

DOI: 10.15593/2224-9400/2020.4.04

УДК 543.24 : 543.544-414

**В.С. Попов<sup>1</sup>, Ю.А. Смятская<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

## **МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ТИТРИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВИТАМИНА С В ОКРАШЕННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТАХ**

*Витамин С (аскорбиновая кислота) является незаменимым компонентом питания. Он необходим в различных реакциях обмена веществ, участвует в синтезе коллагена, регулирует свертываемость крови и нормализует проницаемость сосудов, повышает иммунитет, способствует выведению токсинов и тяжелых металлов из организма. Аскорбиновая кислота не синтезируется организмом человека и поэтому должна ежедневно поступать с пищей.*

*Существует множество различных методов определения витамина С в пищевых продуктах, как правило, растительного происхождения. Однако предлагаемые методы по определению аскорбиновой кислоты в окрашенных экстрактах являются либо недостаточно надежными и удобными для выполнения, либо требуют специального оборудования и реактивов.*

*Нами разработан простой, надежный и доступный метод определения витамина С в окрашенных растительных экстрактах, основанный на титриметрическом методе с визуальным титрованием 2,6-дихлорфенолиндофенолом с предварительной сорбцией окрашенных соединений, мешающих проведению анализа. В методе использовано свойство каолина (белой глины) сорбировать из экстрактов антоциановые красители, основные красящие пигменты многих плодов и ягод (черная, красная смородина, вишня, черешня, ирга, слива, виноград и др.).*

*На основе анализа неокрашенных плодово-ягодных культур с сорбентом и без него рассчитан коэффициент, учитывающий потери витамина С в процессе сорбции красителей.*

*В настоящее время большое значение придается методам определения содержания важных биохимических компонентов, повышающих их пищевую и биологическую ценность. Предлагаемый метод позволит выявлять новый интересный селекционный материал; его можно использовать при массовом анализе плодово-ягодных и овощных культур, дающих окрашенные экстракты.*

**Ключевые слова:** витамин С, аскорбиновая кислота, сорбция, титриметрический метод, 2,6-дихлорфенолиндофенол, окрашенные экстракты.

V.S. Popov<sup>1</sup>, Yu.A. Smyatskaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>N.I. Vavilov Research Institute of Plant Industry,  
St. Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup>Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
St. Petersburg, Russian Federation

## A MODIFIED TITRIMETRIC METHOD FOR THE QUANTITATIVE DETERMINATION OF VITAMIN C IN COLORED PLANT EXTRACTS

*Vitamin C (ascorbic acid) is an irreplaceable food component. It takes an active part in various metabolic reactions, participates in the synthesis of collagen, regulates blood clotting and normalizes vascular permeability, enhances immunity, and helps to eliminate toxins and heavy metals from the body. Ascorbic acid is not synthesized by the human body and therefore must be consumed daily with food.*

*There are many different methods for determining vitamin C in foods, usually of plant origin. However, the proposed methods for the determination of ascorbic acid in colored extracts are either insufficiently reliable and convenient for implementation, or require special equipment and reagents.*

*We have developed a simple, reliable and affordable method for the determination of vitamin C in colored plant extracts, based on the titrimetric method with visual titration with 2,6-dichlorophenolindophenol with preliminary sorption of colored compounds that interfere with the analysis. The method uses the property of kaolin (white clay) to absorb anthocyanins from extracts, the main coloring pigments of many fruits and berries (black, red currants, cherries, sweet cherries, irga, plums, grapes, etc.).*

*Also, based on the analysis of uncolored fruit and berry crops with and without sorbent, a coefficient was calculated that takes into account the loss of vitamin C during the sorption of colored compounds.*

*Currently, great importance is attached to methods for determining the content of important biochemical components that increase their nutritional and biological value. The proposed method will make it possible to identify new interesting breeding material; it can be used in the mass analysis of fruit and berry and vegetable crops that produce colored extracts.*

**Keywords:** *vitamin C, ascorbic acid, sorption, titrimetric method, 2,6-dichlorophenol-indophenol, colored extracts*

**Введение.** Витамин С (аскорбиновая кислота) – водорастворимый витамин, впервые выделен С. Зильва (S.S. Zilva) в 1923–1927 гг. из лимонного сока [1]. Витамин С является антиоксидантом, кофактором многих ферментов, противогинготным средством. Он участвует в регулировании окислительно-восстановительных процессов и обмена веществ, нормализует проницаемость сосудов, оказывает противовоспалительное и противоаллергическое действие, регулирует свертывае-

мость крови, оказывает детоксицирующее действие, повышает сопротивляемость организма к инфекциям [2–4].

Аскорбиновая кислота (АК) обнаружена во всех органах и тканях человека и является незаменимым фактором питания только для человека, обезьяны, морской свинки и летучей мыши по причине отсутствия у них фермента L-гулонооксидазы, катализирующей превращение гулоновой кислоты в аскорбиновую. Потребность в витамине С составляет 70–100 мг/сут [5].

Существуют 3 формы витамина С: L-аскорбиновая кислота – восстановленная форма с максимальной витаминной активностью; дегидроаскорбиновая кислота – окисленная форма, способная к восстановлению; аскорбиген – растительная форма, в которой АК связана с белками, нуклеиновыми кислотами, биофлавоноидами. Аскорбиген наиболее устойчив к окислению [6]. АК является ненасыщенным соединением, с енольной группировкой, что способствует ее легкому переходу в дегидроформу (рис. 1).

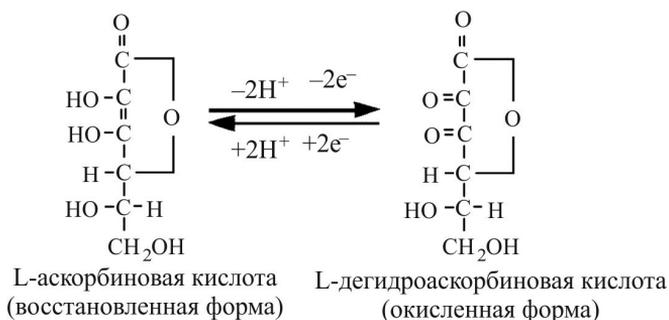


Рис. 1. Окисленная и восстановленная формы витамина С [7]

В соответствии с ГОСТ 24556–89 [8] существует различные способы определения витамина С в растительном сырье: титриметрический с визуальным титрованием, для определения АК в продуктах, дающих светлоокрашенные экстракты; титриметрический с потенциометрическим титрованием и фотометрический для определения АК в продуктах, дающих темноокрашенные экстракты; титриметрический с цистеином и флуорометрический для определения суммы аскорбиновой и дегидроаскорбиновой кислот.

Метод определения витамина С титриметрическим методом основан на его восстановительных свойствах. Анализ осуществляется с помощью реактива натриевой соли 2,6-дихлорфенолиндофенола (краска Тильманса), водный раствор которого окрашен в интенсивно

синий цвет. Поскольку витамин С легко окисляется, то в его присутствии дихлорфенолиндофенол восстанавливается. Витамин С, взаимодействуя с дихлорфенолиндофенолом, переходит в обратимо окисленную форму (дегидроаскорбиновую кислоту), которая обладает таким же противогинготным действием, как и его восстановленная форма [9].

Краска Тильманса показывает два вида реакции. Один вид обусловливается изменением рН среды, при этом происходит переход от интенсивного синего цвета в щелочной среде к розовому в кислой среде. Переход окраски происходит между рН 4 и 5, в этом интервале титрант имеет фиолетовый цвет.

Второй вид реакции – это окислительно-восстановительный переход от темно-синего окисленного состояния к бесцветному (рис. 2). Эту последнюю реакцию и используют для определения АК. Кислотные вытяжки из растений титруют раствором краски Тильманса (известного титра) до наступления розового окрашивания, обусловливаемого избытком титранта в кислой среде. Пока в титруемом растворе содержится витамин С, добавляемый раствор 2,6-дихлорфенолиндофенола, имеющий синий цвет, обесцвечивается с образованием лейкоформы, за счет присутствия восстановленной формы АК. Как только все количество АК в анализируемом растворе окислится до дегидроаскорбиновой кислоты, раствор приобретает красную окраску, характерную для окисленной формы 2,6-дихлорфенолиндофенола в кислой среде. На 1 молекулу АК (молекулярный вес 176) приходится 2 молекулы 2,6-дихлорфенолиндофенола.

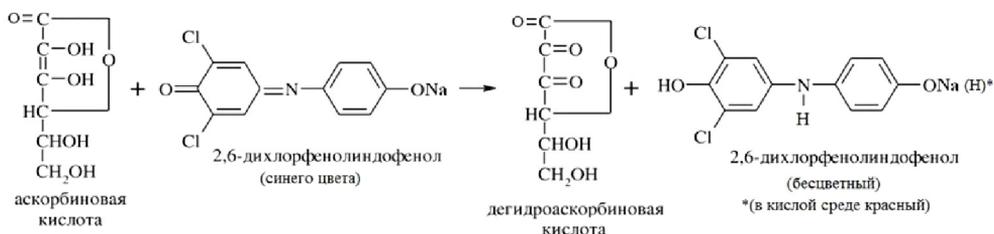


Рис. 2. Реакция АК с краской Тильманса

Таким образом, количественное определение витамина С проводят, титруя исследуемый раствор, подкисленный соляной кислотой, щелочным раствором 2,6-дихлорфенолиндофенола. Зная количество 2,6-дихлорфенолиндофенола, израсходованное на титрование, и его титр, установленный по АК, вычисляют содержание АК в исследуемом растворе [10].

Поскольку 2,6-дихлорфенолиндофенол не обладает ярко выраженным переходом, а розовый цвет плохо различим на фоне естественных красителей, присущих многим плодам и ягодам (черная, красная смородина, вишня, черешня, ирга, слива и др.), титровать их указанным выше способом не представляется возможным.

В литературе окрашенные экстракты предлагается титровать краской Тильманса в присутствии хлороформа, дихлорэтана или толуола [9]. Для этого в конические колбы отбирают пипеткой 5 см<sup>3</sup> окрашенного экстракта и туда же добавляют 5 см<sup>3</sup> хлороформа. Вытяжку титруют при осторожном перемешивании, накрыв колбу пробкой. Титрование осуществляют до появления первого розового окрашивания в слое хлороформа. Одновременно проводят контрольное титрование с той разницей, что вместо окрашенного экстракта в колбы прибавляют смесь соляной и щавелевой кислот в соотношении 1:5. Данный метод отличается трудоемкостью и сложностью визуального определения появления розового цвета в тонком слое на границе с хлороформом.

Сложным и затратным представляется также метод определения витамина С в окрашенных объектах по Бекеру. Данный фотоколориметрический метод требует построения калибровочной кривой и использования большого количества реактивов и специальных приборов [11].

Нами предложен метод, основанный на модификации титриметрического метода с визуальным титрованием, приемлемый для определения АК в окрашенных экстрактах. В методе использовано свойство каолина (белой глины) сорбировать из экстрактов антоциановые красители, основные красящие вещества многих плодов и ягод. В дальнейшем определение витамина С в обесцвеченных растворах осуществляли методом титрования краской Тильманса [12, 13].

**Экспериментальная часть.** Методика определения витамина С в окрашенных и неокрашенных экстрактах включает в себя несколько этапов.

1. *Подготовка проб для анализа и экстракция.* Пробы предварительно грубо измельчали керамическим ножом и при необходимости удаляли косточки. В фарфоровых чашках взвешивали точно 2 параллельные навески исследуемого материала в количестве 10 г и заливали их 20 мл 1%-й соляной кислоты и 5 мл 1%-й щавелевой кислоты и оставляли в темном месте на 1 ч. По истечении указанного времени каждую навеску растирали в фарфоровой ступке с небольшим количеством кварцевого песка до однородной массы и переносили полученную

суспензию из ступки в мерную колбу на 100 мл, тщательно смывая остатки 1%-й щавелевой кислотой, и ею же доводили объем смеси до метки. Содержимое колбы тщательно перемешивали и фильтровали через бумажный фильтр.

Соляная кислота способствует извлечению из растительной ткани как свободной, так и связанной АК. Щавелевая же кислота предотвращает разрушение АК в экстрактах, поэтому при необходимости фильтраты можно оттитровать на следующий день.

2. *Приготовление краски Тильманса и установление ее титра.* Для приготовления 0,001 н. раствора 2,6-дихлорфенолиндофенола растворяли 30 мг сухой краски в мерной колбе на 100 см<sup>3</sup>, прибавляли 50–75 см<sup>3</sup> теплой воды и 2–3 капли 0,01 н. NaOH. После 10-минутного взбалтывания доливали колбу до метки дистиллированной водой и, перемешав, фильтровали через плотный фильтр в сухую колбу.

Для установления титра краски взвешивали 1–1,5 мг АК, которую растворяли в 50 см<sup>3</sup> 2%-й серной кислоты. Затем 5 см<sup>3</sup> этого раствора титровали раствором краски из микробюретки. Сразу после этого другую пробу с 5 см<sup>3</sup> раствора АК титровали из другой микробюретки точно 0,001 н. раствором йодата калия, при этом перед титрованием в колбу добавляли несколько кристалликов (5–10 мг) йодистого калия и 5 капель 1%-го раствора крахмала.

Расчет титра краски производили по формуле

$$T = 0,088 \cdot \frac{a}{b}, \quad (1)$$

где  $a$  – объем, точно 0,001 н. раствора йодата калия, см<sup>3</sup>;  $b$  – объем раствора краски, см<sup>3</sup>; 0,088 – количество мг АК, соответствующей 1 см<sup>3</sup> 0,001 н. раствору йодата калия, мг/см<sup>3</sup>.

3. *Определение витамина С в неокрашенных экстрактах.* В неокрашенных фильтратах можно непосредственно определить витамин С. Для этого в химические стаканы пипеткой отмеряют по 1 мл две параллельные порции фильтрата, добавляют по 5–10 мл дистиллированной воды и титруют из микробюретки 0,001 н. раствором краски Тильманса с известным титром до появления розового окрашивания, не исчезающего в течение 0,5–1 мин.

Содержание витамина С ( $X_n$ , мг %) рассчитывали по формуле

$$X_n = \frac{V_1 \cdot V_2 \cdot T}{m \cdot V_3} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $V_1$  – общий объем вытяжки ( $100 \text{ см}^3$ ),  $\text{см}^3$ ;  $V_2$  – объем краски Тильманса, пошедшей на титрование экстракта,  $\text{см}^3$ ;  $T$  – титр 0,001 н. раствора 2,6-дихлорфенолиндофенола по АК,  $\text{мг}/\text{см}^3$ ;  $V_3$  – объем экстракта, взятого на титрование ( $1 \text{ см}^3$ ),  $\text{см}^3$ ;  $m$  – масса навески, г; 100 – коэффициент пересчета на 100 г.

4. *Определение витамина С в окрашенных экстрактах.* Для этого взвешивали в химическом стакане 0,3 г каолина (белой глины) и добавляли в него по 3 мл окрашенного фильтрата, т.е. сорбцию антоцианов проводили при соотношении каолина и фильтрата 1:10. Полученную суспензию перемешивали стеклянной палочкой в течение 1 мин и затем переносили в центрифужные пробирки. Центрифугировали смесь в течение 3 мин при 3000 об/мин. Затем из центрифужных пробирок отбирали в химические стаканы дозатором по  $1 \text{ см}^3$  прозрачного супернатанта, добавляли 5–10  $\text{см}^3$  дистиллированной воды и титровали краской Тильманса, как было указано выше.

Как правило, экстракты, полученные из слабо окрашенных плодов и ягод, после сорбции полностью обесцвечиваются, однако часть природных красителей может остаться в супернатанте, полученном из сильно окрашенных плодов. По этой причине для лучшей визуализации и более точного определения перехода цвета краски супернатант можно дополнительно разбавить 10–15  $\text{см}^3$  дистиллированной воды и титрование проводить в присутствии второй такой же разбавленной пробы.

В эксперименте на неокрашенных плодах и овощах было установлено, что каолин сорбирует весьма незначительное количество витамина С (таблица). Поэтому в расчетную формулу был внесен коэффициент, учитывающий потери витамина С на этапе сорбции, который в среднем составляет 1,07:

$$K = \frac{\sum_1^n V_{б/к}}{\sum_1^n V_{с/к}}, \quad (3)$$

где  $V_{б/к}$  – объем краски Тильманса, ушедшей на титрование экстракта без использования каолина;  $V_{с/к}$  – объем краски Тильманса, ушедшей на титрование экстракта с использованием каолина;  $n$  – количество исследованных образцов.

Влияние сорбента на объем краски Тильманса,  
ушедшей на титрование неокрашенных экстрактов

№ п/п	Культура и сорт	Цвет	Объем краски, на титрование экстракта, мл		Коэффициент
			без каолина	с каолином	
1	Красная смородина Маргаритар	Белая	2,96	2,90	1,06
2	Красная смородина Баяна	Белая	2,88	2,74	1,05
3	Красная смородина Смольяненковская	Белая	3,16	2,94	1,07
4	Красная смородина Белорусская розовая	Розовая	2,04	1,92	1,06
5	Красная смородина Голландская розовая	Розовая	3,02	2,78	1,09
6	Красная смородина Ютерборгская	Белая	2,70	2,60	1,04
7	Черная смородина Изумрудное ожерелье	Зеленая	6,04	5,70	1,06
8	Черешня Рондо	Желтая	0,74	0,68	1,09
9	Слива Светлячок	Желтая	0,32	0,30	1,07
10	Слива Уссурийская плакучая 6-19	Желтая	0,42	0,38	1,11
11	Алыча 4-33	Желтая	0,34	0,32	1,06
12	Слива Дашенька	Розовая	0,44	0,40	1,10
	<i>Среднее значение коэффициента</i>				<b>1,07</b>

Содержание витамина С в окрашенных растворах ( $X_0$ , мг %) рассчитывали по формуле

$$X_0 = \frac{K \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot T}{m \cdot V_3} \cdot 100, \quad (4)$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий потери витамина С на этапе сорбции (1,07).

**Выводы и заключение.** Витамин С – незаменимый компонент питания и один из наиболее важных витаминов, необходимых для нормальной жизнедеятельности человека. По этой причине существует большой спрос на его определение в различных, как правило, растительных продуктах.

Существуют различные физические и химические способы определения витамина С. Одним из наиболее простых, доступных и широко используемых методов является титриметрический метод с визуаль-

ным детектированием. Однако данный метод неприменим для окрашенных экстрактов, образующихся при анализе многих растительных объектов.

Предлагаемый нами метод определения витамина С можно с успехом применять для анализа плодово-ягодных и овощных культур с ярко окрашенной кожицей и мякотью. Метод основан на традиционном титриметрическом методе, в котором применено свойство белых глин сорбировать антоциановые красители из окрашенных экстрактов перед их титрованием 2,6-дихлорфенолиндофенолом.

К достоинствам метода относятся простота определения, доступность используемых в нем реактивов, а также минимальные временные затраты на подготовку и проведение анализа. Предлагаемый метод можно использовать при массовом анализе плодово-ягодных и овощных культур, дающих окрашенные экстракты. Метод позволяет определять в образцах содержание важных биохимических компонентов, повышающих их пищевую и биологическую ценность, выявлять новый интересный селекционный материал.

### Список литературы

1. Витамин С. Аскорбиновая кислота [Электронный ресурс]. – URL: <https://vitamini.ru/vse-o-vitaminakh/vitamin-c/> (дата обращения: 22.09.2020).
2. Carr A.C., Maggini S. Vitamin C and immune function // *Nutrients*. – 2017. – № 9(11). – P. 1211. DOI: 10.3390/nu9111211
3. Antioxidant effect of different vitamins on methemoglobin production: An in vitro study / N. Atyabi, S.P. Yasini, S.M. Jalali, H. Shaygan // *Vet. Res. Forum*. – 2012. – № 3(2). – P. 97–101.
4. Полякова Н.П., Бокова Т.И. Использование витаминных препаратов в качестве детоксикантов при повышенном содержании тяжелых металлов в рационе птицы // *Животноводство и кормопроизводство. Достижения науки и техники АПК*. – 2016. – Т. 30, № 9. – С. 99–101.
5. Витамин С (аскорбиновая кислота) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.smed.ru/guides/162> (дата обращения: 22.09.2020).
6. Vitamin C: One compound, several uses. Advances for delivery, efficiency and stability / A.C. Caritá, B. Fonseca-Santos, J.D. Shultz [et al.] // *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*. – 2020. – Vol. 24. – P. 102–117. DOI: 10.1016/j.nano.2019.102117
7. Гамаюрова В.С., Ржечицкая Л.Э. Пищевая химия [Электронный ресурс]: учеб. – М.: КДУ, Добросвет, 2018. – URL: <https://bookonlime.ru/node/1525/> (дата обращения: 22.09.2020).
8. ГОСТ 24556–89. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 11 с.

9. Методы биохимического исследования растений / А.И. Ермаков, В.В. Арасимович, Н.П. Ярош [и др.]; под ред. А.И. Ермакова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Агропромиздат Ленингр. отд., 1987. – 430 с.

10. Akah N.P., Onweluzo J.C. Evaluation of water-soluble vitamins and optimum cooking time of fresh edible portions of elephant grass (*pennisetum purpureum* L. Schumacher) shoot // Nigerian Food Journal. – 2014. – Vol. 32, iss. 2. – P. 120–127. DOI: 10.1016/S0189-7241(15)30127-2

11. Чупахина Г.Н., Масленников П.В. Методы анализа витаминов: практ. – Калининград: Изд-во КГУ, 2004. – 36 с.

12. Дейнека Л.А. Закономерности сорбции антоцианов природными глинами // Журнал прикладной химии. – 2009. – № 5. – С. 742–748.

13. Чулков А.Н. Особенности сорбции и очистки антоцианов на природных глинистых минералах // XVIII Менделеевская конференция молодых ученых. – Белгород, 2008. – С. 140–141.

## References

1. Vitamin C. Ascorbic acid, available at: URL: <https://vitamini.ru/vse-o-vitaminakh/vitamin-c/> (accessed 22 September 2020).

2. Carr A.C., and Maggini S. Vitamin C and immune function. *Nutrients*, 2017, 9(11), pp. 1211. DOI: 10.3390/nu9111211

3. Atyabi N., Yasini S.P., Jalali S. M., and Shaygan H. Antioxidant effect of different vitamins on methemoglobin production: An in vitro study. *Vet Res Forum*, 2012, Spring, 3(2), pp. 97-101.

4. Poliakova N.P., Bokova T.I. Ispol'zovanie vitaminnykh preparatov v kachestve detoksikantov pri povyshennom soderzhanii tiazhelykh metallov v ratsione ptitsy [The use of vitamin preparations as detoxifying agents with an increased content of heavy metals in the diet of poultry]. *Animal Husbandry and Feed Production. Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*, 2016, vol. 30, no. 9, pp. 99-101.

5. Vitamin C. Ascorbic acid, available at: URL: <https://www.smed.ru/guides/162> (accessed 22 September 2020).

6. Caritá A.C., Fonseca-Santos B., Shultz J.D., et al. Vitamin C: One compound, several uses. Advances for delivery, efficiency and stability. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 2020, vol. 24, pp. 102-117. DOI: 10.1016/j.nano.2019.102117

7. Gamaiurova V.S., Rzhechitskaia L.E. Pishchevaia khimiia: uchebnik dlia studentov vuzov [Food chemistry: a textbook for university students]. Electronic Publication. Moscow, KDU, Dobrosvet, 2018, available at: URL: <https://book-online.ru/node/1525/> (accessed 22 September 2020).

8. GOST 24556-89 Produkty pererabotki plodov i ovoshchei. Metody opredeleniia vitamina S [Products of fruits and vegetables processing. Methods for determination of vitamin C]. Moscow, Publishing House of Standards, 2003, 11 p.

9. Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Iarosh N.P. et al. Metody biokhimičeskogo issledovaniia rastenii [Biochemical research methods of plants]. 3-d ed. Ed. A.I. Ermakov. Leningrad, Agropromizdat, 1987, 430 p.

10. Akah N.P., Onweluzo J.C. Evaluation of water-soluble vitamins and optimum cooking time of fresh edible portions of elephant grass (*pennisetum purpureum* L. Schumach) shoot. *Nigerian Food Journal*, 2014, vol. 32, iss. 2, pp. 120-127. DOI: 10.1016/S0189-7241(15)30127-2

11. Chupakhina G.N., Maslennikov P.V. Metody analiza vitaminov [Chupakhina G.N., Maslennikov P.V. Methods for the analysis of vitamins]. Kaliningrad, Workshop, Kazanskii gosudarstvennyi universitet, 2004, 36 p.

12. Deineka L.A. Zakonomernosti sorbtzii antotsianov prirodnyimi glinami [Regularities of sorption of anthocyanins by natural clays]. *Journal of Applied Chemistry*, 2009, no. 5, pp. 742-748.

13. Chulkov A.N. Osobennosti sorbtzii i ochistki antotsianov na prirodnykh glinistykh mineralakh [Features of sorption and purification of anthocyanins on natural clay minerals]. *XVIII Mendeleev Conference of Young Scientists*, 22-26 April, Belgorod, 2008, pp. 140-141.

Получено 23.09.2020

### Об авторах

**Попов Виталий Сергеевич** (Санкт-Петербург, Россия) – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (190000, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44; e-mail: popovitaly@yandex.ru).

**Смятская Юлия Александровна** (Санкт-Петербург, Россия) – кандидат технических наук, ведущий специалист НИЛ «Промышленная экология» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Инженерно-строительный институт (194064, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; e-mail: Makarovayulia169@mail.ru).

### About the authors

**Vitaly S. Popov** (St. Petersburg, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Senior Researcher, N.I. Vavilov Research Institute of Plant Industry (42, 44, Bolshaya Morskaya, St. Petersburg, 190000; e-mail: popovitaly@yandex.ru).

**Yuliya A. Smyatskaya** (St. Petersburg, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Institute of Civil Engineering (29, Politechnical. St. Petersburg, 194064; e-mail: Makarovayulia169@mail.ru).