0,07±0,003	0,06±0,003	<0,001
11	5,1±0,10	<0,001	0,09±0,004	0,08±0,004	0,005±0,0003
12	3,2±0,06	0,04±0,002	0,07±0,003	0,11±0,006	0,007±0,0005
12*	3,1±0,06	0,03±0,002	0,06±0,002	0,09±0,005	0,006±0,0004
**	–	0,05	0,1	0,1 (0,4)	0,03

Примечание. *С минерализацией; **согласно требованиям ТР ТС 021/2011 (не более).

Данные, представленные в табл. 2, свидетельствуют, что во всех изученных образцах растительного масла содержатся примеси цинка, свинца и меди. В восьми образцах масла имеются также следы ртути. Следы кадмия не обнаружены в трех из 12 изученных образцов растительного масла (№ 8, 10, 11). Наибольшее содержание характерно для цинка (от 0,6 мг/кг для образца № 8 до 9,6 мг/кг для образца № 7) и наименьшее – для ртути (от 0,002±0,0001 мг/кг для образца № 8 до 0,009±0,0007 мг/кг для образцов № 4 и 6). Содержание свинца во всех изученных образцах растительного масла не превышает 0,1 мг/кг (допустимое содержание, нормируемое ТНПА), но для образцов № 2 и 4 оно лишь на 0,01 мг/кг меньше этого нормируемого уровня.

В целом можно заключить, что во всех проанализированных образцах растительных масел содержание тяжелых металлов не превышает допустимых значений, регламентированных техническими нормативными правовыми актами – техническим регламентом таможенного союза ТР ТС 021/2011 и санитарными правилами и нормами СанПиН № 52 РБ, 21.07.2013. Важно, что на примере нескольких образцов растительного масла нами установлено, что содержание тяжелых металлов, определенное инверсионно-вольтамперметрическим методом с использованием подготовки проб растворением навесок масла в ацетоне, практически совпадает с содержанием металлов после традиционной трудоемкой подготовки проб масла мокрой минерализацией. Близкое совпадение анодных вольтамперных кривых для обоих методов предподготовки позволяет заключить, что для анализа растительных масел на содержание цинка, кадмия, свинца, меди и ртути достаточно ограничиться подготовкой проб путем их растворения в ацетонсодержащем электролите. Предложенный способ пробоподготовки позволит, кроме того, снизить возможное загрязнение проб масла примесями, содержащимися в реактивах, используемых для минерализации, исключить применение высоких температур и уменьшить время подготовки проб в десятки раз по сравнению требуемым в методе мокрой минерализации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Aparicio, R. Handbook of olive oil /R. Aparicio, J. Harwood // Analysis and properties/ 2nd Ed. Springer. – New York, 2013. – pp. 497–498. doi: 10.1007/978-1-4614-7777-8.
2. Choe, E. Mechanisms and factors for edible oil oxidation/E. Choe, D. B. Min //Comprehensive reviews in food science and food safety. – 2006. Vol. 5, N 4. – P. 169–186. doi: 10.1111/j.1541-4337.2006.00009.x.
3. Protective effects of extra virgin olive oil phenolics on oxidative stability in the presence or absence of copper ions / A. Bendini [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2006. – Vol. 54, N 13. – P. 4880–4887. doi: 10.1021/jf060481r.
4. Determination of trace elements in vegetable oils and biodiesel by atomic spectrometric techniques—a review / F. G. Lepri [et al.] // Applied Spectroscopy Reviews. – 2011. – Vol. 46, N 3. – P. 175–206. doi: 10.1080/05704928.2010.529628.
5. Mendil, D. Investigation of the levels of some element in edible oil samples produced in Turkey by atomic absorption spectrometry / D. Mendil [et al.] // Journal of Hazardous Materials. – 2009. – Vol. 165, N 1. – P. 724–728. doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.10.046.
6. Raptis, S. E. The decomposition of oils and fats in a stream of oxygen for the determination of trace elements / S. E. Raptis, G. Kaiser, G. Tölg // Analytica Chimica Acta. – 1982. – Vol. 138. – P. 93–101. doi: 10.1016/S0003-2670(01)85291-0.
7. Castillo, J. R. Semiquantitative simultaneous determination of metals in olive oil using direct emulsion nebulization / J. R. Castillo, M. S. Jiménez, L. Ebdon // Journal of Analytical Atomic Spectrometry. – 1999. – Vol. 14, N 9. – P. 1515–1518. doi: 10.1039/A900754G.
8. Investigation by ICP-MS of trace element levels in vegetable edible oils produced in Spain / E. J. Llorent-Martínez [et al.] // Food Chemistry. – 2011. – Vol. 127, N 3. – pp. 1257–1262. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.01.064.
9. Buldini, P. L. Determination of some inorganic species in edible vegetable oils and fats by ion chromatography / P. L. Buldini, D. Ferri, & J. L. Sharma // Journal of Chromatography A. – 1997. – Vol. 789(1). – P. 549–555. doi: 10.1016/S0021-9673(97)00822-4.
10. Determination of cadmium (II) and zinc (II) in olive oils by derivative potentiometric stripping analysis / F. L. Coco [et al.] // Food Control. – 2003. – Vol. 14, N 1. – P. 55–59. doi: 10.1016/S0956-7135(02)00054-3.
11. Dugo, G. Determination of Cd (II), Cu (II), Pb (II), and Zn (II) content in commercial vegetable oils using derivative potentiometric stripping analysis / G. Dugo [et al.] Food Chemistry. – 2004. – Vol. 87, N 4. – P. 639–645. doi: 10.1016/j.foodchem.2003.12.035.
12. Derivative potentiometric stripping analysis (dPSA) used for the determination of cadmium, copper, lead, and zinc in Sicilian olive oils / La Pera L. [et al.] // Journal of agricultural and food chemistry. – 2002. – Vol. 50, N 11. – P. 3090–3093. doi: 10.1021/jf0113124.
13. Determination of copper with 5, 5-dimethylcyclohexane-1, 2, 3-trione 1, 2-dioxime 3-thiosemicarbazone in olive oils by adsorptive stripping square wave voltammetry / T. G. Díaz [et al.] // Food Chemistry. – 2006. – Vol. 96, N 1. – P. 156–162. doi: 10.1016/j.foodchem.2005.04.014.
14. New determination of lead in edible oil and water samples by high selective adsorptive stripping voltammetry with SPADNS / Sh. Abbasi [et al.] // International Journal of Electrochemical Science. – 2009. – Vol. 4. – P. 602–613.
15. Wahdat, F. Direct inverse voltammetric determination of Pb, Cu and Cd in some edible oils after solubilization / F. Wahdat, S. Hinkel, R. Neeb // Fresenius' journal of analytical chemistry. – 1995. – Vol. 352, N 3–4. – P. 393–394. doi: 10.1007/BF00322240.

References

1. Aparicio R., Harwood J., “Handbook of olive oil”, *Analysis and properties*, 2nd ed., Springer, New York, US, 2013, pp. 497–498, doi: 10.1007/978-1-4614-7777-8.
2. Choe E., Min D. B., “Mechanisms and factors for edible oil oxidation”, *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 2006, vol. 5, no. 4, pp. 169–186, doi: 10.1111/j.1541-4337.2006.00009.x.
3. Bendini A., Cerretani L., Vecchi S., Carrasco-Pancorbo A., Lercker G., “Protective effects of extra virgin olive oil phenolics on oxidative stability in the presence or absence of copper ions”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, vol. 54, no. 13, pp. 4880–4887, doi: 10.1021/jf060481r.
4. Lepri F. G., Chaves E. S., Vieira M. A., Ribeiro A. S., Curtius A. J., DeOliveira L. C., DeCampos R. C., “Determination of trace elements in vegetable oils and biodiesel by atomic spectrometric techniques—a review”, *Applied Spectroscopy Reviews*, 2011, vol. 46, no. 3, pp. 175–206, doi: 10.1080/05704928.2010.529628.
5. Mendil D., Uluözlü Ö. D., Tüzen M., Soyulak M., “Investigation of the levels of some element in edible oil samples produced in Turkey by atomic absorption spectrometry”, *Journal of Hazardous Materials*, 2009, vol. 165, no. 1, pp. 724–728, doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.10.046.
6. Raptis, S. E., Kaiser, G., Tölg, G., “The decomposition of oils and fats in a stream of oxygen for the determination of trace elements”, *Analytica Chimica Acta*, 1982, vol. 138, pp. 93–101, doi: 10.1016/S0003-2670(01)85291-0.
7. Castillo J. R., Jiménez M. S., Ebdon L., “Semiquantitative simultaneous determination of metals in olive oil using direct emulsion nebulization”, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 1999, vol. 14, no. 9, pp. 1515–1518, doi: 10.1039/A900754G.
8. Llorent-Martínez E. J., Ortega-Barrales P., Fernández-de Córdoba M. L., Domínguez-Vidal A. R. M. A., Ruiz-Medina A., “Investigation by ICP-MS of trace element levels in vegetable edible oils produced in Spain”, *Food Chemistry*, 2011, vol. 127, no. 3, pp. 1257–1262, doi: 10.1016/j.foodchem.2011.01.064.

9. Buldini, P. L., Ferri, D., Sharma, J. L., “Determination of some inorganic species in edible vegetable oils and fats by ion chromatography”, *Journal of Chromatography A*, 1997, vol. 789, no. 1, pp. 549–555, doi: 10.1016/S0021-9673(97)00822-4.
10. Coco F. L., Ceccon L., Ciraolo L., Novelli V., “Determination of cadmium (II) and zinc (II) in olive oils by derivative potentiometric stripping analysis”, *Food Control*, 2003, vol. 14, no. 1, pp. 55–59, doi: 10.1016/S0956-7135(02)00054-3.
11. Dugo G., La Pera L., La Torre G. L., Giuffrida D., “Determination of Cd (II), Cu (II), Pb (II), and Zn (II) content in commercial vegetable oils using derivative potentiometric stripping analysis”, *Food Chemistry*, 2004, vol. 87, no. 4, pp. 639–645, doi: 10.1016/j.foodchem.2003.12.035.
12. La Pera L., Lo Curto S., Visco A., La Torre L., Dugo G., “Derivative potentiometric stripping analysis (dPSA) used for the determination of cadmium, copper, lead, and zinc in Sicilian olive oils”, *Journal of agricultural and food chemistry*, 2002, vol. 50, no. 11, pp. 3090–3093, doi: 10.1021/jf0113124.
13. Díaz T. G., Guiberteau A., Soto M. L., Ortiz J. M., “Determination of copper with 5, 5-dimethylcyclohexane-1, 2, 3-trione 1, 2-dioxime 3-thiosemicarbazone in olive oils by adsorptive stripping square wave voltammetry”, *Food Chemistry*, 2006, vol. 96, no. 1, pp. 156–162, doi: 10.1016/j.foodchem.2005.04.014.
14. Abbasi Sh., Allahyari M., Taherimaslak Z., Nematollahi D., Abbasi F., “New determination of lead in edible oil and water samples by high selective adsorptive stripping voltammetry with SPADNS”, *International Journal of Electrochemical Science*, 2009, vol. 4, pp. 602–613.
15. Wahdat F., Hinkel S., Neeb R., “Direct inverse voltammetric determination of Pb, Cu and Cd in some edible oils after solubilization”, *Fresenius' journal of analytical chemistry*, 1995, vol. 352, no. 3-4, pp. 393–394, doi: 10.1007/BF00322240.

Информация об авторах

Матвейко Николай Петрович – д-р хим. наук, профессор, зав. кафедрой, Белорусский государственный экономический университет (ул. Свердлова, 7/5, 220030, Минск, Республика Беларусь). E-mail: matveiko np@mail.ru.

Кулак Анатолий Иосифович – член-кор., д-р хим. наук, профессор, директор, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: kulak@igic.bas-net.by.

Протасов Семен Корнеевич – канд. техн. наук, доцент, Белорусский государственный экономический университет (ул. Свердлова, 7/5, 220030, Минск, Республика Беларусь). E-mail: protasov.s@belstu.by.

Садовский Виктор Васильевич – д-р техн. наук, профессор, первый проректор, Белорусский государственный экономический университет (пр. Партизанский, 26, 220070, Минск Республика Беларусь). E-mail: sadovskiv@bseu.by.

Information about the authors

Nikolai P. Matveiko – D. Sc. (Chemistry), Professor, Head of the Department, Belarusian State Economic University (7/5, Sverdlov Str., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: matveiko np@mail.ru.

Anatoly I. Kulak – Cor. Member, D. Sc. (Chemistry), Professor, Director, Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kulak@igic.bas-net.by.

Semen K. Protasov – Ph. D. (Technology), Associate Professor, Belarusian State Economic University (7/5, Sverdlov Str., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: protasov.s@belstu.by.

Viktor V. Sadovsky – D. Sc. (Technology), Professor, Vice-Rector, Belarusian State Economic University (26, Partizanski Ave., 220070, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sadovski v@bseu.by.