

УДК 665.11

Поступила в редакцию 02.02.2018
Received 02.02.2018**О.С. Агафонов¹, Е.П. Франко²**¹*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта», г. Краснодар, Российская Федерация*²*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МАСЛИЧНОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА ЯДЕРНО-МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

Аннотация: В работе приводится описание способов оценки качества масличного сырья (семян подсолнечника и льна) по содержанию характеристических жирных кислот на основе импульсного метода ЯМР. Приведено описание основных отличительных разработанных особенностей и известного хроматографического способа определения массовой доли жирных кислот в масличном сырье. Представлены сравнительные результаты определения массовой доли олеиновой кислоты в масле семян подсолнечника и линоленовой в масле семян льна известным и разработанным способами.

Ключевые слова: масличное сырье, метод ЯМР, семена, жирные кислоты, оценка качества

O.S. Agafonov¹, E.P. Franko²¹*Federal State Budgetary Scientific Institution “V.S. Pustovoitov All-Russian Research Institute of Oil Crops”, Krasnodar, Russian Federation*²*Educational institution “Belarusian State Agrarian and Technical University”, Minsk, Republic of Belarus*

QUALITY CONTROL OF OILSEEDS BASED ON PULSED NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE

Annotation: the article describes the developed method for oilseeds (sunflower seeds and flax) quality control by the content of characteristic fatty acids, based on the pulsed NMR method. A description of the main distinctive features of the developed and known chromatographic methods for determining the mass fraction of characteristic fatty acids in oilseeds is given. Comparative results of the determination of the mass fraction of oleic acid in sunflower seed oil and linolenic oil in flax seed oil by known and developed method are presented.

Key words: oilseeds, NMR method, seeds, characteristic fatty acids, quality control

Введение. Одним из направлений селекции масличных культур является изменение жирно-кислотного состава масла. В семенах подсолнечника — это увеличение массовой доли олеиновой кислоты в масле, а для семян льна — снижение содержания линоленовой кислоты.

Наиболее распространенным в настоящее время является способ оценки качества масличного сырья по жирно-кислотному составу на основе метода газожидкостной хроматографии (ГЖХ), который является арбитражным. Способ определения массовой доли жирных кислот в масличном сырье на основе хроматографического метода имеет ряд существенных недостатков, затрудняющих их применение при оперативном контроле масличного сырья и селекционной работе: разрушающий характер, длительность анализа, применение токсичных химических реагентов и высокие требования к квалификации персонала [1].

Разработка и внедрение современных методов оценки качества масличного сырья и продуктов его переработки являются актуальной задачей для масложировой отрасли. Наиболее перспективными и объективными являются способы оценки качества и идентификации масличного сырья и продуктов переработки на основе метода ядерно-магнитного резонанса (ЯМР). Разработанные способы на основе импульсного метода ЯМР имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с применяемыми традиционными методами: оперативность, экологическая безопасность, высокая автоматизация, не разрушающий характер и отсутствие влияния человеческого фактора на результат [2-12].

Материалы и методы исследований. Сущность метода ГЖХ заключается в следующем: сначала происходит извлечение масла из исследуемых семян, превращение триглицеридов жирных кислот

в метиловые (этиловые) эфиры жирных кислот и последующий газохроматографический анализ последних [1].

Во ВНИИМК (РФ, г. Краснодар) разработаны современные инструментальные экспресс-способы определения содержания олеиновой кислоты в масле семян подсолнечника и линоленовой кислоты в масле семян льна на основе импульсного метода ЯМР, без извлечения масла из семян. Данные способы реализованы на серийно выпускаемых и широко используемых в масложировой отрасли России и стран СНГ ЯМР-анализаторах масличности и влажности АМВ-1006М после их определенной модернизации [13, 14].

Разработанные способы реализованы на ЯМР-анализаторе с использованием импульсного метода Карра-Парселла-Мейбума-Гилла. В его основе лежит облучение образцов зондирующими импульсами 90° - τ - 180° и регистрация сигналов спинового эхо, с последующей их обработкой в специализированной программной среде [15–18].

Оценка качества масличного сырья основывается на выявленных зависимостях между значениями ЯМ-релаксационных характеристик и содержанием характеристической жирной кислоты в масле анализируемых масличных семян (олеиновой — для семян подсолнечника; линоленовой — для семян льна). В качестве аналитического параметра для оценки содержания характеристических жирных кислот в семенах подсолнечника и льна выбрано средневзвешенное значение времени спин-спиновой релаксации протонов триацилглицеридов масла в семенах [18–21].

Средневзвешенное время спин-спиновой релаксации протонов масла ($T_{2св}$) интегральный показатель многофазной спиновой системы (i — ранее установленное число компонент в сигналах ЯМР протонов масла равно 3), которое определяется по формуле:

$$\frac{100}{T_{2св}} = \sum_{i=1}^3 \frac{A_i}{T_{2i}}, \quad (1)$$

где A_i — амплитуда сигнала ЯМР протонов i -ой компоненты в процентах от общей амплитуды; T_{2i} — время спин-спиновой релаксации протонов i -ой компоненты, мс.

Аналитические зависимости между средневзвешенным временем спин-спиновой релаксации и массовой долей жирных кислот в масле масличных семян имеют линейный характер с высоким коэффициентом корреляции — 0,993.

Результаты и их обсуждение. Способ определения массовой доли олеиновой кислоты в масле семян подсолнечника в настоящее время проходит производственные испытания на 6 предприятиях, расположенных в разных регионах России. Внедрение данной методики по предварительным данным позволило более чем на 70 % сократить количество анализов, выполняемых методом ГЖХ на предприятиях, занимающихся заготовкой и переработкой высокоолеинового подсолнечника.

Способ определения массовой доли линоленовой кислоты в масле семян льна в настоящее время проходит лабораторные испытания. Предварительные результаты показывают, что внедрение данного метода в селекции позволит существенно повысить эффективность процесса. Благодаря неразрушающему характеру анализа появляется возможность не только идентифицировать семена льна с низким содержанием линоленовой кислоты, но и использовать их после проведения анализа в дальнейшем селекционном процессе.

В табл. 1 представлены основные характеристики известного и разработанных способов определения массовой доли олеиновой и линоленовой кислот в масле семян подсолнечника и льна соответственно.

Из данных табл. 1 видно, что разработанные способы оценки качества масличных семян на основе метода ЯМР близки по диапазону к хроматографическому способу, но при этом имеют ряд существенных преимуществ.

Диапазоны измерения жирных кислот в масле масличных семян в разработанных способах выбирались с учетом минимальных и максимальных значений массовой доли жирных кислот, достаточных для их оценки. Содержание в масле семян подсолнечника олеиновой кислоты от 30 % до 90 %, а для масла семян льна от 3 % до 90 % — линоленовой кислоты.

Разработанные способы обеспечивают более высокую представительность результатов измерений (анализируется 5 проб по 25 см³ отобранных из одного образца), а время анализа не превышает 5 мин для 5 повторностей. Предприятие получает информацию, позволяющую произвести оценку качества масличного сырья по массовой доле характеристической жирной кислоты, а также одновременно определить основные показатели качества масличных семян — масличность и влажность.

Таблица 1. Сравнительная характеристика способов определения массовой доли олеиновой и линоленовой кислот в масле семян подсолнечника и льна, соответственно
Table 1. Comparative characteristics of methods for determining the mass fraction of oleic and linolenic acids in sunflower and flax seed oil, respectively

Наименование характеристики	Значение характеристики	
	Хроматографический метод (ГОСТ Р 51483-99)	ЯМР (разработанный)
Диапазон измерения массовой доли жирной кислоты, % олеиновой (подсолнечник) линоленовой (лен)	0ч100 0ч100	30–90 % 3–90 %
Объем анализируемой пробы, см ³	-	25,0±1,0
Время проведения анализа, мин.	240	5
Пробоподготовка	Извлечение масла из семян, метилирование	Не требуется
Область применения методики	Нет ограничений	Нет ограничений
Термостатирование	(22,5±7,5)	(23±3)°С
Расходные материалы	Требуются	Не требуются
Квалификация персонала	Высокая	Не имеет значения
Воспроизводимость, %	3,0 абс.	5,0 абс.

Следует отметить, что способ на основе хроматографического метода требует дополнительной пробоподготовки с использованием токсичных химических реактивов (метилового спирта), расходных материалов и высокой квалификации обслуживающего лабораторного персонала.

В табл. 2 и 3 приведены данные определения массовой доли жирных кислот в масле семян подсолнечника и льна известным и разработанными способами.

Таблица 2. Сравнительные результаты определения олеиновой кислоты в масле семян подсолнечника
Table 2. Comparative results of the determination of oleic acid in sunflower seed oil

Образец	Массовая доля олеиновой кислоты, %		Абсолютное отклонение, %
	ГЖХ	ЯМР	
1	28	25	-3
2	82	84	2
3	83	83	0
4	82	80	-2
5	64	66	2
6	85	82	-3
7	67	71	4
8	30	33	3
9	70	68	-2
10	88	90	2
11	88	89	1
12	16	16	0
13	87	87	0
14	87	83	-4
15	51	53	2

Из данных, представленных в табл. 2 и 3, видно, что отклонение определения характеристических кислот в масличном сырье разработанными способами, на основе импульсного метода ЯМР, относительно результатов полученных при анализе этих образцов известным способом, не превышает 5 %.

Выводы. Разработанные во ВНИИМК инструментальные способы определения массовой доли олеиновой кислоты в масле семян подсолнечника и линоленовой кислоты в масле семян льна, на основе метода ЯМР сопоставимы по абсолютному отклонению с применяемым в настоящее время хроматографическим способом. Время анализа разработанных способов значительно меньше хроматографического способа, что позволяет оперативно оценить качество масличных семян и контролировать технологические процессы.

Таблица 3. Сравнительные результаты определения линоленовой кислоты в масле льна
Table 3. Comparative results of the determination of linolenic acid in linseed oil

Образец	Массовая доля линоленовой кислоты, %		Абсолютное отклонение, %
	ГЖХ	ЯМР	
1	2	3	4
1	54	55	1
2	42	44	2
3	42	40	-2
4	22	21	-1
5	4	9	5
6	84	82	-2
7	34	35	1
8	22	25	3
1	2	3	4
9	17	18	1
10	24	25	1
11	11	8	-3
12	13	12	-1
13	6	4	-2
14	57	58	1
15	74	70	-4

Предложенные способы оценки на основе импульсного метода ЯМР являются не разрушающими и образцы в дальнейшем можно использовать в селекционной деятельности.

Кроме того, разработанные инструментальные способы оценки качества масличного сырья (семян подсолнечника и льна) не требуют проведения специальной пробоподготовки, исключают применение токсичных химических веществ, обеспечивают высокую представительность, а простота и автоматизация процесса анализа снижает требования к квалификации персонала. Производить идентификацию масличного сырья возможно одновременно с определением масличности и влажности семян на серийно выпускаемых анализаторах АМВ-1006М, которые в настоящее время внедрены более чем на 300 предприятиях масложировой отрасли после проведения их модернизации.

Список использованных источников

1. Масла растительные. Метод определения жирно-кислотного состава: ГОСТ 30418-96. — Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2012 — 7с.
2. Способ определения кислотного числа темноокрашенного растительного масла : пат. 2251689 Рос. Федерация, G 01 N 24/08/ Б.Я. Витюк, С.М. Прудников, И.А. Гореликова [и др.] ; заявитель и патентообладатель Кубанск. гос.технолог. унив-т. — № 2003129920/13 ; заявл. 10.10.2003 ; опубл. 10.05.2005. — № 13. — 5 с.
3. Способ определения кислотного числа растительных масел : пат. 2187796 Рос. Федерация, G 01 N 24/08/ Б.Я. Витюк, С.М. Прудников, И.А. Гореликова [и др.] ; заявитель и патентообладатель Кубанск. гос.технолог. унив-т. — № 2000122163/28 ; заявл. 21.08.2000 ; опубл. 20.08.2002. — Бюл. № 23. — 7 с.
4. *Зверев, Л.В.* Определение химических показателей растительных масел и масличного сырья на основе данных ядерной магнитной релаксации: автореферат дис. ... канд. техн. наук / Краснодар. — 2002. — 24 с.
5. Способ идентификации семян рапса : пат. 2260792 Рос. Федерация, МПК G 01 N 24/08, G 01 N 33/03/ С.М. Прудников, С.Ю. Ксандопуло, Б.Я. Витюк [и др.] ; заявитель и патентообладатель Кубанск. гос. технолог.унив-т. — № 2004111231/28 ; заявл. 12.04.04 ; опубл. 20.09.05. — № 26. — 5 с.
6. Способ идентификации оливкового масла : пат. 2315982 Рос. Федерация, МПК G 01 N 24/08/ А.А. Петрик, Е.П. Корнена, С.М. Прудников [и др.] ; заявитель и патентообладатель Кубанск. гос. технолог.унив-т. — № 2006127727/28 ; заявл. 31.07.06 ; опубл. 27.01.08. —№ 3. — 5 с.

7. Способ определения содержания эруковой кислоты в масле семян рапса : пат. 2260793 Рос. Федерация, МПК G 01 N 24/08, G 01 N 33/03/ С.М. Прудников, С.Ю. Ксандопуло, Б.Я. Витюк и др.; заявитель и патентообладатель Кубанск. гос. технолог.унив-т. — № 2004111238/28 ; заявл. 12.04.04; опубл. 20.09.05. — № 26. — 4 с.
8. *Викторова, Е.П.* Разработка экологически безопасного экспресс-способа оценки качества соевых лецитинов / Е.П. Викторова [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). — Краснодар, 2016. — № 07(121). — С. 698–707.
9. Способ определения содержания фосфолипидов в фосфолипидном концентрате (лецитине) : пат. № 2431140 Рос. Федерация. // Е.П. Корнена, О.С. Агафонов, Е.В. Лисовая [и др.] // заявл. 10.07.2010 ; опубл. 10.10.2011.
10. Способ определения содержания ацетоннерастворимых веществ (фосфолипидов) в рапсовом лецитине:пат. № 2581447 Рос. Федерация. // Е.В. Лисовая, Е.П.Викторова, С.М.Прудников [и др.] //заявл. 27.03.2015.; опубл. 20.04.2016. — № 11. — 5 с.
11. *Агафонов, О.С.* Сравнение известного и разработанных способов идентификации масличного сырья / О.С. Агафонов, Е.П. Франко // Матер. IVмеждунар. науч.-практич. конф. «Актуальные проблемы формирования кадрового потенциала для инновационного развития АПК». — Минск, 2017. — С. 277–280.
12. *Агафонов, О.С.* Высокоолеиновый подсолнечник и современные методы контроля содержания олеиновой кислоты / О.С. Агафонов [и др.] // Минск : Пищевая промышленность: наука и технология, 2015. — № 4(22) —С. 91–94.
13. *Агафонов, О.С.* Исследование влияния температуры на средневзвешенное время спин-спиновой релаксации протонов, содержащихся в масле семян льна / С.М. Прудников, Л.В. Зверев, С.В. Склярков // Научный журнал КубГАУ. — Краснодар, № 131(07). — 2017. — С. 125 — 133.
14. *Агафонов, О.С.* Экологически безопасный экспресс-способ оценки качества и идентификации семян льна на основе метода ЯМР / О.С. Агафонов, С.В. Склярков // Стратегические направления развития АПК стран СНГ : сб. трудов XVI Междунар. науч.-практич. конф. — Барнаул, 2017. — С. 449–451.
15. Meiboom S., Gill D. Modified spin-echo method for measuring nuclear relaxation times // The Review of Scientific Instruments. — 1958. — vol. 29 (45). — P. 688–691.
16. Carr H. Y., Purcell E. M. Effects of diffusion on free precession in nuclear magnetic resonanceexperiments // Phys. Rev. — 1954. — vol. 94. — P. 630.
17. Система приема и обработки сигналов импульсных релаксометров ядерного магнитного резонанса : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / С.М. Прудников [и др.] — № 2001610425. зарегистр. 17.04.2001.
18. *Прудников, С.М.* Научно-практическое обоснование способов идентификации и оценки качества масличных семян и продуктов их переработки на основе метода ядерной магнитной релаксации: дис. ... д-ра техн. наук / С.М. Прудников. — Краснодар, 2003. — 244 с.
19. *Агафонов, О.С.* Ядерно-магнитные релаксационные характеристики протонов масла семян льна с различным жирно-кислотным составом / О.С. Агафонов [и др.] // Масличные культуры. Науч.-технич. бюл. Всерос. науч.-исслед. института масличных культур. — Краснодар, 2017. — № 1 (169). — С. 40–45.
20. *Агафонов, О.С.* Ядерно-магнитные релаксационные характеристики протонов масла семян льна с различным жирнокислотным составом / О.С. Агафонов, С.М. Прудников, Л.В. Зверев, С.В. Склярков // Масличные культуры. Науч.-технич. бюл. Всерос. науч.-исслед. института масличных культур.— Краснодар, 2017. — №1 (169). — С. 40–45.
21. *Прудников, С.М.* Влияние массовой доли олеиновой кислоты на ЯМР характеристики протонов, содержащихся в семенах подсолнечника и в подсолнечных маслах. Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов / С.М. Прудников, О.С. Агафонов, Л.В. Зверев, Е.П. Викторова, Т.А. Шахрай // Масличные культуры. Науч.-технич. бюл. Всерос. науч.-исслед. института масличных культур. — Краснодар, 2017. —№ 5(46) — С.3–8.

References

1. Vegetable oils. Method for determining fatty acid composition : GOST 30418-96. — Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification: Belarusian. state. Institute of Standardization and Certification, 2012 — 7 p.
2. Pat. 2251689 Russian Federation, G 01 N 24/08. Method for determination of the acid number of dark-colored vegetable oil [Text] / B.Ya. Vityuk, S.M. Prudnikov, I.A. Gorelikova [and etc.] ; the applicant and the patent holder Kubansk. state technologist. univ-t. — No. 2003129920/13 ; claimed. 10.10.2003 ; publ. 10.05.2005, Bul. № 13. — 5 p.
3. Pat. 2187796 Russian Federation, G 01 N 24/08. Method for determination of the acid number of vegetable oils [Text] / B.Ya. Vityuk, S.M. Prudnikov, I.A. Gorelikova [and etc.] — No. 2000122163/28 ; claimed. 21.08.2000 ; published. 20.08.2002, Bul. № 23. — 7 p.
4. Zverev L.V. Determination of chemical indices of vegetable oils and oilseeds based on nuclear magnetic relaxation data: Abstract of diss. ... cand. tech. Sciences / Krasnodar, 2002. — 24 p.
5. Pat. 2260792 Russian Federation, IPC G 01 N 24/08, G 01 N 33/03. Method for identification of rapeseed seeds [Text] / S.M. Prudnikov, S.Yu. Xandopulo, B.Ya. Vityuk [and etc.] ; the applicant and the patent holder Kubansk. state. technologist. univ-t. — No. 2004111231/28 ; claimed. 12.04.04 ; publ. 20.09.05, Bul. № 26. — 5 with .: ill.
6. Pat. 2315982 Russian Federation, IPC G 01 N 24/08. Method for identification of olive oil [Text] / A.A. Petrik, E.P. Kornena, S.M. Prudnikov [and etc.] ; the applicant and the patent holder Kubansk. state. technologist. univ-t. — No. 2006127727/28 ; claimed. 31.07.06 ; publ. January 27, 08, Bul. No. 3. — 5 with .: ill.
7. Pat. 2260793 Russian Federation, IPC G 01 N 24/08, G 01 N 33/03. Method for determination of erucic acid in rapeseed oil oil [Text] / S.M. Prudnikov, S.Yu. Ksandopulo, B.Ya. Vityuk and etc.; the applicant and the patent holder Kubansk. state. technologist. univ-t. — No. 2004111238/28 ; claimed. 12.04.04 ; publ. 20.09.05, Bul. № 26. — 4 with .: ill.
8. Development of an ecologically safe express method for assessing the quality of soy lecithins / E.P. Viktorova [et al.] // Polytematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University (KubSAU Scientific Journal). — 2016. — No. 07 (121). — P. 698–707.
9. Pat. No. 2431140 Ros. Federation. A method for determining the content of phospholipids in a phospholipid concentrate (lecithin) // E.P. Kornena, O.G. Agafonov, E.V. Lisova [and others] // Appl. 10/07/2010 ; publ. 10.10.2011.
10. Pat. No. 2581447 Ros. Federation. Method for determination of the content of acetone insoluble substances (phospholipids) in rapeseed lecithin // E.V. Lisova, E.P. Viktorova, S.M. Prudnikov [and etc.] // Appl. 03/27/2015 ; publ. 04/20/2016 ; Bul. № 11.
11. Agafonov O.S. Comparison of known and developed methods for the identification of oil-bearing raw materials / O.S. Agafonov, E.P. Franco // Materials of the 4th International Scientific and Practical Conference “Actual problems of human resources development for innovative development of agroindustrial complex”, October 5–6, 2017. — P. 277–280.
12. Highly oleic sunflower and modern methods for controlling the content of oleic acid / O.S. Agafonov [et al.] // Minsk : Food Industry: Science and Technology. № 4 (22). — C. 91–94.
13. Agafonov O.S., Prudnikov S.M., Zverev L.V. Sklyarov S.V. Nuclear-magnetic relaxation characteristics of protons of flax seed oil with different fatty acid composition // Oil-bearing crops. Scientific and technical bulletin of the All-Russian Research Institute of Oilseeds. — 2017. — Issue. 1 (169). — P. 40–45.
14. Agafonov O.S., Sklyarov S.V. Ecologically safe express method for assessing the quality and identification of flax seeds on the basis of the NMR method. Collection of Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference “Strategic Directions for the Development of Agroindustrial Complex of the CIS Countries”, February 27–28, Barnaul. 2017. —P.449–451.
15. Meiboom S., Gill D. Modified spin-echo method for measuring nuclear relaxation times // The Review of Scientific Instruments. — 1958. — vol. 29 (45). — P. 688–691.
16. Carr H.Y., Purcell E.M. Effects of diffusion on free precession in nuclear magnetic resonance experiments // Phys. Rev. — 1954. — vol. 94. — P. 630.

17. Certificate No. 2001610425 of the Russian Federation. System for receiving and processing signals of nuclear magnetic resonance pulse relaxometers: a certificate of official registration of a computer program / S.M. Prudnikov [and others]; for registration. 17.04.2001.
18. Prudnikov S.M. Scientifically-practical substantiation of ways of identification and an estimation of quality of oil-bearing seeds and products of their processing on the basis of a method of nuclear magnetic relaxation [Text]: The dissertation ... Dr. tehn. Sciences / Prudnikov Sergey Mikhailovich. — Krasnodar, 2003. — 244 p.
19. Nuclear-magnetic relaxation characteristics of protons of flax seed oil with different fatty acid composition [Text] / O.S. Agafonov [and others] // Oilseeds. Scientific and technical bulletin of the All-Russian Research Institute of Oilseeds. — 2017. — No. 1 (169). — P. 40–45.
20. Agafonov O.S., Prudnikov S.M., Zverev L.V., Sklyarov S.V. Nuclear-magnetic relaxation characteristics of protons of flax seed oil with different fatty acid composition // Oil-bearing crops. Scientific and technical bulletin of the All-Russian Research Institute of Oilseeds. — 2017. — Issue. 1 (169). — pp. 40–45.
21. Prudnikov S.M., Agafonov O.S., Zverev L.V., Viktorova E.P., Shakhrai T.A. Influence of the mass fraction of oleic acid on the NMR of the characteristics of protons contained in sunflower seeds and in sunflower oils. Technology and Commodity Research of Innovative Food Products. — 2017. — issue number 5 (46). — pp. 3–8.

Информация об авторах

Франко Евгения Петровна — кандидат технических наук, доцент кафедры инновационного развития АПК, учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (проспект Независимости, 99, 220023, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: janeshaden9@mail.ru

Агафонов Олег Сергеевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела физических методов исследований, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский институт масличных культур им. В.С. Пустовойтова» (350038, г. Краснодар, ул. им. Филатова, д. 17). E-mail: sacred_jktu@bk.ru

Information about authors

Franko Evgeniya Petrovna — cand. of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Innovative Development of the Agroindustrial Complex at educational institution “Belarusian State Agrarian and Technical University” (220023, Republic of Belarus Minsk, Independence Avenue, 99). E-mail: janeshaden9@mail.ru

Agafonov Oleg Sergeevich — cand. of Technical Sciences, Senior Researcher of the Department of Physical Methods of Research, Federal State Budgetary Scientific Institution «V.S. Pustovoitov All-Russia Research Institute Of Oil Crops» (350038, Russian Federation, city Krasnodar, Filatov str., 17). E-mail: sacred_jktu@bk.ru