

Спектрофотометрическое определение А-витаминной активности каротиноидосодержащего сырья

В.В. Величко, Д.С. Круглов

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России

АННОТАЦИЯ

Каротиноиды представляют интерес как предшественники витамина А, имеющего широкий диапазон фармакологической активности — антиоксидантной, иммуномодулирующей, участие в фоторецепции и др.

Целью работы являлась разработка методики спектрофотометрического определения А-витаминной активности лекарственного растительного сырья (ЛРС), богатого каротиноидами. В качестве объектов исследования были выбраны традиционные источники каротиноидов — облепиха, морковь, тыква и шиповник. Предложена методика определения содержания индивидуальных каротиноидов в ЛРС по величине оптической плотности при длинах волн, соответствующих характерным максимумам α-каротина, β-каротина и ликопина. Показано, что предпочтительно использовать изопропиловый спирт как наиболее эффективный растворитель.

Учет содержания конкретных каротиноидов позволяет определять А-витаминную активность суммы каротиноидов, извлекаемых из растительного сырья, и соответственно повысить эффективность применения фитопрепаратов и биологически активных добавок для оздоровления.

Ключевые слова: каротиноиды, α-каротин, β-каротин, ликопин, эквивалент ретинола, спектрофотометрия.

Образец цитирования: Величко В.В., Круглов Д.С. Спектрофотометрическое определение А-витаминной активности каротиноидосодержащего сырья // Journal of Siberian Medical Sciences. 2021. № 4. С. 17–26. doi: 10.31549/2542-1174-2021-4-17-26

The spectrophotometric determination of A-vitamin activity of carotenoid-containing raw material

V.V. Velichko, D.S. Kruglov

Novosibirsk State Medical University

ABSTRACT

Carotenoids are of interest as precursors of vitamin A, which has a wide range of pharmacological effects — antioxidant, immunomodulatory, participating in photoreception, etc.

The aim of the research was to develop a technique for the spectrophotometric determination of the A-vitamin activity of carotenoids-rich medicinal plant raw materials (MPRM). The objects of research were the traditional sources of carotenoids — sea buckthorn, carrot, pumpkin and wild rose. A method is proposed for determining the content of individual carotenoids in MPRM by optical density at wavelengths corresponding to the characteristic peaks of α-carotene, β-carotene and lycopene. It has been shown that it is preferable to use isopropyl alcohol as the most effective solvent.

Taking into account the content of specific carotenoids makes it possible to determine the A-vitamin activity of the sum of carotenoids extracted from plant materials, and, accordingly, to increase the efficiency of the use of herbal preparations and biologically active additives for health improvement.

Keywords: carotenoids, α-carotene, β-carotene, lycopene, retinol equivalent, spectrophotometry.

Citation example: Velichko V.V., Kruglov D.S. (2021). The spectrophotometric determination of A-vitamin activity of carotenoid-containing raw material. *Journal of Siberian Medical Sciences*, 4, 17–26. doi: 10.31549/2542-1174-2021-4-17-26

Поступила в редакцию 26.05.2021
Прошла рецензирование 10.06.2021
Принята к публикации 24.06.2021

Автор, ответственный за переписку
Величко Виктория Владимировна: ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России. 630091, г. Новосибирск, Красный просп., 52.
E-mail: velichkvik@rambler.ru

Received 26.05.2021
Revised 10.06.2021
Accepted 24.06.2021

Corresponding author
Victoria V. Velichko: Novosibirsk State Medical University, 52, Krasny Prospect, Novosibirsk, 630091, Russia.
E-mail: velichkvik@rambler.ru

ВВЕДЕНИЕ

Каротиноиды — это группа биологически активных соединений (БАС), которая относится к полиеновым изопреноидам терпенового ряда, преимущественно — тетратерпенам. Каротиноиды обладают широким спектром фармакологической активности — провитаминной, антиоксидантной, иммуномодулирующей, участие в фоторецепции и др. В организме человека каротиноиды не синтезируются, восполнение потребностей возможно только путем поступления с пищей, биологически активными добавками или лекарственными средствами. Наиболее часто в составе растительного сырья присутствуют следующие каротиноиды: ликопин, как биогенетический предшественник всех каротиноидов [1, 2], имеющий линейную структуру, а также α -каротин и β -каротин, отличающиеся друг от друга структурой замыкающих иононовых циклов. Каротиноиды представляют интерес как предшественники (провитамины) витамина А, необходимого для нормальной жизнедеятельности животного организма. Провитаминные свойства β -каротина базируются на том, что простым делением одной его молекулы на две равные части могут быть получены две молекулы ретинола (витамина А). Вместе с тем реальный метаболизм β -каротина гораздо сложнее [3] и включает окислительную деструкцию, начинающуюся с одного из концов молекулы через образование апокаротиналей. Поскольку окислительные процессы, протекающие в слизистой тонкого отдела кишечника, неизбежно сопряжены с побочными реакциями, то А-витаминная активность молекулы β -каротина не выше, а в два раза ниже активности молекулы чистого ретинола. Эмпирически установлено [1], что 1 мг β -каротина соответствует 1667 МЕ (международная единица активности витамина А), в то время как 1 мг α -каротина соответствует 883 МЕ. Ликопин, несмотря на то, что он является биогенетическим предшественником каротина, сам по себе не обладает А-витаминной активностью [4]. В этой связи лекарственные растительные препараты, используемые как источники каротиноидов, могут обладать разной А-витаминной эквивалентностью, и в этом случае необходимо стандартизовать исходное лекарственное растительное сырье (ЛРС) не только по сумме каротиноидов, но и прежде всего по его А-витаминному эквиваленту. Тем не менее в настоящий момент стандартизация такого сырья производится только по сумме каротиноидов в пересчете на β -каротин, без учета его А-витаминной эквивалентности.

INTRODUCTION

Karotenoids are a group of biologically active compounds (BAC) that belongs to polyene isoprenoids of the terpene series, mainly tetraterpenes. Carotenoids have a wide range of pharmacological activities, among which are generally recognized provitamin, antioxidant, immunomodulatory, participating in photoreception, etc. Carotenoids are not synthesized in the human body; the needs can be replenished only through intake with food, biologically active additives or drugs. Most often, the following carotenoids are present in the plant material: lycopene, as a biogenetic precursor of all carotenoids [1, 2], with a linear structure, as well as α -carotene and β -carotene differing from each other in the structure of terminal ionone cycles. Carotenoids are of interest as precursors (provitamins) of vitamin A, which is necessary for the normal functioning of an animal organism. The provitamin properties of β -carotene are based on the fact that by simply dividing one of its molecules into two equal parts, two retinol (vitamin A) molecules can be obtained. At the same time, the real metabolism of β -carotene is much more complicated [3] and includes oxidative destruction, starting from one of the ends of the molecule through the formation of apocarotenals. Since the oxidative processes occurring in the mucous membrane of the small intestine are inevitably associated with side reactions, the A-vitamin activity of the β -carotene molecule is not higher, but two times lower than the activity of the pure retinol molecule. It has been empirically established [1] that 1 mg of β -carotene corresponds to 1667 IU (the international unit of activity for vitamin A), while 1 mg of α -carotene corresponds to 883 IU. Lycopene, despite being a biogenetic precursor of carotene, does not possess A-vitamin activity itself [4]. In this regard, herbal medicinal preparations used as sources of carotenoids may have different A-vitamin equivalence, and in this case, it is necessary to standardize the starting medicinal plant raw material (MPRM) not only in terms of the sum of carotenoids, but also primarily in terms of its A-vitamin equivalent. Nevertheless, at the moment, the standardization of such raw material is based on the sum of carotenoids in terms of β -carotene, without taking into account its A-vitamin equivalence.

Most often, for the standardization and quantitative determination of carotenoids in MPRM, spectrophotometry is used [5] as the simplest, fastest, and most cost-effective method. In this method, carotenoids are identified by the positions of light absorption peaks, which vary depending on the length of the polyene fragment, the presence of cycle

Наиболее часто для проведения стандартизации и количественного определения каротиноидов в ЛРС используют метод спектрофотометрии [5] как наиболее простой, быстрый и малозатратный. В этом методе каротиноиды идентифицируют по положениям максимумов светопоглощения, которые варьируют в зависимости от длины полиенового фрагмента, наличия в структуре циклических концевых групп, стерических эффектов, природы используемого растворителя и др. Полиеновая структура каротиноидов обуславливает интенсивное поглощение электромагнитного излучения в интервале от 400 до 500 нм. В Государственной фармакопее XIV издания (ГФ XIV) для определения суммы каротиноидов приведена спектрофотометрическая методика [6], в которой в качестве экстрагента предлагается использовать гексан. Вместе с тем продукт окисления н-гексана, попадая в организм человека, окисляется с выделением 2,5-гександиона, который способен взаимодействовать с лизином и образовывать перекрестные сшивки в белках нервных волокон и тем самым приводить к нарушению функции последних, вызывая поражение нервной системы [7]. Кроме того, гексан — летучее соединение (температура кипения 68 °C), способное образовывать в рабочей зоне взрывоопасные смеси [8].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Модификация методики спектрофотометрического определения содержания каротиноидов в ЛРС и определение А-витаминной активности различных видов ЛРС, богатого каротиноидами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования были выбраны традиционные источники каротиноидов: мякоть плодов тыквы крупноплодной сорта Лечебная и корнеплоды моркови сорта Нантская, выращенные на опытном участке в окрестности пос. Мочище Новосибирской области (НСО); плоды облепихи крушиновидной сорта Friesdorfer Orange, выращенные на опытном участке в окрестностях станции Юность Западно-Сибирской железной дороги, а также плоды дикорастущего шиповника иглистого — *Rosa acicularis* Lindl., собранного в окрестности села Барлак Мошковского района НСО в фазу плодоношения в 2019 г. Заготовленное сырье после первичной очистки от посторонних примесей доводили до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре в защищенном от света месте. После высушивания сырье измельчали до частиц, проходящих сквозь сито с размером ячейки 2 мм.

terminated groups in the structure, steric effects, type of the solvent used, etc. The polyene structure of carotenoids causes intense absorption of electromagnetic radiation in the range of 400 to 500 nm. In the State Pharmacopoeia of the XIV edition (SPH XIV), a spectrophotometric method is given for determining the sum of carotenoids [6], in which it is proposed to use hexane as an extractant. At the same time, the oxidation product of n-hexane, entering the human body, is oxidized with the release of 2,5-hexanedione, which can interact with lysine and form cross-links in the proteins of nerve fibres and, thereby, lead to a dysfunction of the latter, causing damage to the nervous system [7]. In addition, hexane is a volatile compound (boiling point 68°C) capable of forming explosive mixtures in the working area [8].

AIM OF THE RESEARCH

To modify the method of spectrophotometric determination of the carotenoid content in MPRM and the A-vitamin activity of various types of carotenoids-rich MPRM.

MATERIALS AND METHODS

Traditional sources of carotenoids were selected as objects of research: the pulp of the large-fruited pumpkin of Lechebnaya variety and carrot of the Nantskaya variety grown on a test plot in the vicinity of Mochishche, village in Novosibirsk Region; fruits of the sea buckthorn of Friesdorfer Orange variety, grown on a test plot in the vicinity of the Yunost station of the West Siberian Railway, as well as the fruits of wild rose — *Rosa acicularis* Lindl., collected in the vicinity of Barlak village, Moshkovsky district, Novosibirsk Region at the fruiting stage in 2019. After primary cleaning from impurities, the crude material was brought to an air-dry state at room temperature in a dark place. After drying, the raw material was crushed to particles passing through a sieve with a mesh size of 2 mm.

To obtain the extraction, a sample weight of raw material was placed in a glass-stoppered flask, protected from direct exposure to light, and filled with an extractant at the ratio of 1:30. The hermetically sealed flask was kept at room temperature for 24 h with constant shaking on a shaker. The resulting extract was filtered, and the UV absorption spectrum of the filtrate was determined using an SF-56 spectrophotometer in the range of 350–550 nm (the characteristic range of peaks of the spectra of carotenoids). The extractants used were hexane, toluene, petroleum ether, isopropanol, and 95% ethanol.

Для получения извлечения навеску сырья помещали в колбу с притертой пробкой, защищенную от прямого действия света, и заливали экстрагентом в соотношении 1:30. Герметично закрытую колбу выдерживали при комнатной температуре в течение 24 ч при постоянном встряхивании на шейкере. Полученное извлечение фильтровали, и с помощью спектрофотометра СФ-56 определяли УФ-спектр поглощения фильтрата в диапазоне 350–550 нм (характерный диапазон экстремумов спектров каротиноидов). В качестве экстрагентов использовали: гексан, толуол, петролейный эфир, изопропанол и 95% этанол.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследования был проведен выбор оптимального и наиболее безопасного экстрагента. В качестве сырья использовали мякоть тыквы. Полученные спектры приведены на рис. 1.

Спектральные характеристики для различных использованных экстрагентов приведены в табл. 1.

RESULTS AND DISCUSSION

At the first stage of the experiment, the choice of the optimal and safest extractant was made. Pumpkin pulp was used as a raw material. The obtained spectra are shown in Fig. 1.

The spectral characteristics for the various extractants used are given in Table 1.

Differences in the positions of peaks can be associated with the sum of carotenoids in the raw material and their different solubility in the extractant. The quantitative ratio of carotenoids can vary and, therefore, change the resulting spectrum.

The most common in plants are α - and β -carotenes, as well as lycopene, the spectral characteristics of which are given in Table 2.

Since the closest spectral characteristics of the extracts were obtained using hexane and isopropanol, further isopropyl alcohol was used as an extractant. The spectra of extracts with isopropyl alcohol from the plant material are shown in Fig. 2–5.

Taking into account the additivity of the Bouguer-Lambert-Beer law, the total optical density measured at any wavelength can be represented as the sum of

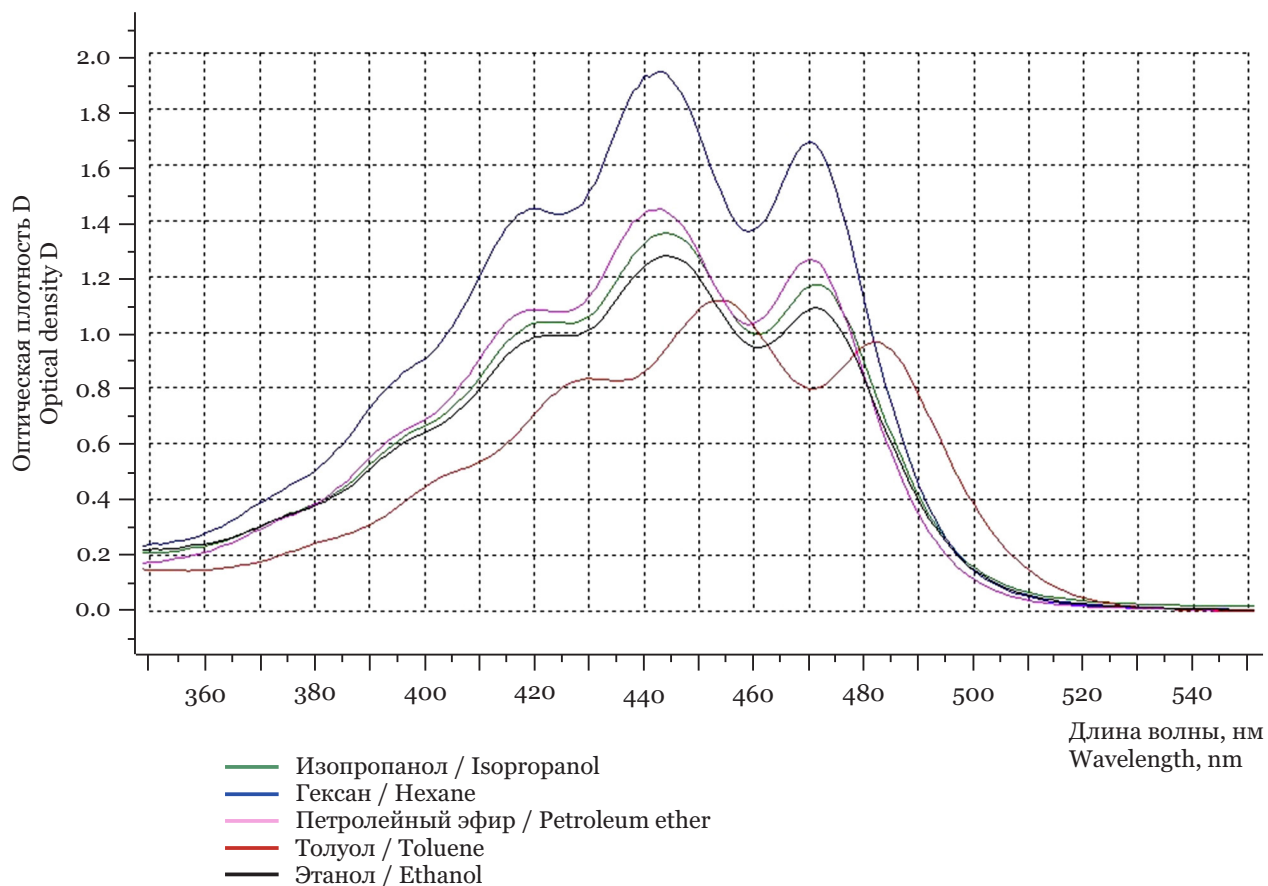


Рис. 1. Спектры поглощения извлечений из тыквы, полученных с использованием различных экстрагентов
Fig. 1. Absorption spectra of pumpkin extracts obtained using various extractants

Таблица 1. Спектральные характеристики извлечений из тыквы, полученных с использованием различных экстрагентов**Table 1.** Spectral characteristics of absorption of pumpkin extracts obtained using various extractants

№ п/п No.	Экстрагент / Extractant	Максимумы, нм / Peaks, nm		
		λ_1	λ_2	λ_3
1	Изопропанол / Isopropanol	423	444	471
2	Гексан / Hexane	421	443	470
3	Толуол / Toluene	430	454	482
4	Петролейный эфир / Petroleum ether	420	443	470
5	Этанол / Ethanol	424	444	471

Различия в положениях экстремумов может быть связано с присутствием в сырье суммы каротиноидов и их различной растворимостью в экстрагенте. Количественное соотношение каротиноидов может варьировать и, как следствие, менять результирующий спектр.

Наиболее часто встречаются в растениях α - и β -каротины, а также ликопин, спектральные характеристики которых приведены в табл. 2.

Поскольку наиболее близкие спектральные характеристики извлечений были получены при использовании гексана и изопропанола, в дальнейшем в качестве экстрагента использовался спирт изопропиловый. Спектры извлечений изопропиловым спиртом из исследуемого растительного сырья приведены на рис. 2–5.

С учетом аддитивности закона Бугера — Ламберта — Бера, измеренную на любой длине волны суммарную оптическую плотность можно представить в виде суммы оптических плотностей присутствующих в извлечении индивидуальных компонентов α -каротина, β -каротина и ликопина. Таким образом, может быть составлена система из трех уравнений (1) для оптической плотности, измеренной при длине волны 445, 451 и 474 нм (характерные максимумы для α -каротина, β -каротина и ликопина соответственно):

the optical densities of the individual components of α -carotene, β -carotene and lycopene present in absorption. Thus, a system of three equations (1) can be proposed for the optical density measured at wavelengths of 445, 451 and 474 nm (characteristic peaks for α -carotene, β -carotene, and lycopene respectively):

$$\begin{aligned} D_{445} &= E_1^{(445)} \cdot C_1 + E_2^{(445)} \cdot C_2 + E_3^{(445)} \cdot C_3; \\ D_{451} &= E_1^{(451)} \cdot C_1 + E_2^{(451)} \cdot C_2 + E_3^{(451)} \cdot C_3; \\ D_{474} &= E_1^{(474)} \cdot C_1 + E_2^{(474)} \cdot C_2 + E_3^{(474)} \cdot C_3, \end{aligned} \quad (1)$$

where E_1 , E_2 and E_3 are the percent extinction ($\%^{-1}$) of α -carotene, β -carotene and lycopene at wavelengths of 445, 451 and 474 nm respectively;

C_1 , C_2 and C_3 are concentration of α -carotene, β -carotene and lycopene in the test solution (%).

The dependence of the extinction of α -carotene, β -carotene and lycopene on the UV absorption spectrum has been studied quite well and is given in the research literature [9, 10]. Taking into account the values of the percentage extinction, the system of equations (1) can be represented in the form

$$\begin{aligned} D_{445} &= 2710 \cdot C_1 + 2218 \cdot C_2 + 2096 \cdot C_3; \\ D_{451} &= 2384 \cdot C_1 + 2550 \cdot C_2 + 1996 \cdot C_3; \\ D_{474} &= 2202 \cdot C_1 + 2789 \cdot C_2 + 3740 \cdot C_3. \end{aligned} \quad (2)$$

The resulting system of linear equations (2) concerning three variables is trivially solved by Cramer's Rule.

Таблица 2. Спектральные характеристики наиболее часто встречающихся в растениях каротиноидов**Table 2.** Spectral characteristics of the most common carotenoids in plants

№ п/п No.	Каротиноид* / Carotenoid*	Максимумы, нм / Peaks, nm		
		λ_1	λ_2	λ_3
1	α -каротин / α -carotene	420	445	475
2	β -каротин / β -carotene	425	451	482
3	Ликопин / Lycopene	446	474	506

* Экстрагент — гексан.
Extractant is hexane.

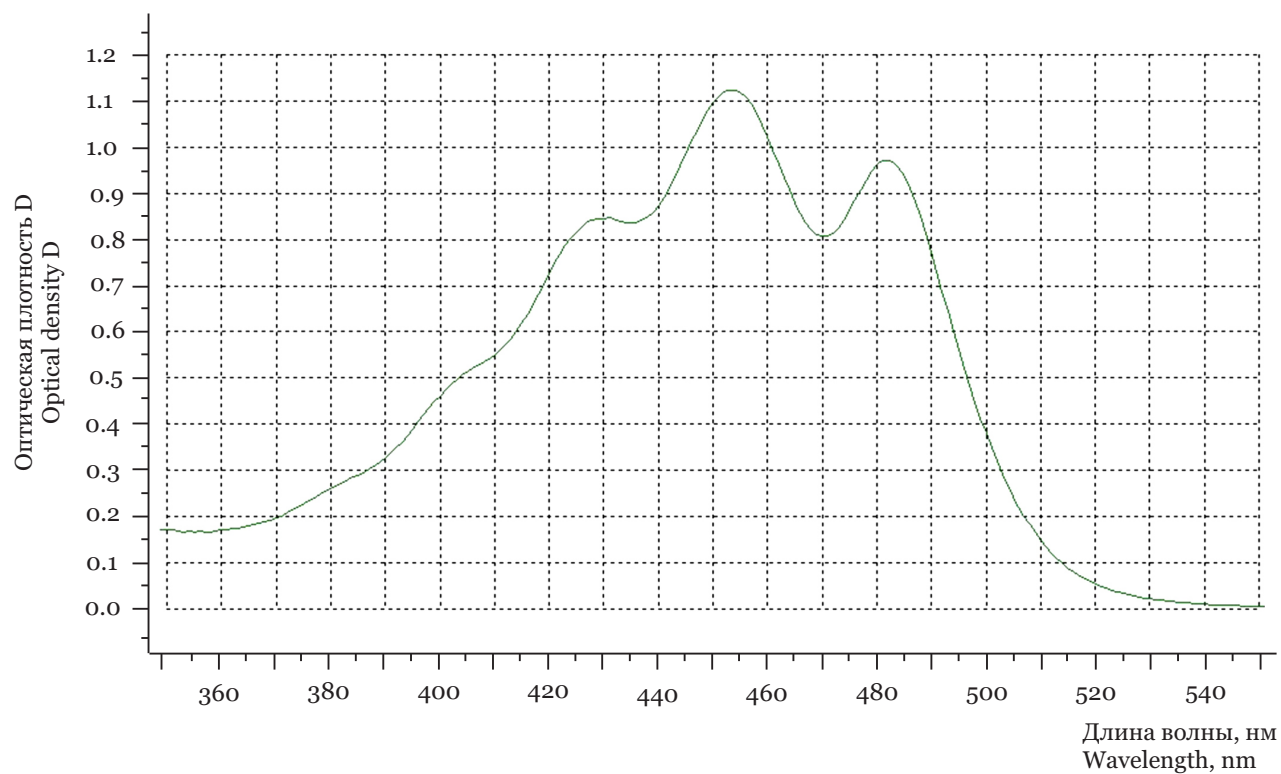


Рис 2. УФ-спектр изопропилового извлечения из мякоти тыквы
Fig. 2. UV absorption spectrum of isopropyl from pumpkin pulp

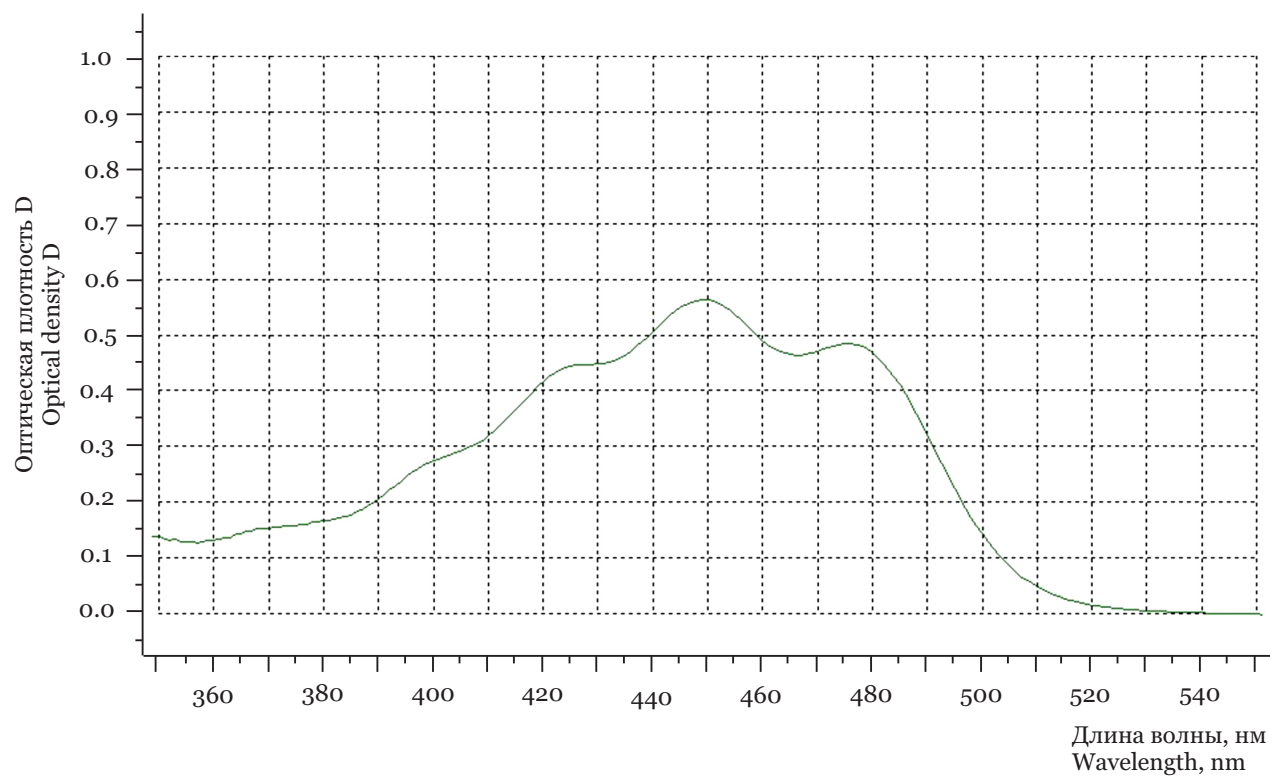


Рис 3. УФ-спектр изопропилового извлечения из моркови
Fig. 3. UV absorption spectrum of isopropyl from carrot

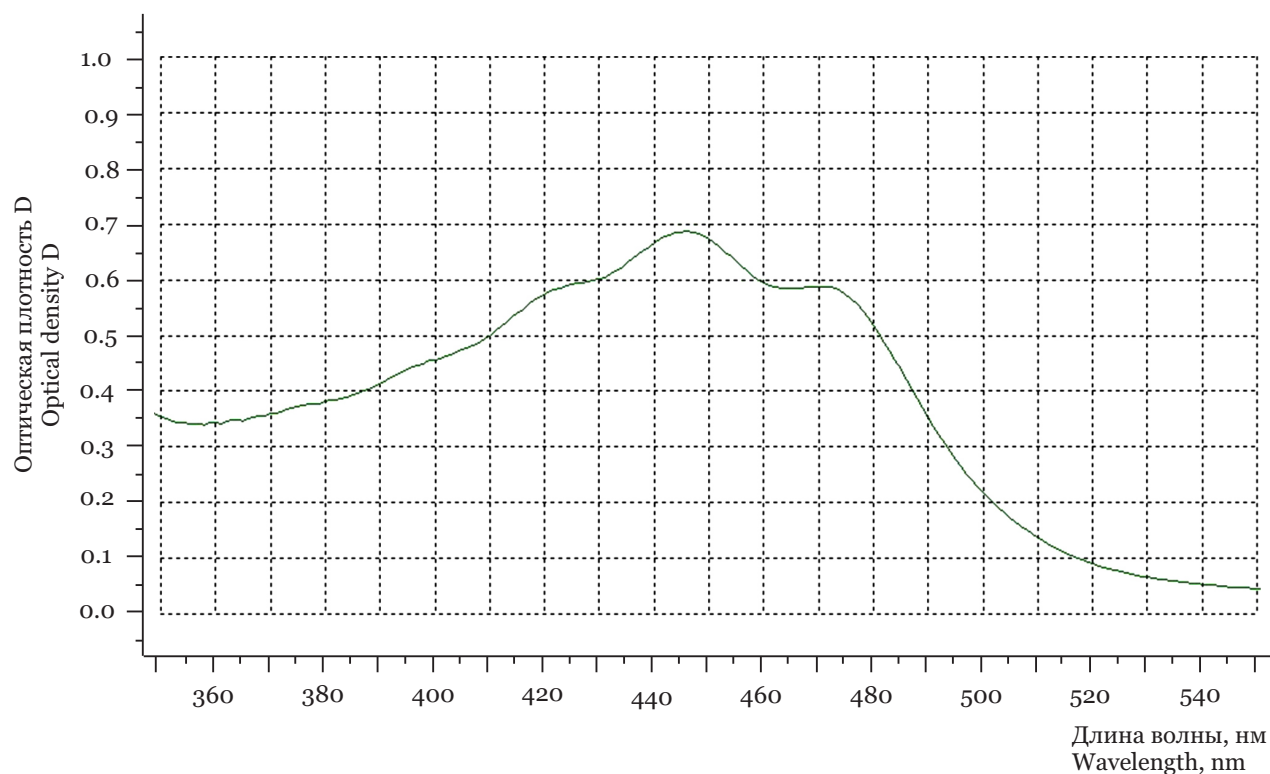


Рис 4. УФ-спектр изопропилового извлечения из плодов облепихи
Fig. 4. UV absorption spectrum of isopropyl from sea buckthorn fruits

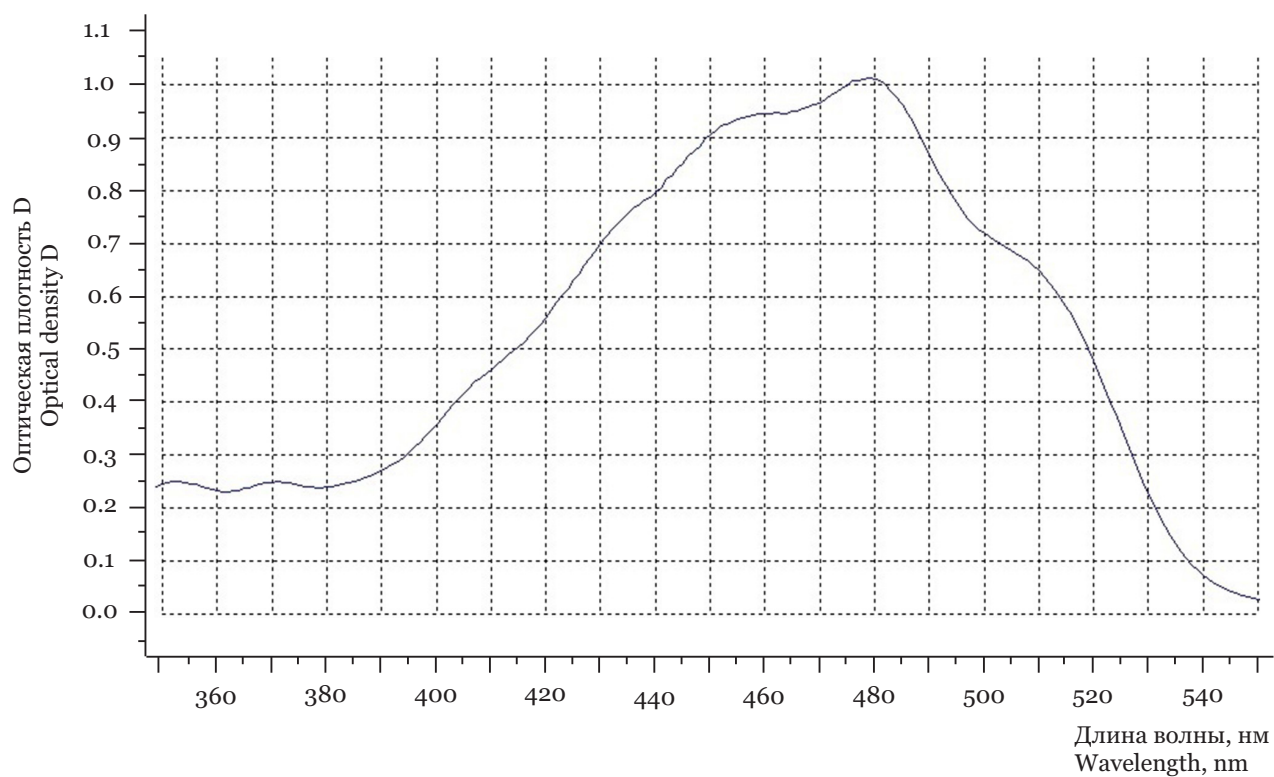


Рис. 5. УФ-спектр изопропилового извлечения из плодов шиповника
Fig. 5. UV absorption spectrum of isopropyl from wild rose hips

$$\begin{aligned} D_{445} &= E_1^{(445)} \cdot C_1 + E_2^{(445)} \cdot C_2 + E_3^{(445)} \cdot C_3; \\ D_{451} &= E_1^{(451)} \cdot C_1 + E_2^{(451)} \cdot C_2 + E_3^{(451)} \cdot C_3; \\ D_{474} &= E_1^{(474)} \cdot C_1 + E_2^{(474)} \cdot C_2 + E_3^{(474)} \cdot C_3, \end{aligned} \quad (1)$$

где E_1 , E_2 и E_3 — процентная экстинкция (%⁻¹) α-каротина, β-каротина и ликопина при длинах волн 445, 451 и 474 нм соответственно;

C_1 , C_2 и C_3 — концентрация α-каротина, β-каротина и ликопина в исследуемом растворе (%).

Зависимость экстинкции α-каротина, β-каротина и ликопина от длины волны поглощаемого излучения изучена достаточно хорошо и приведена в литературных источниках [9, 10]. С учетом величин процентной экстинкции систему уравнений (1) можно представить в виде

$$\begin{aligned} D_{445} &= 2710 \cdot C_1 + 2218 \cdot C_2 + 2096 \cdot C_3; \\ D_{451} &= 2384 \cdot C_1 + 2550 \cdot C_2 + 1996 \cdot C_3; \\ D_{474} &= 2202 \cdot C_1 + 2789 \cdot C_2 + 3740 \cdot C_3. \end{aligned} \quad (2)$$

Полученная система линейных уравнений (2) относительно трех неизвестных разрешается тривиальным образом по методу Крамера.

Для сравнения проводилось определение содержания суммы каротиноидов в пересчете на β-каротин по методике, предложенной в Государственной фармакопее XIV издания [6] по величине оптической плотности исследуемых растворов при длине волны 450 нм и величине процентной экстинкции β-каротина $E_{1\text{ см}}^{1\%} = 2592$.

Полученные в результате расчетов данные по содержанию каротиноидов приведены в табл. 3.

Как следует из приведенных результатов (см. табл. 3), суммарное содержание каротиноидов, определенное двумя методами, практически совпадает для всех видов сырья, кроме плодов шиповника. Сравнивая спектры извлечений из сырья шиповника и других исследованных видов сырья, мы видим, что спектр шиповника имеет bathochromic сдвиг, который может быть объяснен преобладанием в составе каротиноидов

For comparison, the content of the sum of carotenoids calculated to β-carotene was determined according to the method proposed in the State Pharmacopoeia of the XIV edition [6] by the optical density of the test solutions at the wavelength of 450 nm and value of the percentage extinction of β-carotene $E_{1\text{ cm}}^{1\%} = 2592$.

The calculated data on the content of carotenoids are given in Table 3.

As follows from the above results (see Table 3), the total content of carotenoids, determined by two methods, practically coincides for all types of raw material, except for wild rose hips. Comparing the absorption spectra of wild rose and other studied raw material, we see that the spectrum of wild rose has a bathochromic shift, which can be explained by the predominance of lycopene in the composition of wild rose carotenoids that has peaks at longer wavelength. At the same time, as mentioned above, all considered carotenoids have different A-vitamin activity. Considering that α-carotene is broken down only into one retinol molecule, i.e., is equivalent to 53% of β-carotene, and lycopene has no A-vitamin activity, the results are given in Table 3, can be recalculated to the equivalent of retinol in IU% (the number of international units of action of retinol in 100 g of raw material). The recalculation results are shown in Table 4.

The closest results obtained using both methods are for carrot and pumpkin because the absorption spectra of them are as close as possible to the spectrum of β-carotene, and their A-vitamin activity is lower than that determined by the pharmacopoeial method by 17–19%; for sea buckthorn, in which α-carotene dominates, the equivalent of retinol is 32% lower; for wild rose, in which lycopene prevails, the A-vitamin activity is almost three times lower. Such a difference in A-vitamin activity must

Таблица 3. Содержание каротиноидов в различных видах сырья, мг%
Table 3. The content of carotenoids in various types of raw material, mg%

№ п/п No.	Сырье Raw material	α-каротин α-carotene	β-каротин β-carotene	Ликопин Lycopene	Сумма каротиноидов Sum of carotenoids	Сумма кароти- ноидов по ГФ XIV Sum of carotenoids according to SPh XIV
1	Морковь / Carrot	0.59	1.45	0.16	2.20	2.16
2	Облепиха Sea buckthorn	1.55	0.99	0.11	2.65	2.57
3	Тыква / Pumpkin	0.14	3.50	0.65	4.29	4.28
4	Шиповник Wild rose	0.41	0.95	2.62	3.98	3.32

Таблица 4. Содержание эквивалента ретинола в различных видах ЛРС, МЕ%

№ п/п No.	Сырье Raw material	Определение по предложенному методу Determination by the proposed method	Определение по методу ГФ XIV Determination by the SPh XIV method
1	Морковь / Carrot	2938	3601
2	Облепиха Sea buckthorn	2937	4284
3	Тыква / Pumpkin	5958	7135
4	Шиповник Wild rose	1946	5534

шиповника ликопина, имеющего более длинно-волновые экстремумы. Вместе с тем, как было указано выше, все рассматриваемые каротиноиды имеют различную А-витаминную активность. Учитывая, что α -каротин распадается только на одну молекулу ретинола, т.е. эквивалентен 53 % от β -каротина, а ликопин не обладает А-витаминной активностью, результаты, приведенные в табл. 3, могут быть пересчитаны на эквивалент ретинола в МЕ% (количество международных единиц действия ретинола в 100 г сырья). Результаты перерасчета приведены в табл. 4.

Наиболее близки результаты, полученные при использовании обоих методов, для моркови и тыквы — спектры извлечений из них максимально близки к спектру β -каротина, а их А-витаминная активность меньше, чем определяемая фармакопейным методом на 17–19 %; для облепихи, в которой преобладает α -каротин, эквивалент ретинола ниже на 32 %; для шиповника, в котором преобладает ликопин, А-витаминная активность ниже почти в три раза. Такое различие в А-витаминной активности необходимо учитывать при дозировании лекарственного растительного сырья, содержащего каротиноиды в регламенте фитооздоровления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1) в ходе сравнительного анализа предложенной и фармакопейной методики установлено, что предпочтительно использовать изопропиловый спирт как наиболее эффективный растворитель;

2) предложена методика определения содержания индивидуальных каротиноидов в ЛРС по величине оптической плотности при длинах волн, соответствующих характерным максимумам α -каротина, β -каротина и ликопина;

be taken into account when dosing medicinal plant material containing carotenoids in the herbalism regulations.

CONCLUSION

The conducted research allows us to draw the following conclusions:

1) the comparative analysis of the proposed and pharmacopoeial methods determines that it is preferable to use isopropyl alcohol as the most effective solvent;

2) the method is proposed for determining the content of individual carotenoids in MPRM by optical density at wavelengths corresponding to the characteristic maximums of α -carotene, β -carotene and lycopene;

3) taking into account the content of specific carotenoids makes it possible to determine the A-vitamin activity of the sum of carotenoids extracted from plant material used in the production of herbal preparations and biologically active additives, and, accordingly, to increase the effectiveness of the latter for health improvement.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

3) учет содержания конкретных каротиноидов позволяет определять А-витаминную активность суммы каротиноидов, извлекаемых из растительного сырья, используемого при производстве фитопрепаратов и биологически активных добавок, и соответственно повысить эффективность применения последних для оздоровления.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дейнека В.И., Шапошников А.А., Дейнека Л.А. и др. Каротиноиды: строение, биологические функции и перспективы применения // Научные ведомости Белгородск. гос. ун-та. Серия: Медицина. Фармация. 2008. № 6-2 (46). С. 19–25.
2. Круглов Д.С., Величко В.В., Прокушева Д.Л., Лигостаева Ю.В., Круглова М.Ю. Терпеноиды. Лекарствоведение терпеноидсодержащего сырья: учеб. пособие для фармацевт. вузов. Новосибирск: ИПЦ НГМУ, 2020. 197 с.
3. Bohn T., Desmarchelier C., El S.N. et al. β -Carotene in the human body: metabolic bioactivation pathways — from digestion to tissue distribution and excretion // *Proc. Nutr. Soc.* 2019. Vol. 78 (1). P. 68–87.
4. Handbook of Vitamins. 6th ed. / ed. by J. Zemleni et al. London: CRC Press, 2018. 605 p.
5. Курегян А.Г. Спектрофотометрия в анализе каротиноидов // Фундаментальные исследования. 2016. № 2 (23). С. 5166–5172.
6. Государственная фармакопея Российской Федерации. URL: <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php> (дата обращения: 09.11.2021).
7. Тарасов А.В., Смирнова Т.В. Основы токсикологии. М.: Маршрут, 2008. 160 с.
8. Система стандартов безопасности труда. Пожаро-взрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. ГОСТ 12.1.044-2008. М.: Стандартинформ, 2018. 196 с.
9. Erasun C., Johnson E. Fungal carotenoids // *Applied Mycology and Biotechnology*. 2002. Vol. 2. P. 45–85.
10. Справочник биохимика: пер. с англ. / Р. Досон, Д. Эллиот, У. Эллиот, К. Джонс. М.: Мир, 1991. 544 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Величко Виктория Владимировна — канд. фармацевт. наук, заведующий кафедрой фармакогнозии и ботаники ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России.

Круглов Дмитрий Семенович — канд. техн. наук, доцент кафедры фармакогнозии и ботаники ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России.

REFERENCES

1. Deyneka V.I., Shaposhnikov A.A., Deyneka L.A. et al. (2008). Carotenoids: the structure, biological functions and perspective of application. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Medicine. Pharmacy*, 6-2 (46), 19–25. (In Russ.)
2. Kruglov D.S., Velichko V.V., Prokusheva D.L., Ligostaeva Yu.V., Kruglova M.Yu. (2020). *Terpenoids. Pharmacology of Terpenoid-containing Raw Material: Textbook Manual for the Pharmaceutical Universities*. Novosibirsk, 197 p. (In Russ.)
3. Bohn T., Desmarchelier C., El S.N. (2019). β -Carotene in the human body: metabolic bioactivation pathways — from digestion to tissue distribution and excretion. *Proc. Nutr. Soc.*, 78 (1), 68–87.
4. Zemleni J. et al. (eds.). (2018). *Handbook of Vitamins*. 6th ed. London: CRC Press, 605 p.
5. Kuregyan A.G. (2016). The spectrophotometry in analysis of carotenoids. *Fundamental Research*, 2 (23), 5166–5172.
6. *State Pharmacopoeia of the Russian Federation*. Retrieved on November 9, 2021 from <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php>. (In Russ.)
7. Tarasov A.V., Smirnova T.V. (2018). *Fundamentals of Toxicology*. Moscow, 160 p. (In Russ.)
8. System of labour safety standards. Fire and explosion hazards of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods for their determination. GOST 12.1.044-2008. (2018). Moscow, 196 p. (In Russ.)
9. Erasun C., Johnson E. (2002). Fungal carotenoids. *Applied Mycology and Biotechnology*, 2, 45–85.
10. Dawson R., Elliot D., Elliot W., Jones K. (1991). *Handbook of Biochemist* (Trans. from Engl.). Moscow: Mir, 544 p.

ABOUT THE AUTHORS

Victoria V. Velichko — Cand. Sci. (Pharmaceut.), Head, Department of Pharmacognosy and Botany, Novosibirsk State Medical University.

Dmitry S. Kruglov — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Department of Pharmacognosy and Botany, Novosibirsk State Medical University.