

СТАТЬИ

УДК 581.192.2:547.979.8:535.243.2

**ФОТОАБСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ЭКСТРАКТОВ  
ИЗ КАРОТИНСОДЕРЖАЩИХ ЦВЕТКОВ РАСТЕНИЙ**

**Колдаев В.М.**

*Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии  
Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, e-mail: info@biosoil.ru*

Целью исследования являлось определение спектрофотометрических числовых показателей фотоабсорбционных свойств каротинсодержащих экстрактов из растений. Исследование выполнено на желто-оранжевых цветках растений 48 видов из 17 семейств. Суммарное содержание каротиноидов в экстрактах определяли по бихромату калия. Интегральные интенсивности поглощения в ультрафиолетовом, видимом диапазонах и пиков триад каротиноидов вычисляли путем интегрирования в пределах точек перегиба спектральной линии с помощью формулы Симпсона. Установлено, что нетрадиционные показатели общего поглощения триады каротиноида и отдельных ее пиков имеют средние коэффициенты вариации от 4,7 до 14,3%, а вариации показателя тонкой структуры и содержания каротиноидов в 2,05–7,68 раза больше. Величина поглощения триады каротиноида имеет сильную взаимосвязь с содержанием каротиноидов при коэффициенте корреляции  $0,98 \pm 0,019$ , зависимость между ними имеет линейный вид. Наибольшую валидность как показатель фотоабсорбции каротиноидов имеет интегральная интенсивность поглощения триады. Нетрадиционный показатель поглощения триады связан с процессами фотоабсорбции, весьма чувствительный к воздействиям факторов внешней среды, его можно использовать как сравнительно несложный спектрофотометрический тест для экологических оценок состояния растительных ресурсов.

**Ключевые слова:** каротиноид, триада, абсорбционный спектр, интегральная интенсивность поглощения

*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по теме № 121031000120-9.*

**PHOTOABSORPTION PROPERTIES OF EXTRACTS  
FROM CAROTENE-CONTAINING FLOWERS OF PLANTS**

**Koldaev V.M.**

*Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: info@biosoil.ru*

The purpose of the study was to determine the spectrophotometric numerical indicators of the photoabsorption properties of carotene-containing plant extracts. The study was carried out on yellow-orange flowers of plants of 48 species from 17 families. The total content of carotenoids in the extracts was determined by potassium bichromate. The integral intensities of absorption in the ultraviolet, visible ranges and peaks of triads of carotenoids were calculated by integrating within the inflection points of the spectral line using the Simpson formula. It has been established that non-traditional indicators of the total absorption of the carotenoid triad and its individual peaks have average coefficients of variation from 4.7 to 14.3%, and the variation of the fine structure index and carotenoid content is 2.05 – 7.68 times greater. The absorption value of the carotenoid triad has a strong relationship with the content of carotenoids with a correlation coefficient of  $0.98 \pm 0.019$ , the relationship between them has a linear form. The greatest validity as an indicator of carotenoid photoabsorption is the integral absorption intensity of the triad. The unconventional absorption index of the triad is associated with photoabsorption processes, which are very sensitive to environmental factors, and can be used as a relatively simple spectrophotometric test for ecological assessments of the state of plant resources.

**Keywords:** carotenoid, triad, absorption spectrum, integrated absorption intensity

*The work was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation on topic No. 121031000120-9.*

Каротиноиды – жирорастворимые желто-оранжевые пигменты, синтезируемые высшими растениями, некоторыми прокаротиатами и грибами, широко распространены в природе [1]. Молекулярный каркас каротиноида включает цепочку из восьми изопреновых блоков с чередующимися С=С связями и двумя крайними группировками [2]. Наличие сопряженных двойных связей придает каротиноидам антиоксидантную и светопоглощающую активность [3], благодаря чему эти пигменты в растениях могут

выполнять защитные функции при избыточных интенсивностях света [4]. Абсорбционный спектр (АС) каротиноида, как правило, включает три пика в синем диапазоне [5], так называемую «синюю триаду», что обусловлено электронно-колебательными переходами  $\pi$ -электронов двойных связей изопреновых блоков [6] – основных поглощающих структур пигмента. Однако количественные спектрофотометрические показатели фотоабсорбции каротиноидов изучены недостаточно, хотя могли бы слу-

жить дополнительной характеристикой их свойств в анализе экстрактов из растительного сырья.

Целью исследования являлось определение спектрофотометрических числовых показателей фотоабсорбционных свойств каротиноидсодержащих экстрактов из растений.

#### Материалы и методы исследования

В работе использованы желто-оранжевые цветки растений 48 видов из 17 семейств. Материал собирали в середине фазы цветения в 15–16 ч дня в сухую солнечную погоду и немедленно готовили экстракты в 95%-ном этаноле методом простой мацерации [7]. Абсорбционные спектры (АС) экстрактов регистрировали на спектрофотометре UV-2501PC (Shimadzu, Япония) в диапазоне 220–510 нм. Фотоабсорбционные свойства оценивали по интегральной интенсивности поглощения (ИИП), численно равной площади под спектральной кривой и ограниченной снизу горизонтальной осью абсцисс, а слева и справа перпендикулярами из граничных точек, которыми служили точки перегиба контура полосы поглощения. ИИП в ультрафиолетовой области  $UVA$  и триады  $TrA$  вычисляли как площади фигур  $a12b$  (рис. 1, косая штриховка) и  $b234567g$  путем интегрирования по формуле Симпсона в пределах абсцисс точек перегиба  $[a, b]$  и  $[b, g]$  соответственно по описанной ранее авторской методике [8, с. 61–63]. Аналогично находили ИИП  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$  пиков триады

как площади фигур  $b23c$ ,  $d45e$  и  $f67g$  в пределах  $[b, c]$ ,  $[d, e]$  и  $[f, g]$  (рис. 1, горизонтальная штриховка).

Общую ИИП  $S$  во всей исследуемой полосе в пределах  $[a, g]$  находили как сумму:

$$S = UVA + TrA.$$

Затем вычисляли доли (в %) ИИП триады  $FTrA$  от общей  $S$ , и 1, 2 и 3-го пиков  $FTrA_1$ ,  $FTrA_2$ ,  $FTrA_3$  от «триадной»  $TA$  по формулам

$$FTrA = 100 \times (TrA / S),$$

$$FTrA_1 = 100 \times (A_1 / TrA),$$

$$FTrA_2 = 100 \times (A_2 / TrA),$$

$$FTrA_3 = 100 \times (A_3 / TrA),$$

Для сравнения использовали традиционный [9, с. 17–18] фактор тонкой структуры ( $FSI$ , в %) триады:

$$FSI = 100 \times \frac{M_3 - Min}{M_2 - Min},$$

где  $M_2$  и  $M_3$  – абсорбции 2-го и 3-го пиков триады,  $Min$  – минимальная абсорбция между ними (рис. 1).

Суммарное содержание каротиноидов ( $CK$ ) в экстрактах определяли стандартно по бихромату калия [10]. От каждого вида растения на исследование брали по 5 рандомизированных проб, результаты обрабатывали статистически методами малой выборки, корреляционного и кластерного анализов [11, с. 49–53, 151–157].

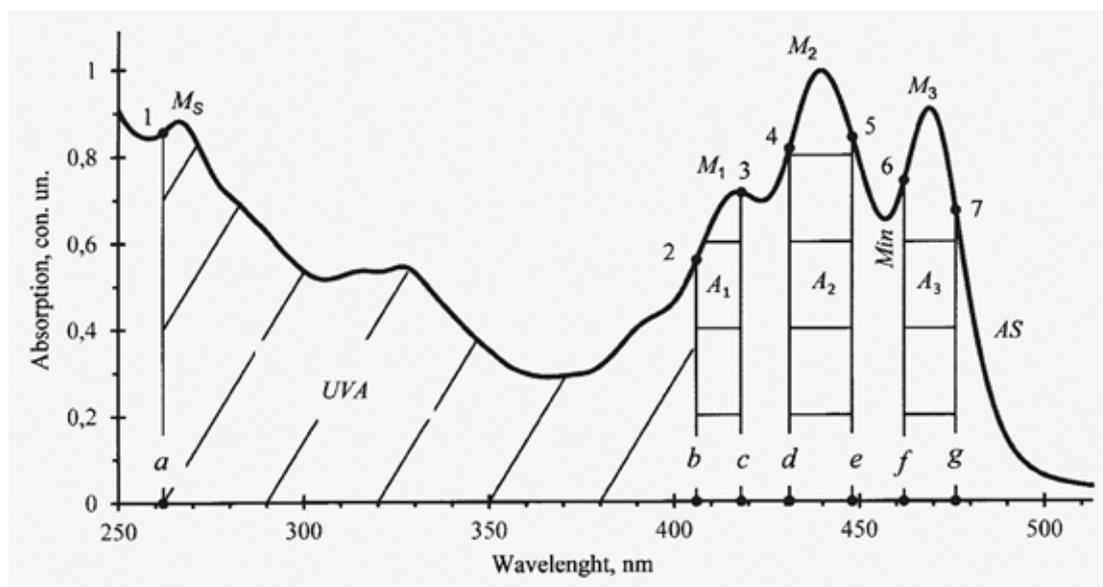


Рис. 1. Абсорбционный спектр (АС) экстракта лепестков цветков гулявника лекарственного.  $M_s$  – стартовый максимум,  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  – пики триады,  $Min$  – минимальная абсорбция между вторым и третьим пиками, 1–7 – точки перегиба,  $a, b, c, d, e, f, g$  – пределы интегрирования,  $UVA$ ,  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  – площади ультрафиолетовой части исследуемой полосы и пиков триады

**Результаты исследования  
и их обсуждение**

Полученные данные показывают, что различия минимальных и максимальных лимитов составляют для значений *FTrA*, *FSI* и *СК* 5,9–6,1, а для *FA<sub>1</sub>*, *FA<sub>2</sub>* и *FA<sub>3</sub>* 1,4–2,2 раза. Такой широкий статистический размах результатов с вариабельностью порядка 38–40% предполагает для удобства

анализа целесообразность группировки данных по условию минимальной вариации значений элементов в группах. При реализации этого условия получена наиболее оптимальная пятигруппная кластеризация, при которой снижение вариации в группах достигало для рядов *FTrA* в 1,7–7,9, *СК* в 1,4–3,1 и *FA<sub>2</sub>* в 1,2–1,4 раза по сравнению с изначальным массивом данных (табл. 1).

**Таблица 1**

Числовые показатели (в %) интегральных интенсивностей поглощения (ИИП), коэффициент тонкой структуры (*FSI*, в %), содержание каротиноидов (*СК* в мг/100 г) в экстрактах лепестков цветков разных растений и групповые (Гр) и общий коэффициенты вариации (в %)

№ Гр	Растение	ИИП				<i>FSI</i>	<i>СК</i>
		<i>FTrA</i> <sup>a</sup>	<i>FA<sub>1</sub></i> <sup>b</sup>	<i>FA<sub>2</sub></i> <sup>c</sup>	<i>FA<sub>3</sub></i> <sup>d</sup>		
1	Девясил высокий, <i>Inula helenium</i> L.	13,05±1,67	20,06±2,65	30,88±3,64	22,01±3,23	21,55±3,01	5,7±0,64
	Ирис, <i>Iris</i> L., «Mister Roberts»	15,16±2,39	22,51±2,79	25,38±2,76	16,99±2,45	35,85±4,64	4,8±0,53
	Ирис, <i>Iris</i> L., «Солнечный лучик»	9,41±0,87	21,66±3,42	25,69±3,76	18,58±2,12	58,82±6,33	2,6±0,11
	Лилия ланцетолистная, <i>Lilium lancifolium</i> Thunb.	16,31±2,23	19,18±2,25	24,19±3,02	21,41±3,03	39,38±4,54	5,1±0,61
	Настурция, <i>Tropaeolum</i> L.	10,71±1,87	15,91±2,01	28,42±3,24	21,97±3,05	18,64±2,32	6,4±0,71
	Нивяник, <i>Leucanthemum</i> Mill.	10,34±1,02	16,14±2,42	28,74±3,07	22,61±3,01	34,99±4,12	4,4±0,56
	Тюльпан дарвиновский гибрид, <i>Tulipa Darwin hybrids</i> cv., «Парад»	14,95±1,65	11,81±1,86	30,36±3,05	22,89±3,21	40,83±4,87	4,1±0,52
	Хохлатка, <i>Corydalis aurea</i> Willd.	18,41±2,21	17,25±2,24	30,69±3,01	18,96±2,42	47,55±5,32	5,4±0,62
Коэффициент вариации 1-й группы	23,5±2,4	19,4±1,9	4,4±0,4	10,6±1,0	35,1±3,6	23,9±2,4	
2	Арбуз обыкновенный, <i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Matsum. Nakai, «Огонек», М	20,63±4,21	19,71±2,56	28,74±3,12	19,42±2,23	31,06±4,07	6,4±0,83
	Брокколи, <i>Brassica oleracea</i> var <i>italica</i> Plenck, «Фиеста»	19,88±2,43	17,09±2,12	30,36±4,56	19,74±3,78	54,62±6,43	4,8±0,57
	Горчица белая, <i>Sinapis alba</i> L., «Радуга»	22,48±2,78	17,86±2,46	27,03±3,67	19,66±2,21	61,99±7,32	7,6±0,85
	Девясил японский, <i>Inula japonica</i> Thunb.	24,76±3,87	19,25±2,34	30,55±3,67	18,93±2,32	45,45±5,12	10,2±0,97
	Каланхоэ перистое, <i>Kalanchoe pinnata</i> (Lam.) Pers.	23,94±3,23	22,87±3,01	32,05±4,23	22,12±3,08	31,24±4,03	7,4±0,81
	Лилейник желтый, <i>Hemerocallis lilioasphodelus</i> L.	20,69±2,89	24,74±3,05	27,11±3,06	24,43±3,02	14,11±2,08	6,8±0,71
	Недотрога обыкновенная, <i>Impatiens noli-tangere</i> L.	28,24±3,22	16,89±2,23	30,07±3,78	19,67±2,31	55,25±6,54	9,6±0,87
	Огурец посевной, <i>Cucumis sativus</i> L., «ДВ-6», Ж	23,28±3,31	17,43±2,11	30,27±3,98	18,95±2,31	45,88±5,43	5,6±0,68
	Огурец посевной, <i>Cucumis sativus</i> L., «ДВ-6», М	26,64±3,63	18,36±2,21	31,12±3,87	18,52±2,65	35,87±4,41	9,4±0,97
	Огурец посевной, <i>Cucumis sativus</i> L., «Ерофей Хабаров», Ж	23,28±3,03	17,43±2,46	30,27±3,21	18,95±2,32	45,55±5,61	7,2±0,82
	Репешок обыкновенный, <i>Agrimonia eupatoria</i> L.	25,67±3,06	17,49±1,86	29,81±3,02	20,64±2,47	73,04±7,65	11,8±0,97
	Сурепка обыкновенная, <i>Barbarea vulgaris</i> W.T. Aiton	28,99±3,23	16,39±1,45	30,49±3,02	20,07±2,03	60,96±6,12	9,8±0,97
	Форзиция яйцевидная, <i>Forsythia ovata</i> Nakai	21,66±2,66	17,07±2,01	28,72±3,22	21,14±2,45	36,91±4,08	6,2±0,73
Коэффициент вариации 2-й группы	12,1±1,2	13,3±1,3	4,9±0,5	8,1±0,8	34,8±3,5	26,2±2,7	

Окончание табл. 1

№ Гр	Растение	ИПП				FSI	CK
		FTrA <sup>a</sup>	FA <sub>1</sub> <sup>b</sup>	FA <sub>2</sub> <sup>c</sup>	FA <sub>3</sub> <sup>d</sup>		
3	Горчица белая, <i>Sinapis alba</i> L., « <i>Рансодия</i> »	31,01±4,22	17,36±2,12	30,49±4,45	21,26±2,56	77,63±8,43	7,1±0,74
	Горчица сарептская, <i>Brassica juncea</i> (L.), Czern., «Люкс»	34,44±3,56	17,45±2,43	30,22±4,05	21,33±3,02	81,19±9,12	8,8±0,98
	Гравилат городской, <i>Geum urbanum</i> L.	31,87±3,78	25,51±2,56	29,65±3,76	22,16±3,21	47,21±5,12	8,2±0,89
	Калужница болотная, <i>Calliha palustris</i> L.	38,45±4,56	21,99±3,23	28,54±3,12	23,21±3,21	43,91±5,46	11,6±0,98
	Люттик ползучий, <i>Ranunculus repens</i> L.	35,25±4,42	19,12±2,23	29,38±3,05	21,25±3,02	46,97±5,04	10,2±0,95
	Люттик ядовитый, <i>Ranunculus sceleratus</i> L.	32,54±4,31	18,74±2,13	29,35±3,03	21,75±2,79	53,31±6,21	11,7±1,01
	Одуванчик лекарственный, <i>Taraxacum officinale</i> Wig.	34,5±4,32	16,37±2,08	34,07±4,05	21,11±3,11	40,32±5,12	10,6±0,97
	Осот огородный, <i>Sonchus oleraceus</i> L.	37,75±4,54	24,13±3,21	31,11±3,78	24,13±2,59	26,29±3,32	11,4±1,03
	Патриния скабиозолистная, <i>Patrinia scabiosifolia</i> Fisch. ex Link	31,16±4,56	18,24±2,37	27,02±3,28	19,61±2,21	57,42±6,32	8,8±0,97
	Рудбекия волосистая, <i>Rudbeckia hirta</i> L.	29,37±3,12	22,04±2,34	28,19±3,44	30,76±3,25	35,29±4,21	11,6±1,04
	Топинамбур, <i>Helianthus tuberosus</i> L., « <i>Минтерес</i> »	33,11±3,65	21,12±2,34	27,54±3,12	19,81±2,09	26,06±3,02	13,4±1,07
Коэффициент вариации 3-й группы	4,5±0,4	14,7±1,5	4,5±0,4	10,7±1,1	37,2±3,6	18,2±1,8	
4	Гулявник лекарственный, <i>Sisymbrium officinale</i> (L.) Scop.	43,38±5,02	17,32±2,76	30,41±3,87	21,08±2,67	77,29±8,32	11,4±0,98
	Керрия японская, <i>Kerria japonica</i> DC	46,81±5,72	14,88±2,09	29,22±3,54	23,41±2,98	39,81±4,23	12,6±1,02
	Лапчатка гусиная, <i>Potentilla anserina</i> L.	42,81±5,09	17,31±2,32	29,99±3,28	20,86±3,05	71,94±8,22	13,4±1,05
	Огурец посевной, <i>Cucumis sativus</i> L., « <i>Ерофей Хабаров</i> », М	46,71±5,42	20,09±3,05	30,73±3,87	18,48±2,12	37,78±4,65	10,2±0,95
	Ослинник душистый, <i>Oenothera odorata</i> Jacq.	44,81±5,34	18,99±2,21	33,02±3,89	25,84±3,43	63,25±7,26	15,1±1,05
	Помидор обыкновенный, <i>Solanum lycopersicum</i> L., « <i>Де Барао</i> »	39,82±4,32	18,48±2,11	29,66±3,21	19,97±2,08	64,32±7,06	11,8±0,98
	Рапс, <i>Brassica napus</i> L., « <i>Корамбоза</i> »	43,44±5,22	16,92±1,76	27,55±3,08	21,66±2,45	83,57±8,56	12,2±0,95
	Рудбекия рассеченная, <i>Rudbeckia laciniata</i> L., « <i>Золотой шар</i> »	43,17±4,67	18,13±2,11	28,66±3,54	28,67±3,65	19,25±2,08	11,8±1,12
Чистотел азиатский, <i>Chelidonium asiaticum</i> (H. Nara) Krahuks.	41,31±4,53	17,47±2,34	29,91±3,22	20,82±3,02	79,24±8,45	5,2±0,61	
Коэффициент вариации 4-й группы	5,8±0,6	8,2±0,8	5,1±0,5	14,2±1,4	37,3±3,7	23,7±2,4	
5	Лаватера, <i>Lavatera</i> L.	56,33±6,43	18,08±2,32	31,03±4,31	20,57±2,87	61,53±7,35	12,8±1,01
	Лунник, <i>Oenotera</i> L.	50,01±6,11	17,04±2,12	29,59±3,41	23,16±2,55	63,21±7,34	12,6±1,07
	Подсолнечник однолетний, <i>Helianthus annuus</i> L., « <i>Орешек</i> »	53,71±6,31	16,82±2,23	27,45±3,03	23,39±2,96	71,56±8,21	16,4±1,12
	Подсолнечник декоративный, <i>Helianthus annuus</i> L., « <i>Медвежонок Тедди</i> »	49,47±5,45	21,68±3,08	28,82±3,31	25,19±3,11	34,29±4,01	14,3±1,04
	Подсолнечник декоративный, <i>Helianthus annuus</i> L., « <i>Прадо красный</i> »	50,74±5,03	16,82±3,12	30,66±3,78	21,22±2,56	74,81±8,21	16,8±0,97
	Топинамбур, <i>Helianthus tuberosus</i> L., « <i>Скороспелка</i> »	49,23±5,44	15,58±1,67	28,98±3,22	23,28±2,69	44,46±5,34	14,2±1,21
	Тыква обыкновенная, <i>Cucurbita pepo</i> L., « <i>Матильда</i> » (М)	50,72±6,12	23,48±2,59	31,04±3,76	21,13±2,34	24,42±2,79	12,6±1,08
Коэффициент вариации 5-й группы	5,1±0,5	15,8±1,6	4,5±0,4	7,3±0,7	16,1±1,6	12,3±1,2	
Общий коэффициент вариации изначального массива	40,2±4,1	14,6±1,5	6,3±0,6	11,8±1,2	38,1±3,8	37,1±3,8	

Примечания: <sup>a</sup>, <sup>b</sup>, <sup>c</sup> и <sup>d</sup> – доли ИПП «триадная», первого, второго и третьего пиков триады, М и Ж – мужской и женский цветки соответственно, в кавычках – сорт культуры

Таблица 2

Коэффициенты корреляции показателей ИИП  
со структурным фактором и содержанием каротиноидов

Структурный фактор и содержание каротиноида	Показатель ИИП триады			
	<i>FTrA</i>	<i>FA<sub>1</sub></i>	<i>FA<sub>2</sub></i>	<i>FA<sub>3</sub></i>
<i>FSI</i>	0,89 ± 0,091	0,12 ± 0,14	0,82 ± 0,11	0,75 ± 0,19
<i>СК</i>	0,98 ± 0,019	0,11 ± 0,12	0,72 ± 0,21	0,86 ± 0,12

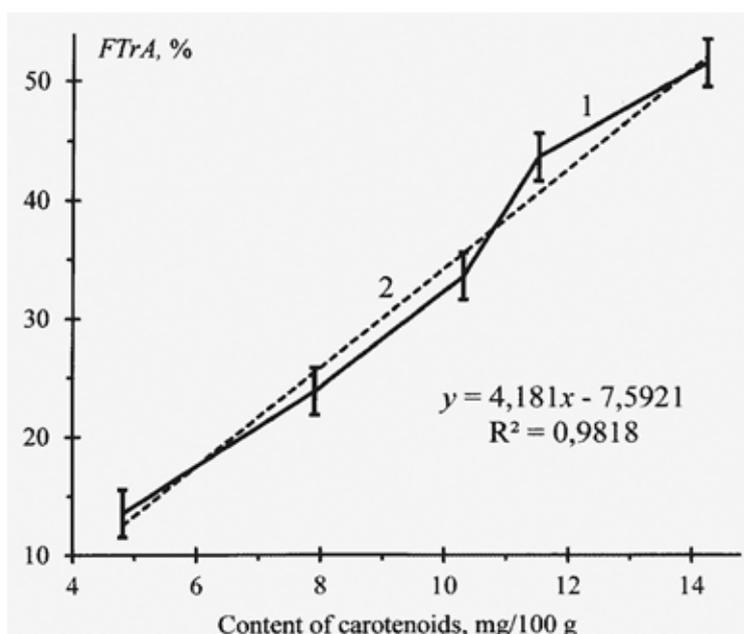


Рис. 2. Зависимость доли ИИП триады (1) от содержания каротиноидов в экстракте, ее тренд (2), уравнение ( $y$ ) и вероятность ( $R^2$ ) линейной регрессии

Из представленных данных следует, что групповые показатели ИИП *FTrA*, *FA<sub>1</sub>*, *FA<sub>2</sub>* и *FA<sub>3</sub>* имеют в среднем коэффициенты вариации от 4,7 до 14,3%, а показатели *FSI* и *СК* в 2,05–7,68 раза больше.

Корреляционный анализ показал, что самая тесная прямая взаимосвязь (табл. 2) имеется между показателем ИИП *FTrA* и содержанием каротиноидов в экстракте ( $p < 0,05$ ). Коэффициенты корреляции *FSI* или *СК* с показателями ИИП *FA<sub>2</sub>* и *FA<sub>3</sub>* на 9–12%, а с показателем *FA<sub>2</sub>* на 85–87% меньше.

При этом получена зависимость между *FTrA* и *СК* линейного вида (рис. 2) с высокой достоверностью.

Судя по представленным данным, наибольшую валидность для оценок фотоабсорбции имеет показатель *FTrA*. Нетрадиционные числовые показатели в анализе

поглощения каротиноидов применены впервые, поэтому сравнения с литературными данными других авторов исключаются, но возможны косвенные сопоставления. Например, ранее показана [12] высокая валидность спектрофотометрических нетрадиционных числовых показателей, основанных на точках перегиба контура полосы поглощения.

### Заключение

Нетрадиционный показатель *FTrA* отображает напряженность процессов фотоабсорбции, весьма чувствительных к воздействиям факторов внешней среды, можно использовать как относительно несложный спектрофотометрический (по сравнению с хроматографией или масс-спектрометрией) тест для экологических оценок состояния растительных ресурсов.

## Список литературы

1. Rodriguez-Concepcion M., Avalos J., Bonet M.L., Boronat A., Gomez-Gomez L., Hornero-Mendez D., Limon M.C., Meléndez-Martínez A.J., Olmedilla-Alonso B., Palou A., Ribot J., Rodrigo M.J., Zacarias L., Zhu C. A global perspective on carotenoids: metabolism, biotechnology and benefits for nutrition and health // *Progress in lipid research*. 2018. No. 70. P. 62–93. DOI: 10.1016/j.plipres.2018.04.004.
2. Maoka T. Carotenoids as natural functional pigments // *Journal of natural medicines*. 2019. Vol. 74, Is. 1. P. 1–16. DOI: 10.1007/s11418-019-01364-x.
3. Young A., Lowe G. Carotenoids – antioxidant properties // *Antioxidants*. 2018. Vol. 7, Is. 2. P. 28–36. DOI: 10.3390/ANTIOX7020028.
4. Langi P., Kiokias S., Varzakas T., Proestos C. Carotenoids: from plants to food and feed industries. In Barreiro C., Barredo J.L. (eds) *Microbial Carotenoids // Method in molecular biology*. 2018. Vol. 1852. P. 57–71. Human press, New York. DOI: 10.1007/978-1-4939-8742-9\_3.
5. Колдаев В.М., Кропотов А.В. Каротиноиды в практической медицине // *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2022. № 1. С. 65–71. DOI: 10.34215/1609-1175-2022-1-65-71.
6. Llansola-Portoles M.J., Pascal A.A., Robert B. Electronic and vibrational properties of carotenoids: from *in vitro* to *in vivo* // *Journal of the royal society interface*. 2017. Vol. 14, Is. 135. 20170504. DOI: 10.1098/rsif.2017.0504.
7. Saini R.K., Keum Y-S. Carotenoid extraction methods: A review of recent developments // *Food chemistry*. 2018. Vol. 240. P. 90–103. DOI: 10.1016/J.FOODCHEM.2017.07.099.
8. Колдаев В.М. Метод числовых показателей спектров поглощения в анализе извлечений из растений. М.: ЛЕНАНД, 2021. 160 с.
9. Mercadante A.Z., Egeland E.S. Carotenoids. Handbook. Basel AG: Springer, 2004. DOI: 10.1007/978-3-0348-7836-4.
10. Benea A., Ciobanu C., Cojocaru-Toma M., Ciobanu N. Determination of carotenoids in extracts from species of *Tagetes* and *Calendula* // *Moldova medical journal*. 2020. Vol. 63, Is. 4. P. 23–26.
11. Мятлев В.Д., Панченко Л.А., Ризниченко Г.Ю., Терехин А.Т. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели. М.: Академия, 2009. 320 с.
12. Koldaev V.M., Manyakhin A.Y. Numerical indicators of absorption spectra of green leaf extract obtained from plants of different life forms. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2018. Vol. 203. P. 404–407. DOI: 10.1016/j.saa.2018.06.019.