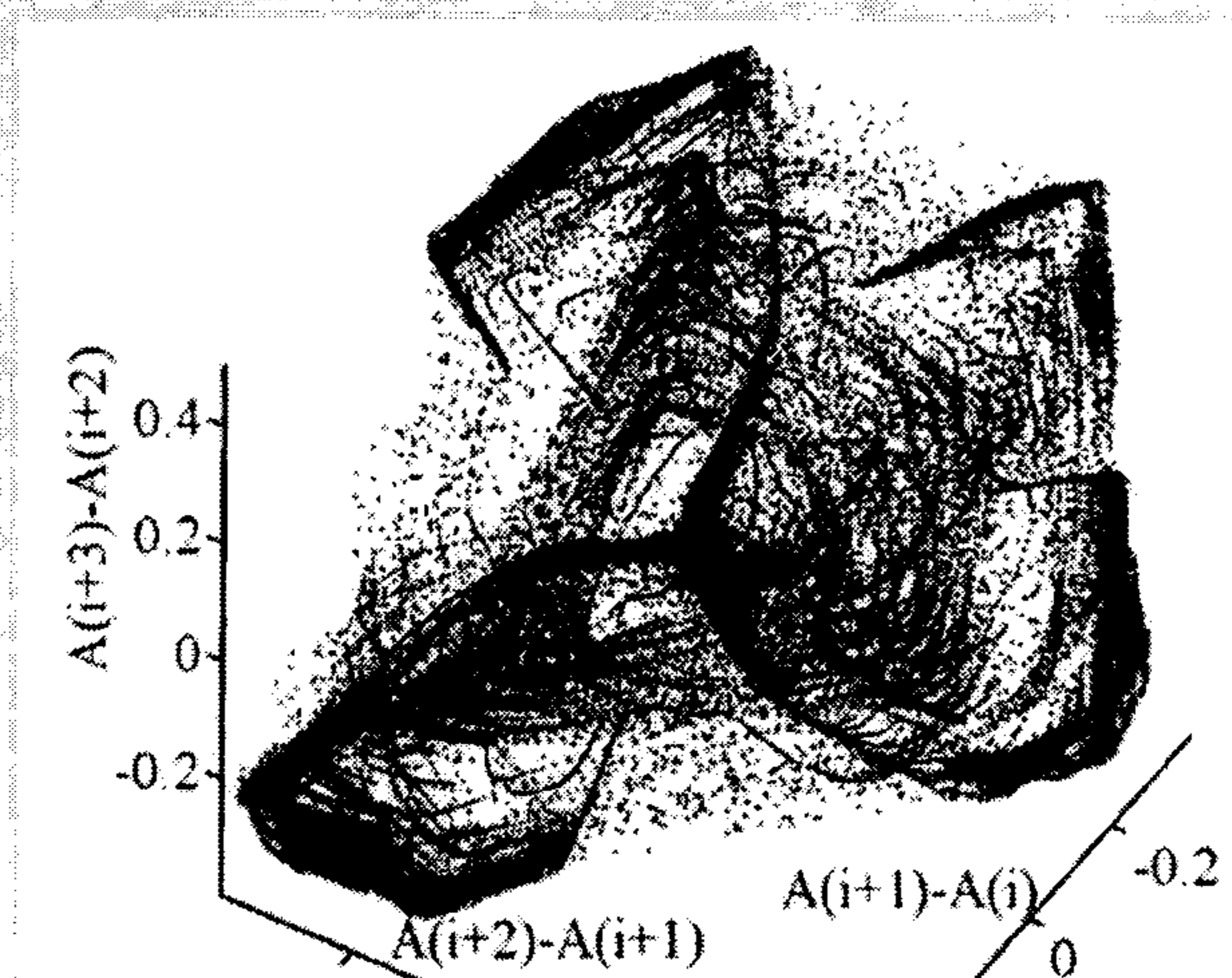


Бутлеровские сообщения

ISSN 2074-0212



2010. Том 19. №1-3



International Edition in English:
Butlerov Communications



ISSN 2074-0948

Беталаиновые пигменты растительного происхождения: выделение, структура и химические свойства

© Минзанова Салима Тахиятулловна,^{1a*+} Миронов Владимир Федорович,¹
Цепаева Ольга Викторовна,¹ Выштакалюк Александра Борисовна,^{1b}
Миндубаев Антон Зуфарович,¹ Миронова Любовь Геннадьевна,^{1c}
Петрова Генриетта Рудольфовна,¹ Зиятдинова Фарида Хаматхановна,¹
Зобов Владимир Васильевич,^{1,2d} Коновалов Александр Иванович,¹
Гинс Марат Сабирович,³ Гинс Валентина Карловна³ и Кононков Петр Федорович³

¹ Лаборатория химико-биологических исследований. Учреждение Российской академии наук
Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова Казанского научного центра
Российской академии наук. Ул. Арбузова, 8. г. Казань, 420088. Республика Татарстан. Россия.
Тел.: (843) 272-73-84. Факс: (843) 273-22-53.

E-mail: ^{a)} minzanova@iopc.ru, ^{b)} egrad@hitv.ru, ^{c)} mironov@iopc.ru, ^{d)} zobov@iopc.ru,

² Кафедра прикладной экологии. Казанский (Приволжский) федеральный университет.
Ул. Кремлевская, 18. Тел.: (843) 231-53-57.

³ Всероссийский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства овощных культур
РАСХН, п/о Лесной городок. Московская область, Одинцовский район, 143080. Россия.
Тел.: (495) 599-24-42. Факс: (495) 599-22-77.

*Ведущий направление; +Поддерживающий переписку

Ключевые слова: беталаиновые пигменты растений, амарант, свекла, спектрофотометрия UV-VIS Lambda 35 (Perkin-Elmer), ЯМР ¹³C и ИК спектроскопия.

Аннотация

Отработан способ выделения амарантина из растений *Amaranthus tricolor* сорта «Валентина», оптимизированы условия экстракции и исследованы структурные особенности амарантина с использованием современных физико-химических методов исследования (ЯМР ¹³C, ИК спектроскопия, MALDI TOF). Работа по переработке растений амаранта нового сорта «Валентина» проведена впервые, и на основании проведенного исследования можно рекомендовать использование растений *Amaranthus tricolor* сорта «Валентина», также как и столовой свеклы (*Beta vulgaris*), в качестве потенциального источника пищевого красителя – амарантина, не токсичного для человеческого организма.

Введение

В последние годы ведется расширенное исследование пищевых красителей растительного происхождения. Данная работа посвящена актуальному направлению – получению природных красителей из нетрадиционного растительного сырья, а именно из листьев нового, районированного для отечественных условий амаранта *Amaranthus tricolor* сорта «Валентина».

Беталаины по химической природе являются алкалоидами, т.е. относятся к классу водорастворимых азотсодержащих пигментов [20]. Необычным свойством их является наличие окраски (поглощения в видимой области). По данному признаку беталаины подразделяются на две подгруппы – бетаксантины, имеющие желтую окраску, и пурпурные или фиолетовые бетацианины. Вторая, нехарактерная для алкалоидов особенность беталаинов – кислотные свойства, так как данные пигменты содержат карбоксильные группы. Беталаины характеризуют ботанические виды, принадлежащие к близкородственным семействам порядка Caryophyllales. Беталаины накапливаются в клеточных вакуолях цветов, плодов и листьев синтезирующих их растений, преимущественно в покровных и подпокровных тканях [1]. В настоящее время наиболее продуктивными источниками беталаинов являются столовая

свекла (*Beta vulgaris*), сем. *Chenopodiaceae* [2-4], плоды кактусов из родов *Opuntia*, *Hylocereus* и *Shlumbergera*, сем. *Cactaceae* [5-9, 19], американский лаконос (*Phytolacca americana*), сем. *Phytolaccaceae* [10-12]. Из многочисленных природных источников беталаинов, известных на сегодняшний день, красная свекла и «колючая груша» (плоды кактусов) являются пищевыми продуктами, содержащими данный класс пигментов. Экстракты из красной свеклы применяются в народной медицине с древних времен, в основном для лечения рака, а также для терапии болезней печени, селезенки и кожи. Сегодня экстракты корнеплода красной свеклы являются ингредиентами отдельных фармацевтических препаратов, применяемых, главным образом, для терапии опухолей [2]. Богатые беталаинами растения семейства *Amaranthaceae* широко применяются в китайской народной медицине [21].

В связи с этим в последние годы наблюдается интерес к культурам, содержащим беталаиновые пигменты, и одной из перспективных культур является нетрадиционная культура амарант. Особенностью амаранта является большой прирост биомассы, что позволяет получать тонны растительного сырья на относительно небольших площадях. Пищевая ценность белка амаранта по данным аминокислотных составов очень высока в сравнении с «идеальным белком ФАО», и по сумме незаменимых аминокислот составляет 75% [22]. Помимо белка амарант содержит ценные высокомолекулярные соединения – пектиновые полисахариды и ряд важных низкомолекулярных веществ, в том числе флавоноид с Р-витаминной активностью – рутин, и пигмент амарантин. Амарантин является главным красным пигментом у растений из рода *Amaranthus* [23]. Одним из наиболее богатых источников амарантина является *Amaranthus tricolor*, вся надземная часть которого имеет насыщенный пурпурный цвет.

Бетацаниновые пигменты обладают многосторонней биологической активностью [21]. Обладая выраженной способностью поглощать ультрафиолет, они защищают накапливающие их растения от ожогов прямыми солнечными лучами. Этим фактом объясняется обилие краснолистных форм растений в высокогорьях, в сухих тропических и субтропических регионах. Яркая окраска соцветий и плодов растений, содержащих бетацанины, способствует привлечению насекомых-опылителей и животных, питающихся плодами, обеспечивая размножение и расселение вида. У амарантина обнаружено свойство ингибировать прорастание семян и рост проростков. Действие амарантина на прорастание семян и рост проростков подобно действию синтетических фиторегуляторов с цитокининовой активностью и ретарданта дихлоризомасляной кислоты. По-видимому, амарантин специфически подавляет активность фитогормона ауксина – β -индолилуксусной кислоты [3].

Амарантин является природным пурпурным красителем, обеспечивающим интенсивную окраску водных растворов даже при низких концентрациях. Он является нетоксичным для человека веществом, в отличие от синтетического пурпурного красителя «амарант». Последний относится к классу азокрасителей, ядовит, обладает выраженными канцерогенными свойствами и запрещен к использованию в качестве пищевого красителя. Природный краситель амарантин, в связи с этим, является перспективным красителем для пищевых целей. Поскольку по своему строению амарантин относится к классу природных алкалоидов, среди которых известно большое количество лекарственных препаратов, амарантин может рассматриваться в дальнейшем не только как перспективный пищевой краситель, но и как основа для получения лекарственных соединений.

Целью настоящего исследования являлась разработка способов выделения беталаиновых пигментов из растения амарант (*A. tricolor*) и свеклы столовой (*B. vulgaris*) и проведение сравнительного анализа особенностей их химической структуры и свойств.

Экспериментальная часть

В рамках данного исследования проведена серия экстракций в аппарате Сокслета с использованием неполярных и полярных растворителей в соответствии с их элюотропным рядом для извлечения всех низкомолекулярных веществ. Оптимизация параметров водной экстракции для извлечения беталаиновых пигментов определялась влиянием продолжительности обработки, температуры, гидро-модуля (соотношение жидкой и твердой фаз). Водная экстракция проводилась при температуре 35-40

БЕТАЛАИНОВЫЕ ПИГМЕНТЫ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ: ВЫДЕЛЕНИЕ, СТРУКТУРА... __ 1-11 °С и гидромодуле 1:20–25. Кинетика экстракции изучалась в течение 3.5 ч, оптимальное время обработки составило 1.5 часа. Для идентификации беталаиновых пигментов и изучения их физико-химических свойств проводилась дополнительная очистка экстрактов. Концентрированные беталаиновые экстракты подвергали колоночной хроматографии на сефадексе G-25 в соответствии с работой Адамса и др. [13].

Методы исследований: ИК спектры сняты на приборе *UR-20* и *IRS-113* фирмы *Bruker* с разрешением 1 см^{-1} в диапазоне $400-4000 \text{ см}^{-1}$ в таблетках KBr. Спектры ЯМР ^{13}C , $^{13}\text{C}\{-^1\text{H}\}$ записаны на приборе *Bruker MSL-400* и *Bruker Avance-600* на частотах 100.6 и 150.9 МГц в D_2O . Спектры молекулярно-массового распределения записаны на приборе *MALDI TOF*. Электронные спектры поглощения получены на приборе *Lambda 35 (Perkin-Elmer)* в диапазоне длин волн 300-800 нм.

Колоночная хроматография. Колонка (50×3 см), заполненная сефадексом G-25 (20-25 г) и уравновешенная раствором 0.01 М NaCl.

Объекты исследования (рис. 1):

1. Красная свекла (*Beta vulgaris*), выращенная на полях Республики Татарстан. Корнеплоды вручную моют, взвешивают (1700 г) и нарезают мелкими кубиками и сушат при температуре 50-55 °С. Вес высушенного сырья 252.4 г.
2. Высушенные листья амаранта (*A. tricolor*) нового сорта "Валентина", выведенного во Всероссийском Институте селекции и семеноводства овощных культур (ВНИИССОК). Соцветия с листом, отсев соцветий, диаметр 6 мм.



Рис. 1. Объекты исследования: *Amaranthus tricolor* слева и *Beta vulgaris* справа

Результаты и их обсуждение

В результате проведенной научно-исследовательской работы нами разработан способ выделения бетацианинового пигмента – амарантина из листьев нового, районированного для отечественных условий амаранта сорта «Валентина» и бетанина из столовой свеклы и предложена принципиальная схема (рис. 2).

Идентификация экстрактов растворителями различной полярности основывалась на данных ТСХ, на спектральных характеристиках, полученных на приборе *Lambda 35* и на определении молекулярных масс компонентов экстракта методом масс-спектрометрии.

В экстракте, полученном петролейным эфиром из амаранта, методом ТСХ (рис. 3) в системе бензол-этилацетат 6:1 продемонстрировано наличие трех компонентов: верхнее, ярко-желтое пятно поднимается с фронтом элюента и соответствует каротиноидам. Среднее пятно зеленого цвета принадлежит хлорофиллу, нижнее, бледно-желтое пятно, остается на старте. С экстракта, полученного петролейным эфиром, сняты электронные спектры поглощения на приборе *Lambda 35* в диапазоне длин волн 300-800 нм (рис. 4). Согласно литературным данным [14] максимумы поглощения на спектрах были идентифицированы, как соответствующие α - и β -каротинам, а также хлорофиллам а и b.

Скрининг экстрактов, полученных из амаранта хлористым метиленом, показал аналогичную картину: присутствие хлорофиллов а и b и каротиноидов.

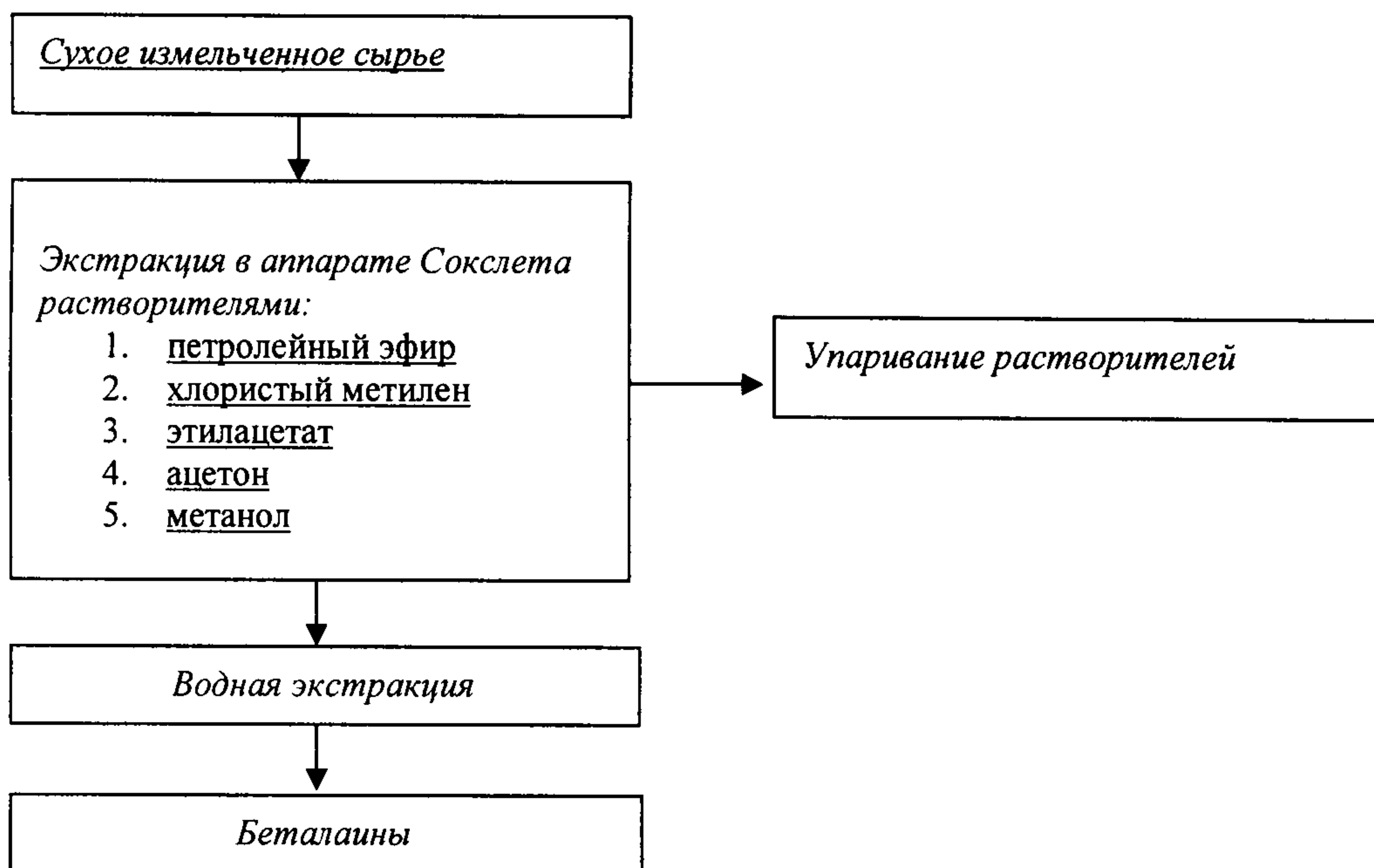


Рис. 2. Принципиальная схема выделения беталаиновых пигментов

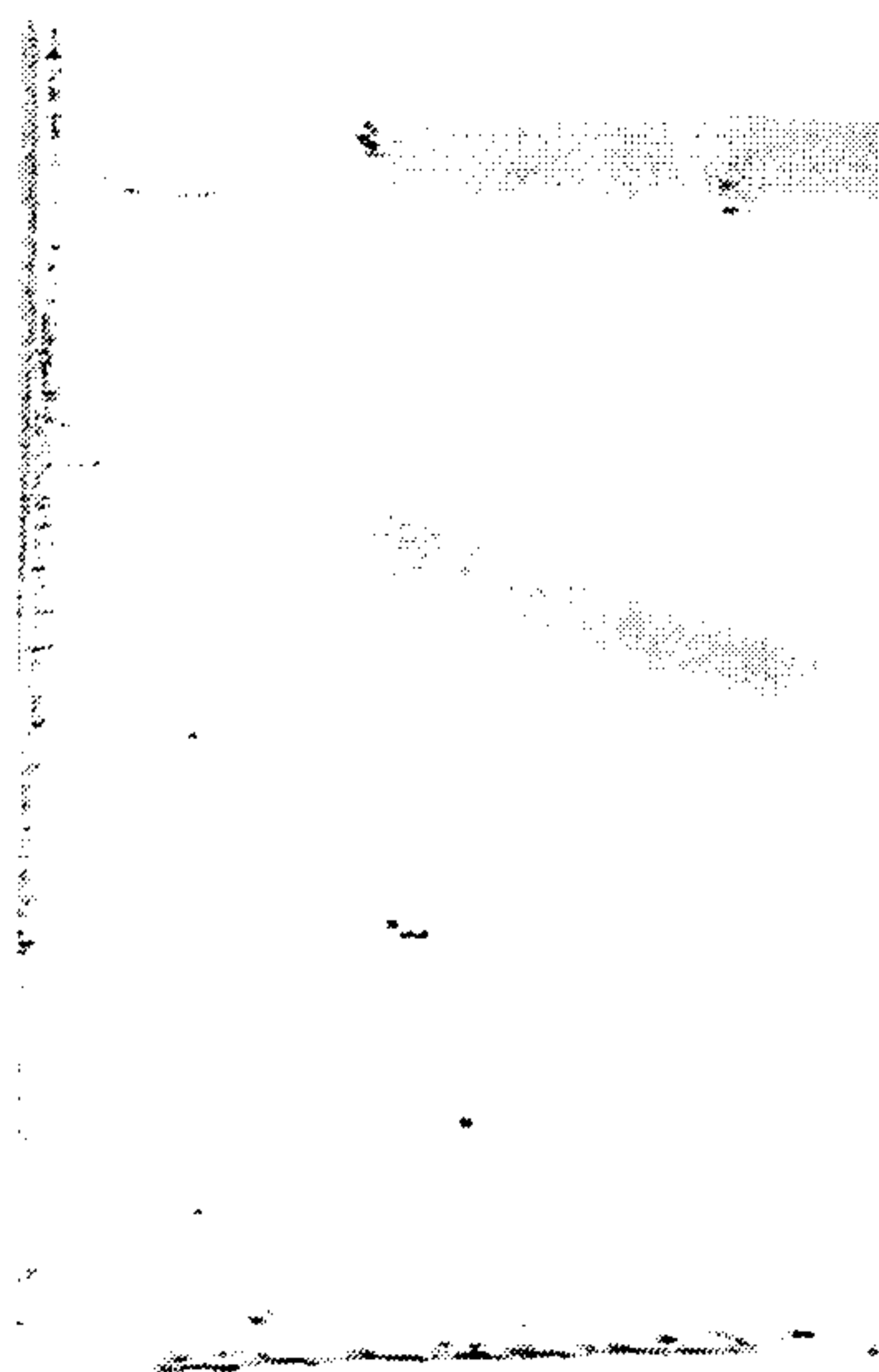


Рис. 3. ТСХ экстракта, полученного петролейным эфиром из *A. tricolor*

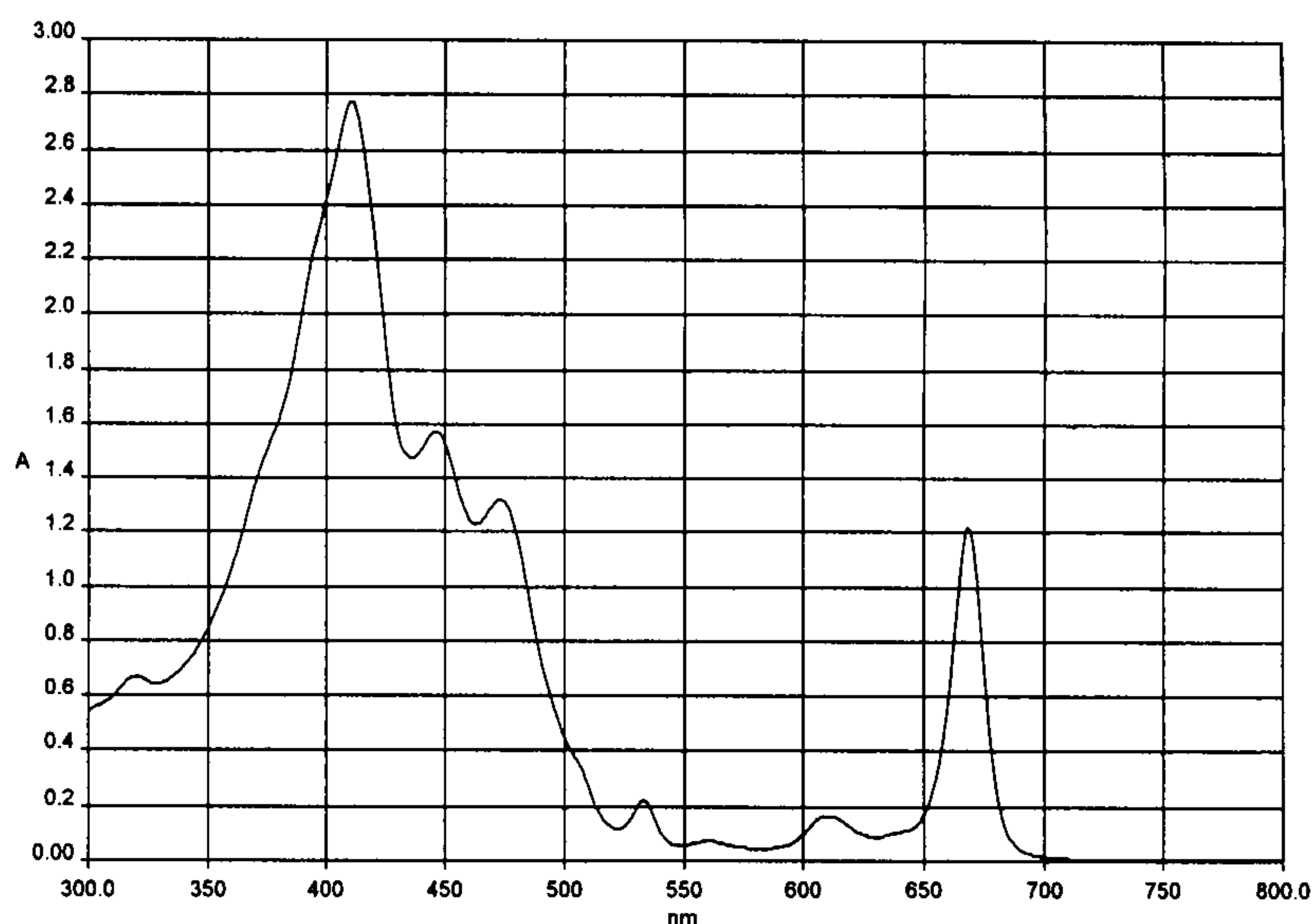


Рис. 4. Электронный спектр поглощения экстракта, полученного петролейным эфиром из *A. tricolor*, сорт «Валентина», разбавление 1 : 20

Электронный спектр поглощения метанольного экстракта в видимой области демонстрирует присутствие в экстракте следов хлорофиллов – поглощение при 660 нм (рис. 5).

Использование полярных органических растворителей позволяет получать сумму биологически активных веществ амаранта. В метанольном экстракте идентифицирован ценный продукт рутин с Р-витаминной активностью, а также обнаружены сахара и аминокислоты. Выход рутина составил 1%.

Для получения целевого продукта – амарантина последовательно проведена водная экстракция. Оптимальные технологические параметры процесса: гидромодуль 1 : 15, температура 40° С, продолжительность 1.5 часа.

Электронные спектры поглощения компонентов водного экстракта амаранта демонстрируют интенсивное поглощение в УФ области. Присутствует характерный пик амарантина с вершиной при 538 нм в видимой области (рис. 6). Выход амарантина в пересчете на сухое сырье достигает 10%.

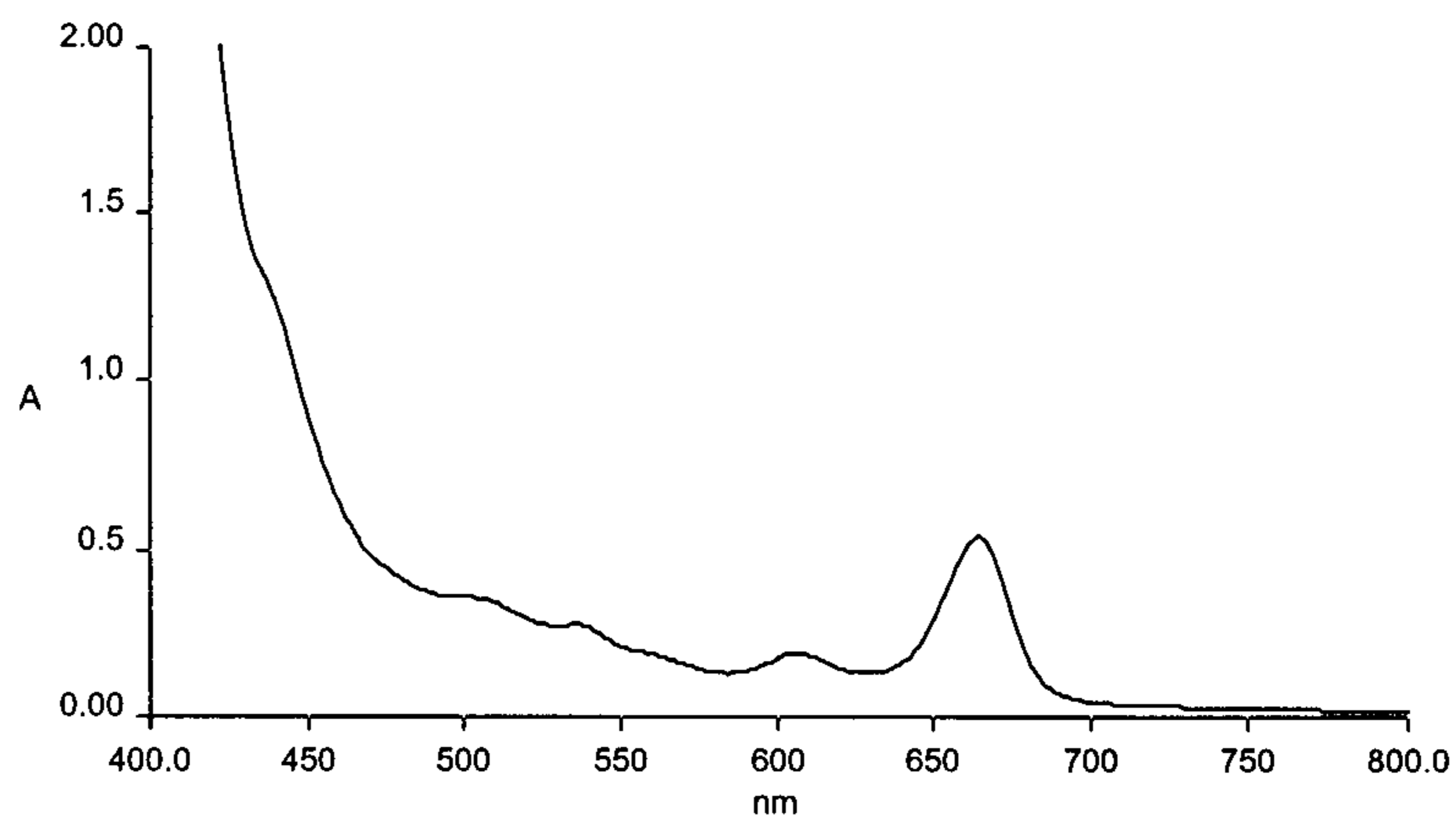
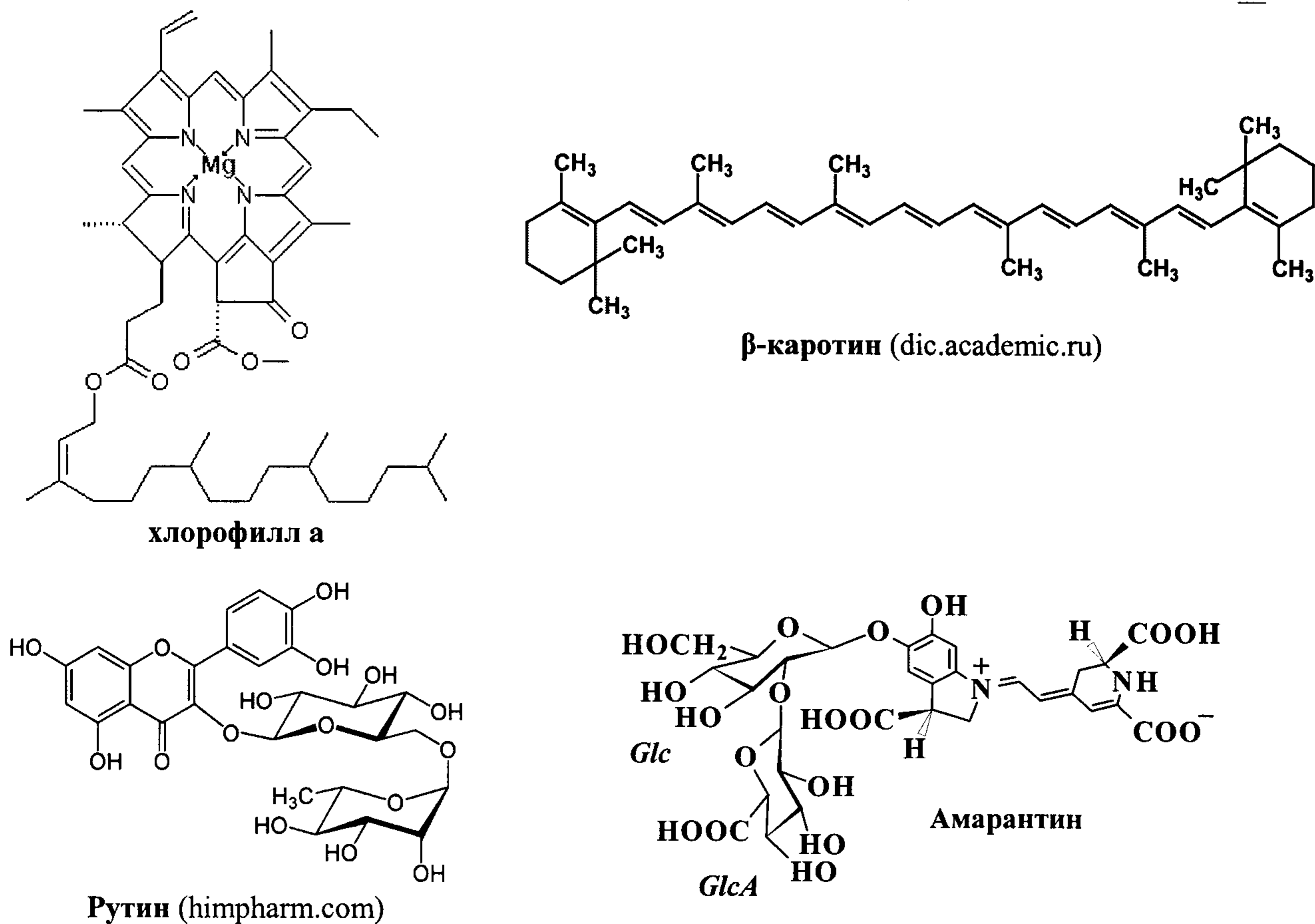


Рис. 5. Электронный спектр поглощения метанольного экстракта амаранта сорта «Валентина»

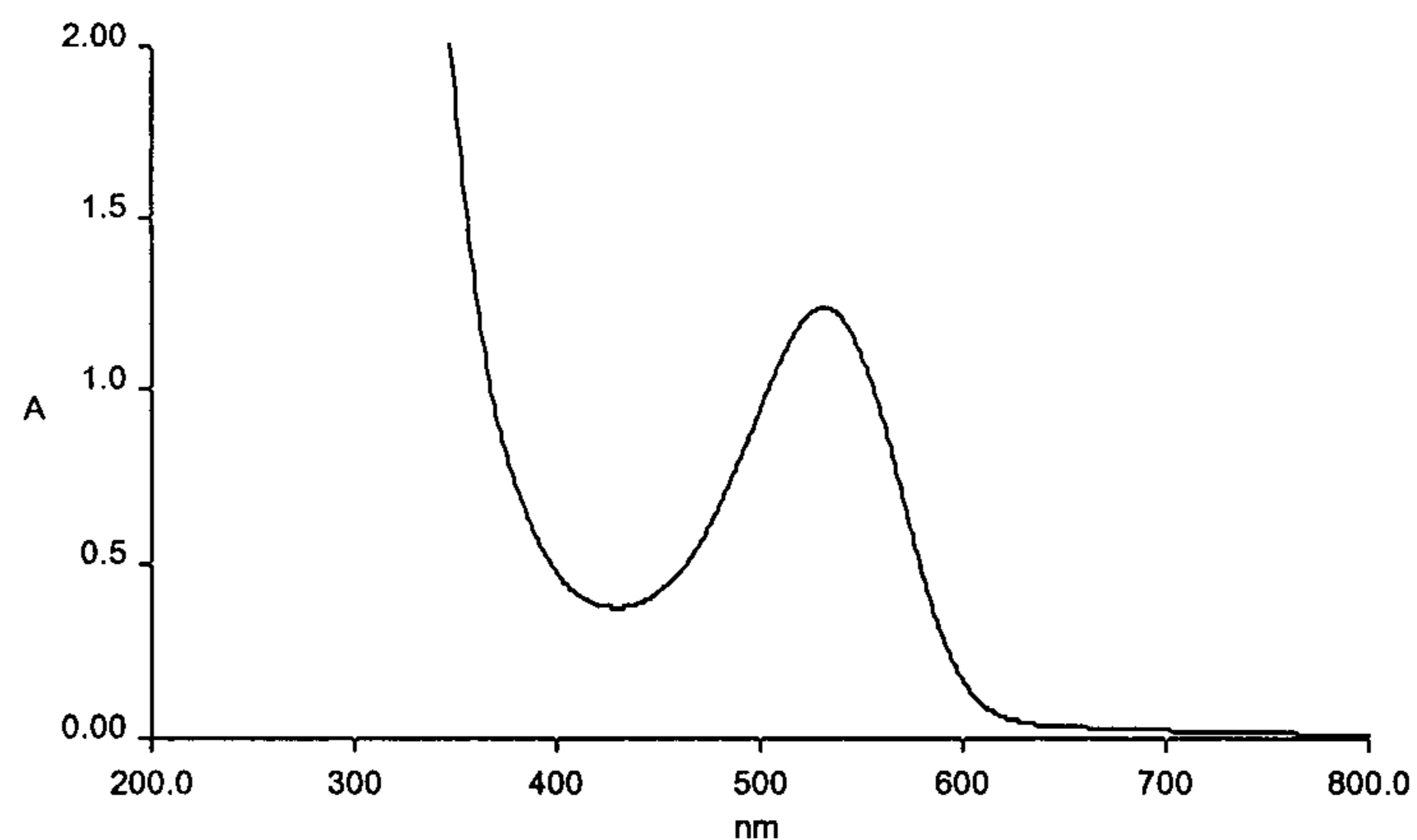


Рис. 6. Электронный спектр поглощения пигментных фракций

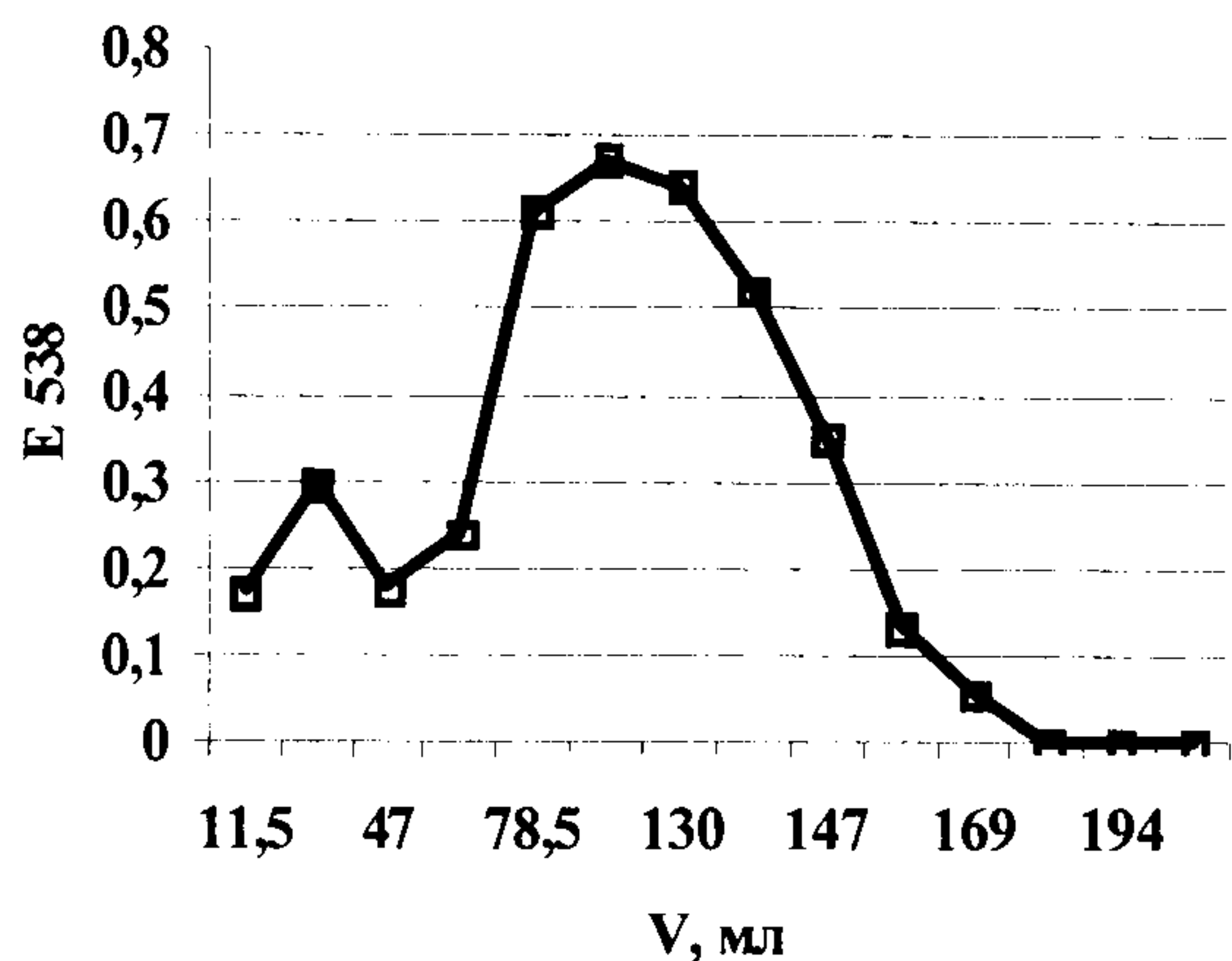


Рис. 7. Поглощение пигментных фракций при 538 нм

веществ, составляет 60% от общего объема экстракта.

Для идентификации выделенных пигментов также был использован метод масс-спектрологии *MALDI TOF*. В полученной после колоночной хроматографии бетацианинсодержащей фракции водного экстракта продемонстрировано наличие компонентов массой (рис. 8): бетанидин (390.7 Да), бетанин (550.1 Да), амарантин (726.9 Да).

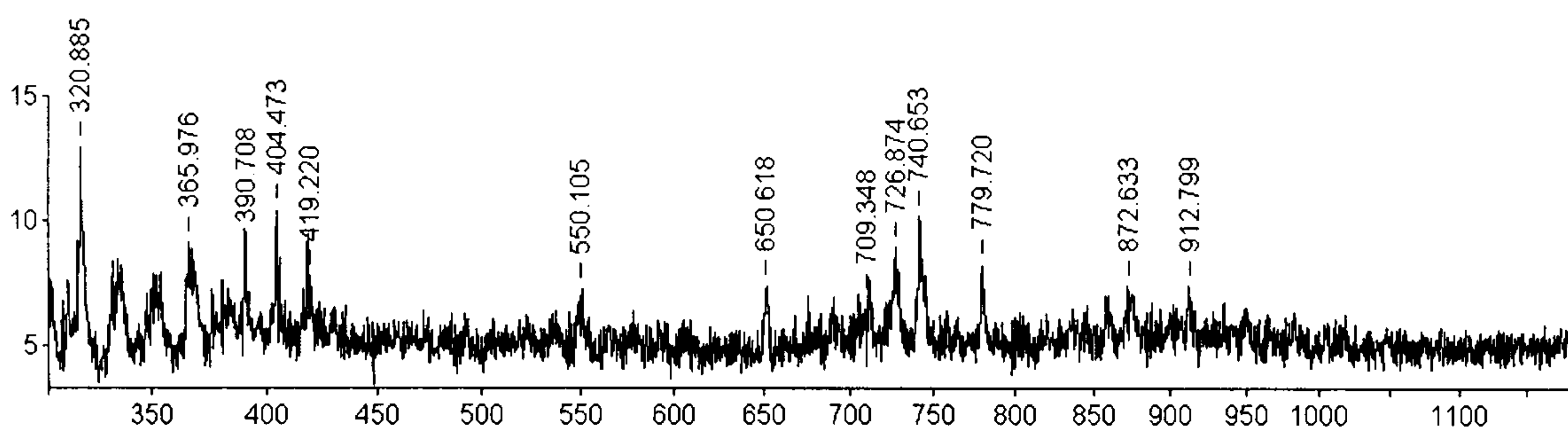
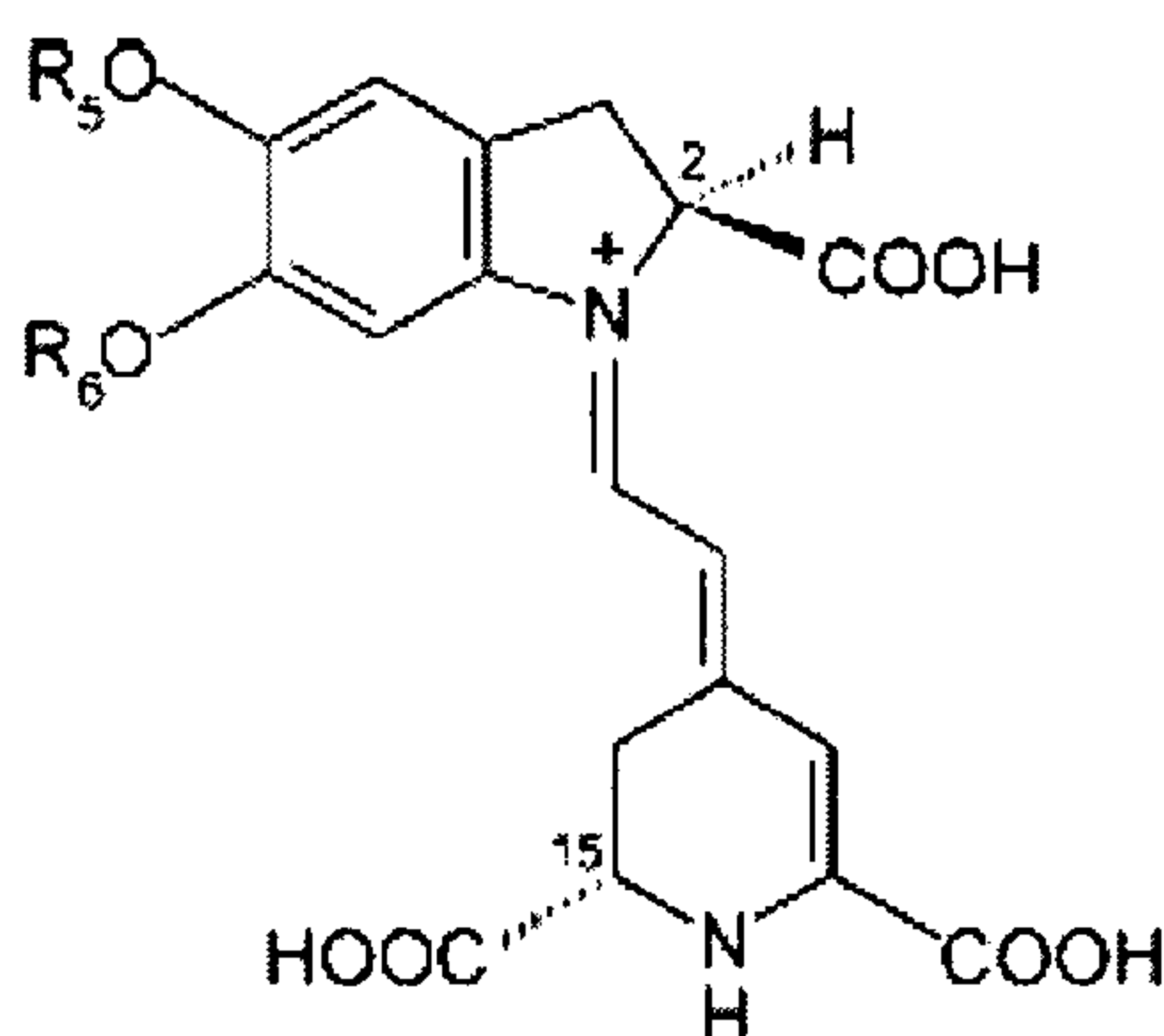


Рис. 8. Масс-молекулярное распределение компонентов водного Экстракта *Amaranthus tricolor*, сорт «Валентина»



а) Бетацианиновые пигменты: Бетанин, $R_5 = \text{гликозил}$, $R_6 = \text{H}$. б) Бетанидин: $R_5 = R_6 = \text{H}$ [21]

На следующем этапе исследований в сравнительном аспекте были выделены и изучены беталаиновые пигменты из корнеплодов столовой свеклы. Методы выделения пигментов из свеклы аналогичны методам выделения амарантина.

В электронных спектрах поглощения экстрактов из красной свеклы, полученных петролейным эфиром и этилацетатом (рис. 9), наблюдается поглощение в области, характер-

БЕТАЛАИНОВЫЕ ПИГМЕНТЫ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ: ВЫДЕЛЕНИЕ, СТРУКТУРА... __ 1-11
ной для липидов и жирорастворимых витаминов [13]. Сравнительный анализ спектров показывает, что интенсивность максимума поглощения при экстракции этилацетатом ниже почти в 2 раза, что свидетельствует о более низкой концентрации извлеченных компонентов.

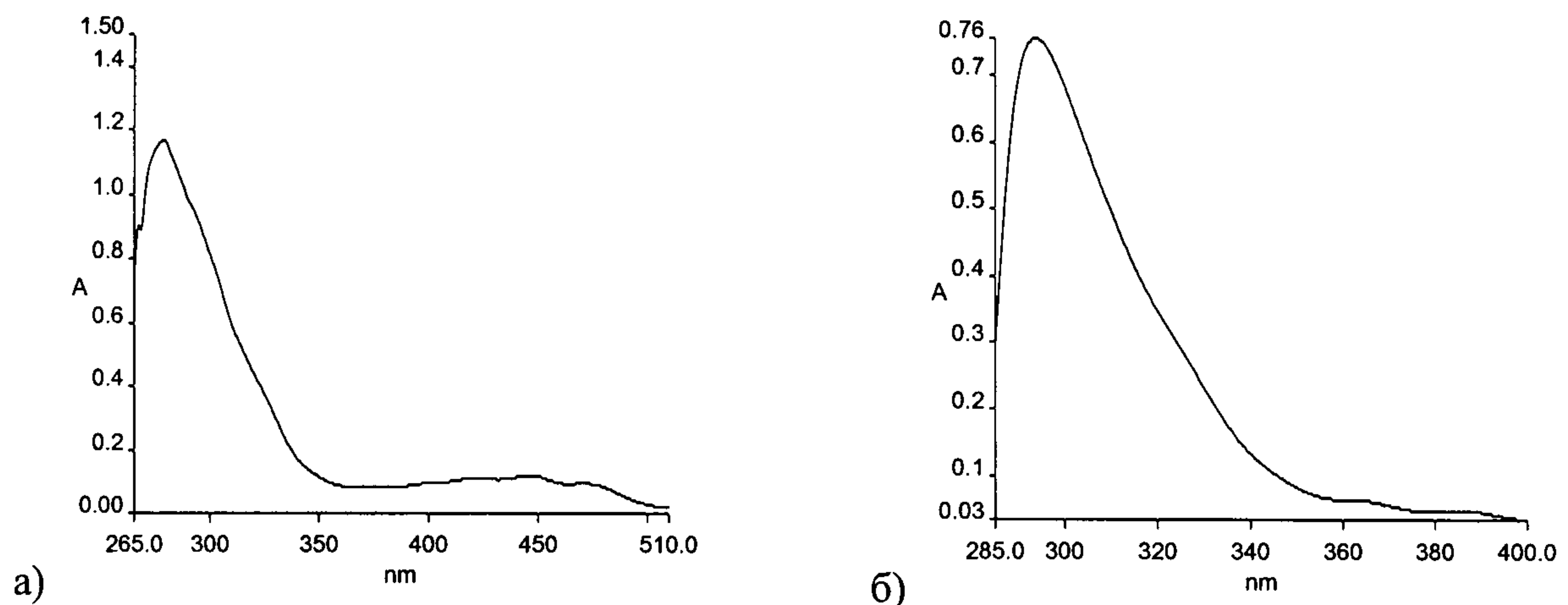


Рис. 9. Электронный спектр поглощения экстракта из красной свеклы, полученного: а) петролейным эфиром; б) этилацетатом

Методом ТСХ продемонстрировано наличие в метанольном экстракте сахаров и аминокислот. Желто-коричневое пятно, образовавшееся при обработке анилинфталатом, свидетельствует о наличии сахаров (рис. 10а). Розовое пятно, проявившееся после обработки пластинки нингидрином, соответствует аминокислотам (рис. 10б).

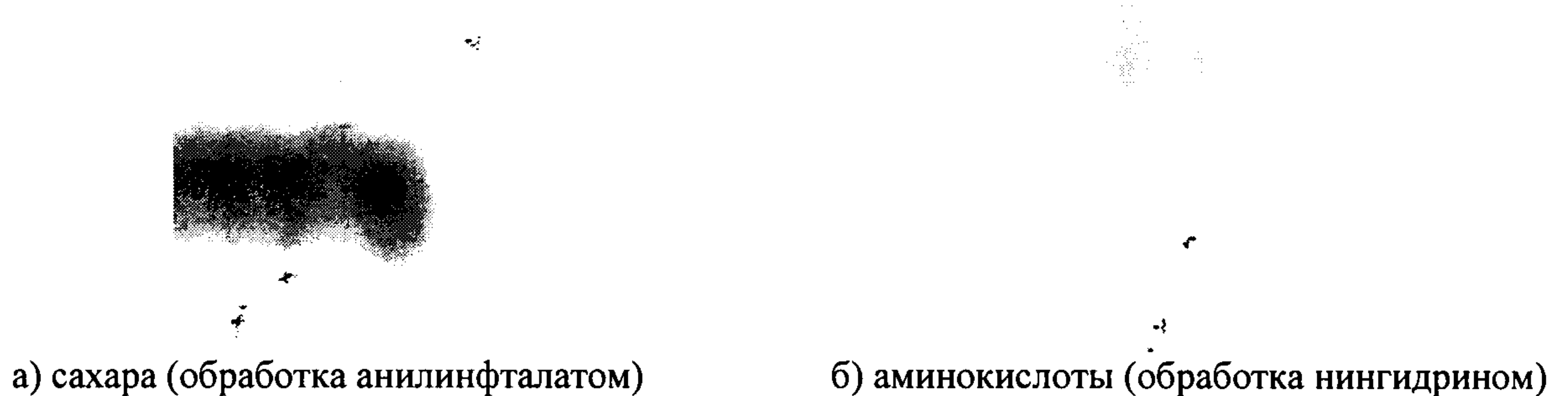


Рис. 10. ТСХ метанольного экстракта из столовой свеклы

Водная экстракция из жома столовой свеклы позволяет получать беталаиновые пигменты. Оптимальные технологические параметры процесса: гидромодуль 1 : 20, температура 40 °С, продолжительность 1.5 часа.

Электронный спектр поглощения водного экстракта столовой свеклы (рис.11) демонстрирует интенсивное поглощение в УФ области, как и в случае с амарантовым водным экстрактом. Отличие заключается в том, что в видимой области в спектре присутствуют два максимума поглощения: один при 477 нм, второй, более интенсивный – при 537-538 нм, что свидетельствует о присутствии двух индивидуальных беталаиновых пигментов. Методом ТСХ (рис. 12) также подтверждено наличие в нем двух пигментов – красного (нижнее пятно) и пурпурного (верхнее пятно). Наличие двух максимумов поглощения для беталаиновых пигментов столовой свеклы согласуется с литературными данными [2].

Спектры *MALDI-TOF* (рис. 13) подтверждают наличие в водном экстракте столовой свеклы пигментов бетацианиновой природы, а именно бетанина (551), но в нашем случае пигмент присутствует в солевой форме (576.76).

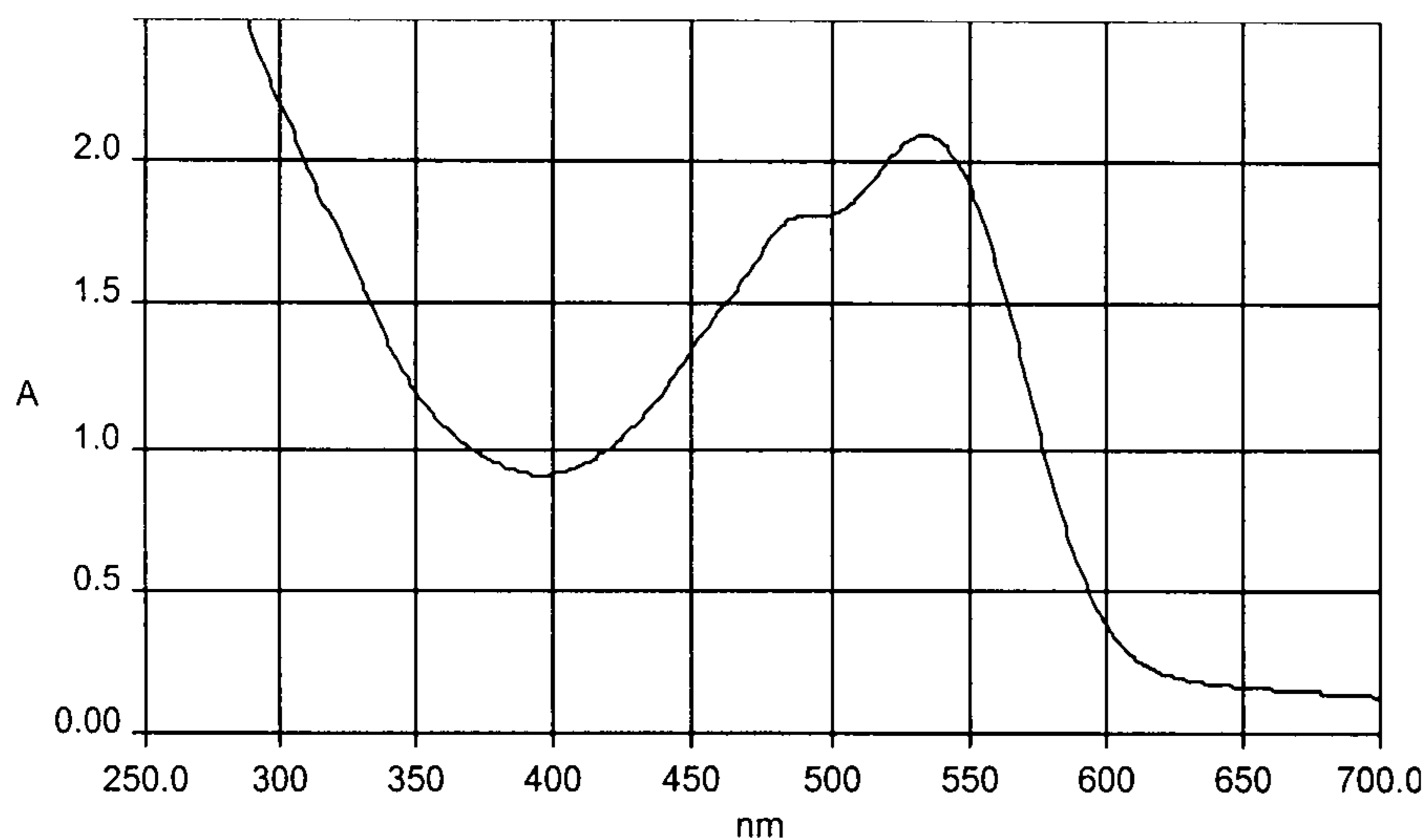


Рис. 11. Электронный спектр поглощения компонентов водного экстракта из столовой свеклы, разбавление 1 : 10

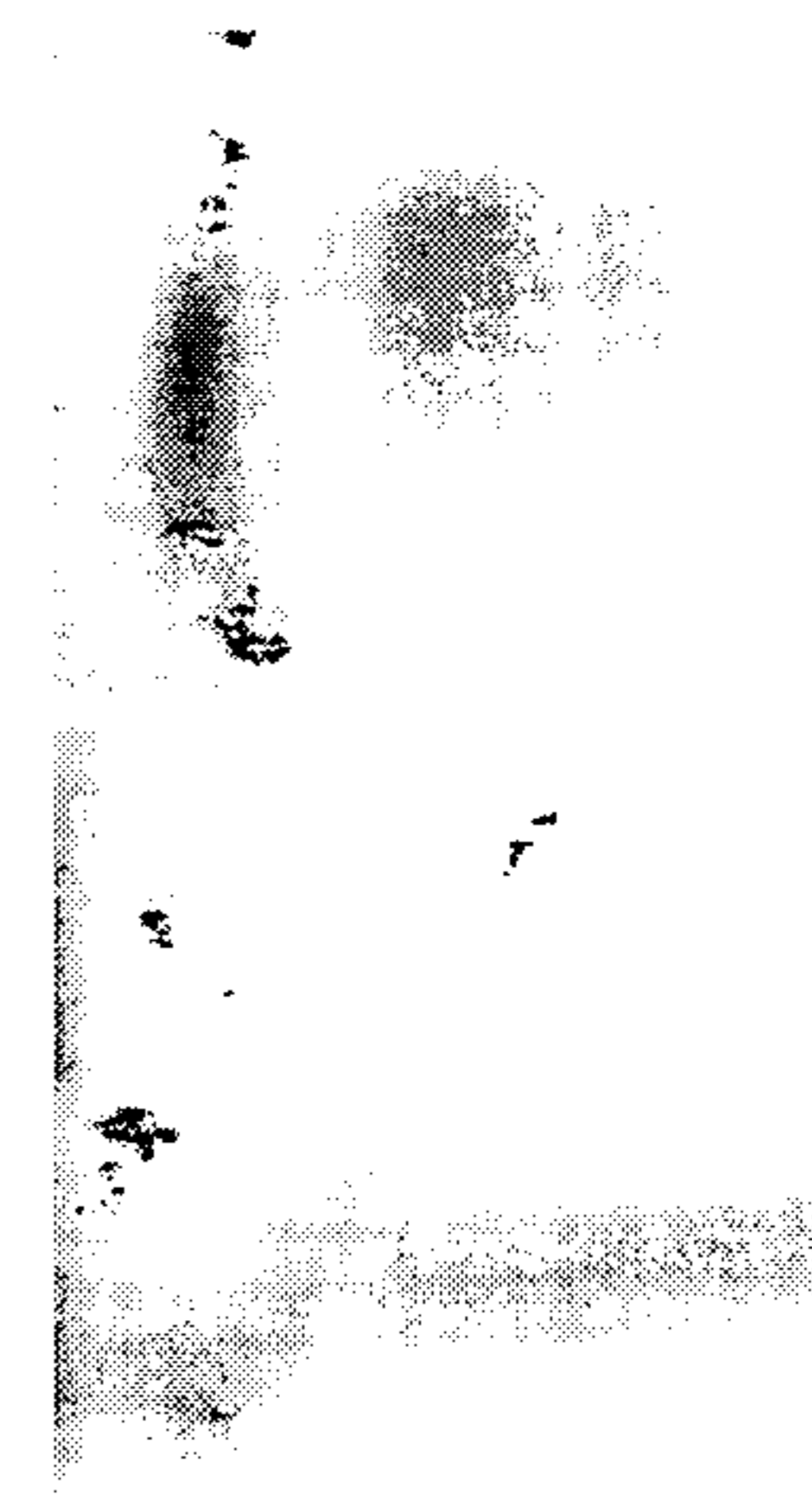


Рис. 12. ТСХ водного экстракта столовой свеклы

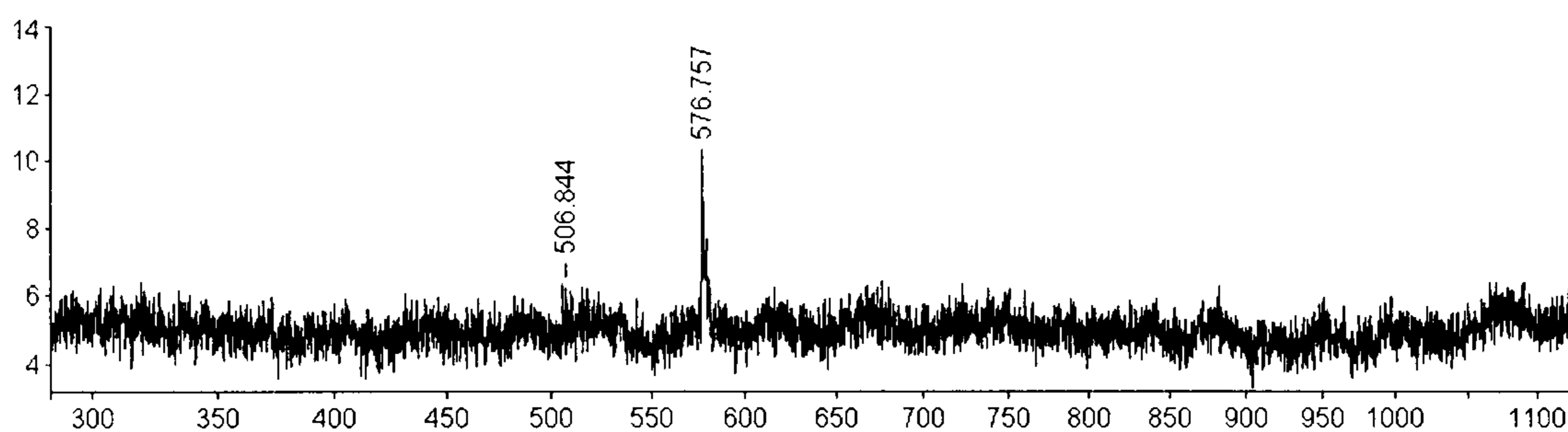


Рис. 13. Масс-молекулярное распределение водного экстракта столовой свеклы

Строение выделенных пигментов подтверждено также методами ИК и ЯМР ^{13}C спектроскопии.

Беталаиновые пигменты дополнительно очищены на колонке, заполненной *сефадексом G-25*, и сняты ИК спектры с исследуемых образцов в сравнении со стандартным образцом амарантина (рис. 14, 15).

ИК спектр очищенного амарантина (образец предоставлен В.К. Гинс, *ВНИИССОК*, Москва), содержит высокоинтенсивные полосы поглощения, что свидетельствует о высокой степени чистоты. В области высоких частот ($3600\text{--}3000\text{ см}^{-1}$) находятся полосы, отвечающие валентным колебаниям групп, содержащих легкий атом водорода – O–H и N–H группы. Поэтому интенсивное поглощение в области $3446\text{--}3221\text{ см}^{-1}$ свидетельствует о присутствии O–H и N–H связей. Поглощение, вызванное валентными колебаниями C=O группы, проявляется при 1654 см^{-1} . При 1099 см^{-1} проявляется интенсивная полоса поглощения, связанная с участием C–O группы в скелетных колебаниях молекулы. Поглощение в области ниже 900 см^{-1} относится к деформационным колебаниям C–H и N–H групп: при 620 см^{-1} проявляются деформационные колебания связи C–H, характерной для ароматического кольца; при 868 см^{-1} деформационные колебания N–H группы [15].

ИК спектры выделенных фракций амарантового экстракта после колонки имеют следующие полосы поглощения (см^{-1}): 3421 о. ш. [ν_s (OH), ν (H₂O)], 1564–1652 ш. [ν (COO⁻), ν (C=C)], 1405 [ν , δ (C–OH)], 1325 [δ (CH)], 1062–1110 [ν , δ (C–O, C–N)], характерные для бетацианиновых пигментов. В ИК спектрах полосы поглощения выделенного образца и стандартного образца амарантина сходны, что свидетельствует о достаточной чистоте полученных пигментов. ИК спектр бетацианинового пигмента из столовой свеклы содержит аналогичные полосы поглощения (см^{-1}): 3421 [ν (OH)], 3200 [ν (NH)], 2926 [ν (CH)], 1109–1076 [ν (CO)], 1688–1619 [ν (C=O), ν (COO⁻)], 1410 [δ (CH)], 609 [δ (C–H)], характерные для бетацианиновых пигментов.

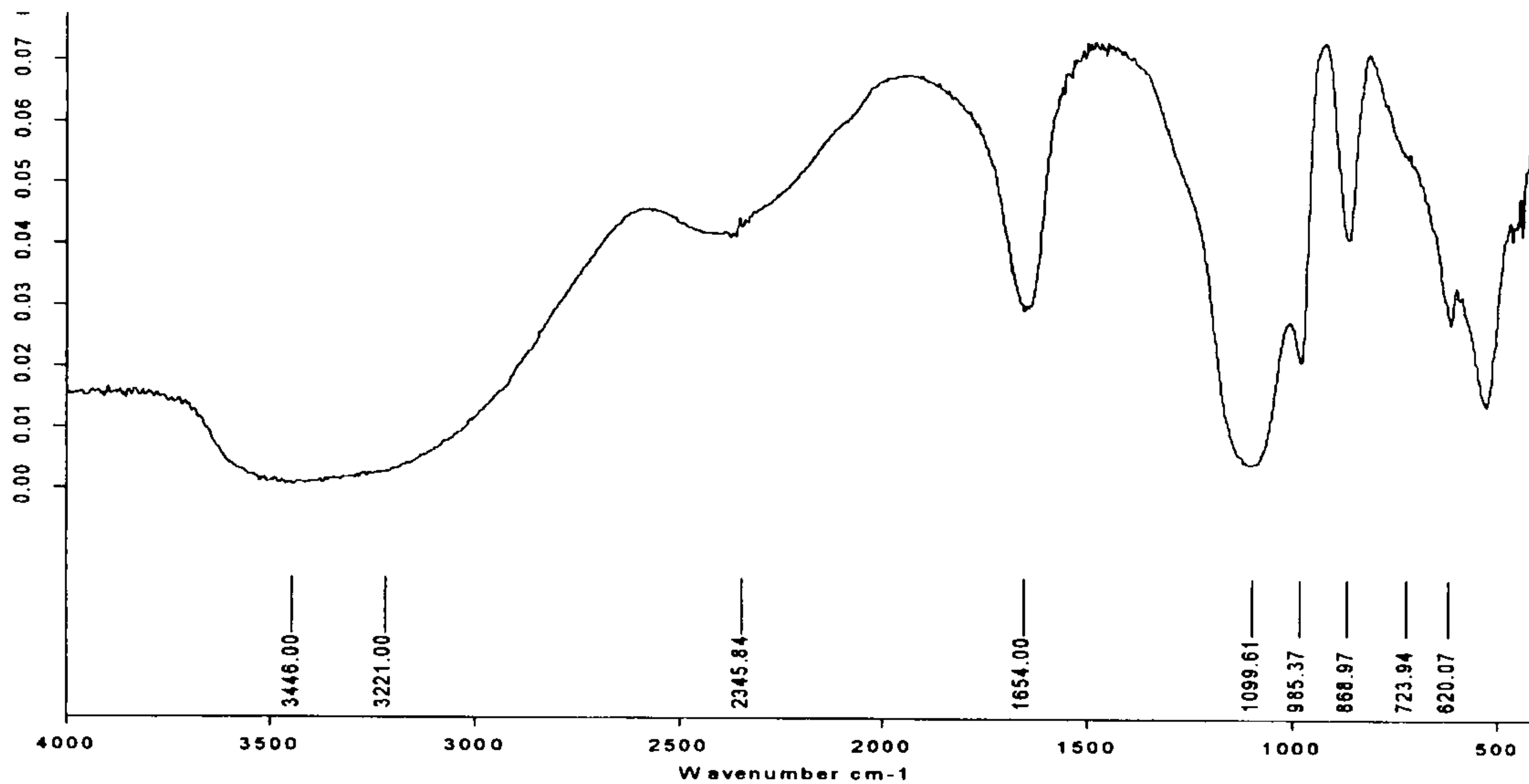


Рис. 14. ИК спектр очищенного амарантина (г. Москва)

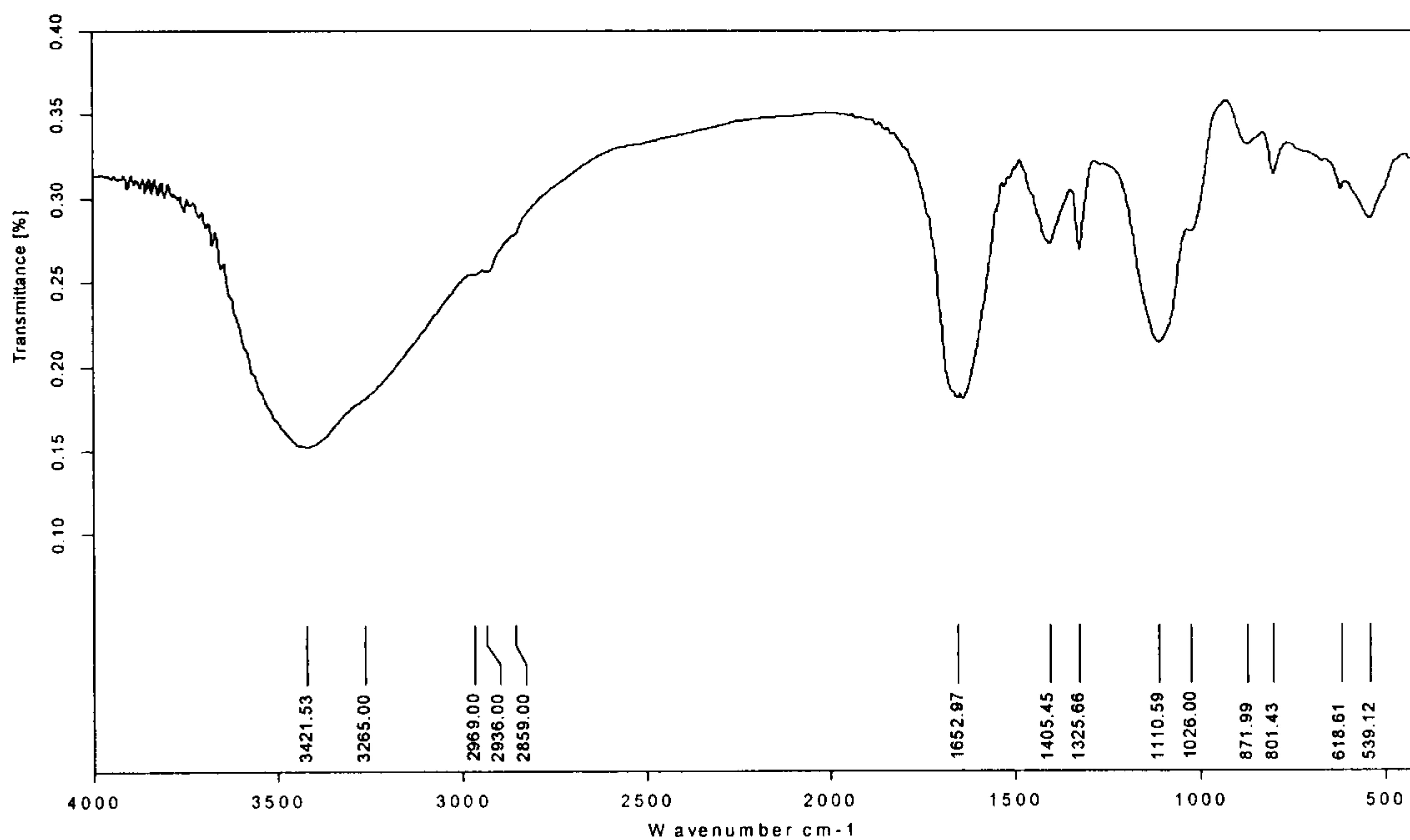


Рис. 15. ИК спектр амарантового пигмента, очищенного на колонке (сефадекс G-25)

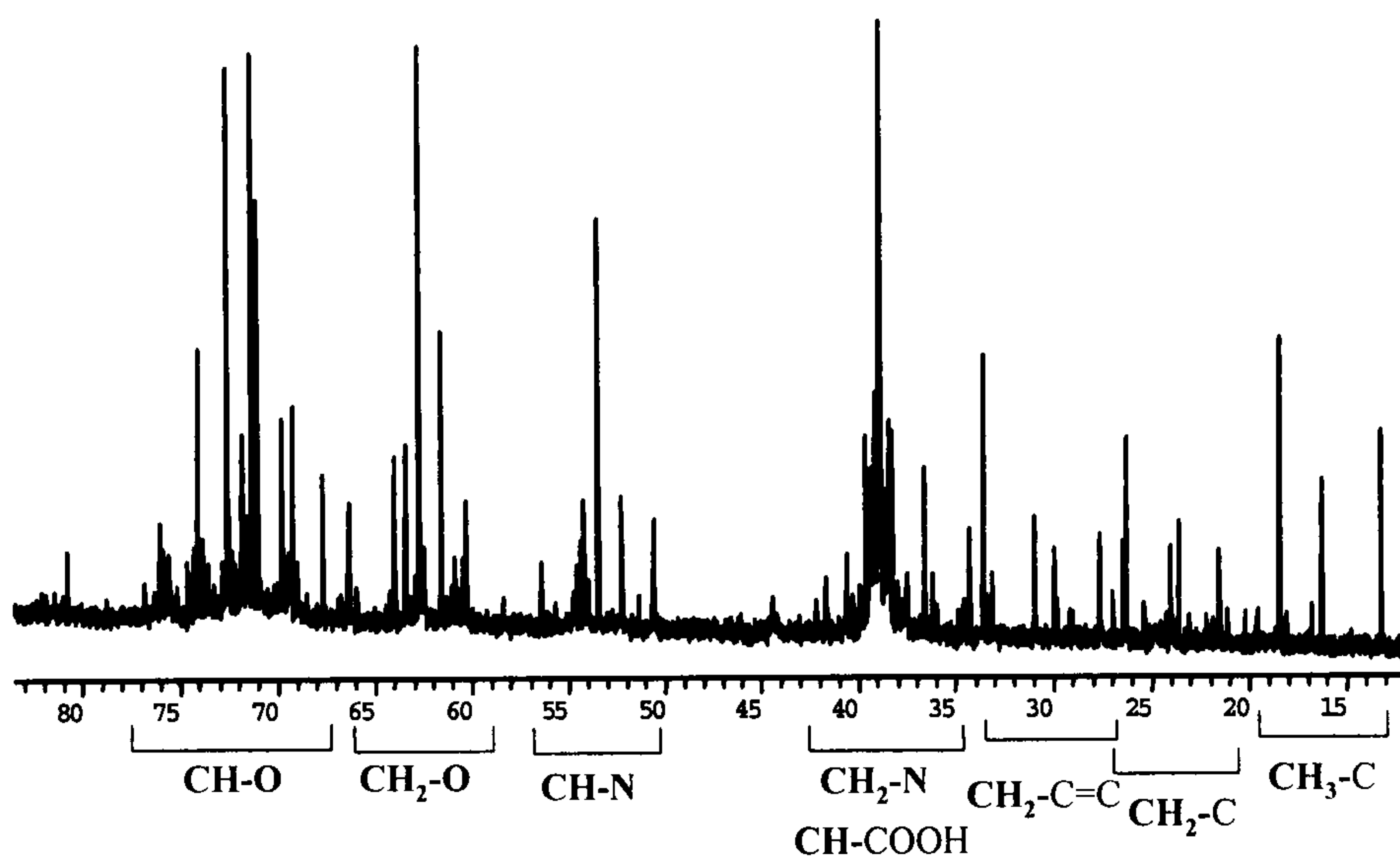


Рис. 16. Спектр ^{13}C ЯМР амарантина (высокопольная область)

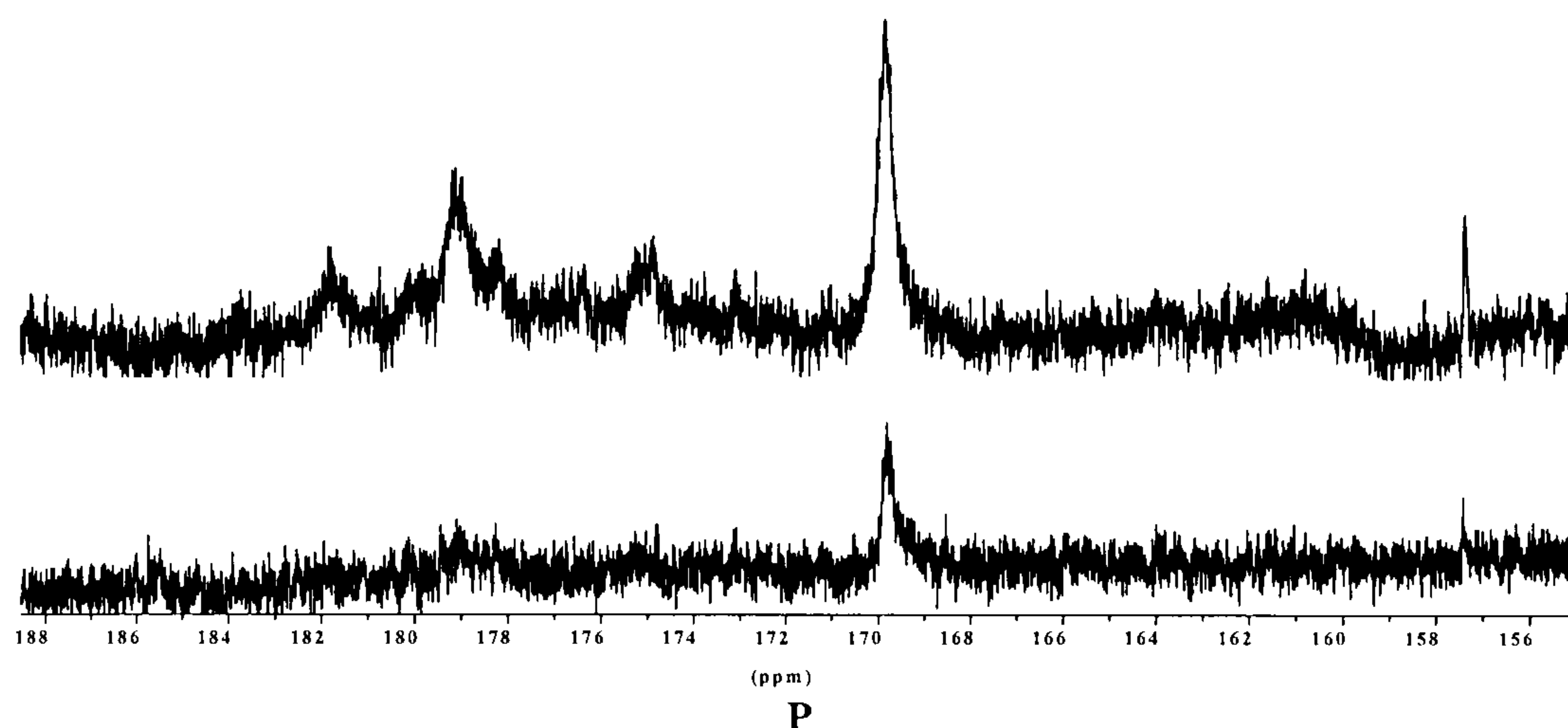


Рис. 17. Спектры ЯМР ^{13}C и $^{13}\text{C}\{-^1\text{H}\}$ амарантина (низкопольная область)

Более полную информацию о структуре молекул амарантина можно получить с привлечением спектроскопии ЯМР ^{13}C [24].

В спектре очищенного амарантина, полученного водной экстракцией, присутствуют сигналы следующих групп CH-O (66-76 м.д.), $\text{CH}_2\text{-O}$ (60-65 м.д.), CH-N (50-57 м.д.), $\text{CH}_2\text{-N}$ (34-42 м.д.), CH-COOH (34-42 м.д.), COOH (169.8, 178.8 м.д.), $\text{CH}_2\text{-C=C}$ (25-33 м.д.), C=C (м.д.), CH_2C (20-26 м.д.), CH_3C (13-20 м.д.). На рис. 16, 17, приведенных ниже, представлены фрагменты спектров ЯМР ^{13}C и ЯМР $^{13}\text{C}\{-^1\text{H}\}$ высокопольной (рис. 16) и низкопольной (рис. 17) областей спектра. В целом, спектральная картина соответствует основным фрагментам амарантина.

Заключение

Таким образом, выделены бетацианиновые пигменты из амаранта и столовой свеклы, проведен сравнительный анализ химической структуры и свойств пигментов из исследованных видов сырья. На основании полученных результатов можно рекомендовать использование растений *A. tricolor* сорта «Валентина», также как и столовой свеклы (*Beta vulgaris*) в качестве потенциального источника пищевого красителя, не токсичного для человеческого организма.

Выводы

1. Разработан способ выделения амарантина из растений *Amaranthus tricolor* сорта «Валентина».
2. Исследованы структурные особенности амарантина с использованием современных физико-химических методов исследования: ^{13}C ЯМР, ИК спектроскопия, масс-спектрометрия *MALDI TOF*.

Благодарности

Работа поддержана программой №5 ОХНМ РАН.

Литература

- [1] Jackman R.L., Smith J.I. Anthocyanins and betalains. Natural foodcolours. *Chapman, London*. 1996. P.244-309.
- [2] Kujala T.S., Vienola M.S., Klika K.D., Loponen J.M., Pihlaja K. Betalain and phenolic compositions of four beetroot (*Beta vulgaris*) cultivars. *Eur. Food Res. Technol.* 2002. Vol.214. P.505-510.

- [3] Кононков П.Ф., Гинс В.К., Гинс М.С. Амарант – перспективная культура 21 века. Изд. Российского ун-та дружбы народов. Издание второе. М. 1999. 296с.
- [4] Hempel J., Bohm H. Betaxanthin pattern of hairy roots from *Beta vulgaris var. lutea* and its alteration by feeding of amino acids. *Phytochem.* 1997. Vol.44. No.5. P.847-852.
- [5] Stuppner H., Egger R. Application of capillary zone electrophoresis to the analysis of betalains from *Beta vulgaris*. *J. Chromatogr. A.* 1996. Vol.735. No.1-2. P. 409-413.
- [6] Turker N., Coskuner Y., Ekiz H. I., Aksay S., Karababa E. The effects of fermentation on the thermostability of the yellow-orange pigments extracted from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). *Eur. Food Res. Technol.* 2001. Vol.212. No.2. P. 213-216.
- [7] Wybraniec S., Platzner I., Geresh S., Gottlieb H. E., Haimberg M., Mogilnitzki M., Mizrahi Y. Betacyanins from vine cactus *Hylocereus polyrhizus*. *Phytochem.* 2001. Vol.58. P.1209-1212.
- [8] Fernandez-Lopez J.A., Almela L. Application of high-performance liquid chromatography to the characterization of the betalain pigments in prickly pear fruits. *J. Chromatogr. A.* 2001. Vol.913. No.1-2. P.415-420.
- [9] Kobayashi N., Schmidt J., Nimtz M., Wray V., Schliemann W. Betalains from Christmas cactus. *Phytochem.* 2000. Vol. 54. No.4. P.419-426.
- [10] Гудвин Т., Мерсер Э. Введение в биохимию растений. Т. 1, Т. 2, С. 321. М.: "Мир". 1986. 392с.
- [11] Schliemann W., Joy R.W., Komamine A., Metzger J. W., Nimtz M., Wray V., Strack D. Betacyanins from plants and cell cultures of *Phytolacca Americana*. *Phytochem.* 1996. Vol.42. No.4. P.1039-1046.
- [12] Schliemann W., Cai Y., Degenkolb T., Schmidt J., Corke H. Betalains of *Celosia argentea*. *Phytochem.* 2001. Vol.58. P.159-165.
- [13] Mizrahi Y., Nerd A. Climbing and columnar cacti: new arid land fruit crops. In: Janick, J. Perspectives on New Crops and New Uses. American Society for Horticultural. *Sci. Press, Alexandria.* 1999. P.358-366.
- [14] Schliemann W., Cai Y., Degenkolb T., Schmidt J., Corke H. Betalains of *Celosia argentea*. *Phytochem.* 2001. Vol.58. P.159-165.
- [15] Mizrahi Y., Nerd A. Climbing and columnar cacti: new arid land fruit crops. In: Janick, J. Perspectives on New Crops and New Uses. American Society for Horticultural. *Sci. Press, Alexandria.* 1999. P.358-366.
- [16] Adams J.P., von Elbe J.H. Betanine separation quantification by chromatography on gels. *J. Food Sci.* 1977. Vol.42. P.410-414.
- [17] Досон Р., Элиот Д., Эллиот У., Джонс К. Справочник Биохимика. М.: Мир. 1991. 544с.
- [18] Казицына Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ-, ИК- и ЯМР спектроскопии в органической химии. М.: "Высшая школа". 1971. С. 214-263.
- [19] Stintzing F.C., Carle R. Betalains e emerging prospects for food scientists. *Trends in Food Science & Technology.* 2007. Vol.18. No.10. P.514-525.
- [20] Strack D., Vogt T., Schliemann W. Recent advances in betalain research. *Phytochemistry.* 2003. Vol. 62. No.3. P.247-269.
- [21] Stintzing F.C., Carle R. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends in Food Science & Technology.* 2004. Vol.15. No.1. P.19-38.
- [22] Скворцов Е.В., Выштакалюк А.Б., Соснина Н.А., Смоленцев А.В., Лапин А.А., Миронов В.Ф., Зобов В.В. Оценка питательной ценности растительного белкового концентрата, полученного из зеленой массы амаранта. *Butlerov Communications.* 2002. №7. (Code 2pc 144).
- [23] Cai Y.Z., Sun M., Corke H. Characterization and application of betalain pigments from plants of the *Amaranthaceae*. *Trends in Food Science & Technology.* 2005. Vol.16. №9. P.370-376.
- [24] Stintzing F.C., Conrad J., Klaiber I., Beifuss U., Carle R. Structural investigations on betacyanin pigments by LC NMR and 2D NMR spectroscopy. *Phytochemistry.* 2004. Vol.65. №4. P.415-422.