

Научная статья

УДК 453.424:664.1

DOI: 10.17586/2310-1164-2022-15-3-30-45

Влияние термообработки на оптические свойства мёдов

А.П. Нечипоренко^{1*}, О.С. Везо², У.Ю. Нечипоренко³, Л.В. Плотникова², П.И. Украинцева¹¹Университет ИТМО, Россия, Санкт-Петербург, *allanech2512@yandex.ru²Санкт-Петербургский государственный университет, Россия, Санкт-Петербург³Независимая лаборатория «ИНВИТРО СПб», Россия, Санкт-Петербург

Аннотация. Методами Фурье ИК спектроскопии и рефрактометрии исследованы серии жидких и в разной степени закристаллизованных поли- и монофлерных мёдов разного ботанического вида и районирования с целью выявления влияния условий термообработки на таутомерно-конформационные превращения глюко- и фруктопираноз. Изучали 22 исходных образца мёдов, подвергнутых термообработке при 40 и 90°C (водяная баня) и доведенных до кипения. Показана линейная зависимость содержания глюкозы и фруктозы в образцах термообработанных мёдов от показателя преломления и антибатно-экстремальный характер изменения их содержания от температуры обработки. Для мёдов, доведенных до кипения, отмечено повышение содержания фруктозы в жидких мёдах и снижение в закристаллизованных. Противоположный процесс в этих двух группах мёдов имел место для глюкозы. Исследование термообработанных мёдов методом Фурье- и ИК спектроскопии показало значительное изменение в оптических свойствах закристаллизованных образцов, обусловленное переходом в жидкое состояние, дезактивацией ферментов и конформационно-таутомерными превращениями α - и β -пиранозных форм глюкозы и фруктозы, что сближало фактуру их спектров со спектрами жидких образцов. Ввиду недостаточной изученности разнообразных и многофакторных свойств мёдов полученные данные могут иметь практическое значение в диетологии, педиатрии, гинекологии, гастроэнтерологии, кардиологии, хирургии, ожоговой терапии и других сферах медицины и фармакологии.

Ключевые слова: спектральный анализ; термообработка мёдов; глюко- и фруктопиранозы; свойства мёдов

Original article

The effect of heat treatment on the optical properties of honey

Alla P. Nechiporenko^{1*}, Olga S. Vezo², Ulyana Yu. Nechiporenko³, Ludmila V. Plotnikova², Polina I. Ukraintseva¹¹ITMO University, St. Petersburg, Russia, *allanech2512@yandex.ru²Sankt-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia³Independent laboratory INVITRO SPb, St. Petersburg, Russia

Abstract. A series of liquid and, to varying degrees, crystallized poly- and monoflora honey of different botanical species and zoning was studied by the methods of Fourier infrared spectroscopy and refractometry in order to identify the influence of heat treatment conditions on tautomeric conformational transformations of gluco- and fructopyranose. 22 samples of honey heat-treated at 40 and 90°C for 20 minutes in a water bath and boiled were studied. The data obtained showed a linear dependence of the glucose and fructose content in the samples of heat-treated honey on the refractive index and the anti-bath extreme nature of the change in their content from the processing temperature. For honey brought to a boil, there was an increase in the fructose content in liquid honey and a decrease in crystallized honey. The opposite process in these two groups of honey took place for glucose. Studies of heat-treated honey by Fourier IR spectroscopy allowed us to note a significant change in the optical properties of crystallized samples due to the transition to a liquid state, deactivation of enzymes, and conformation-tautomeric transformations of α - and β -pyranose forms of glucose and fructose, which brought the texture of their spectra closer to the spectra of liquid samples. Due to insufficient knowledge of the diverse and multifactorial properties of honey, the data obtained may be of practical importance in dietetics, pediatrics, gynecology, gastroenterology, cardiology, surgery, burn therapy and other fields of medicine and pharmacology.

Keywords: spectral analysis; heat treatment of honey; gluco- and fructopyranoses; honey properties

Введение

Известно, что мёд – удивительное и еще до конца не изученное творение рабочих пчелок. Великие труженицы, с современной точки зрения, используя комплекс физико-химических и собственных физиологических процессов, умеют с очень «научным подходом» превращать водный раствор сахаров из добытого нектара в бесценный дар природы, который помимо своих вкусовых и пищевых качеств

является многогранным лечебным средством [1, 2]. Хорошо сохранившиеся наскальные рисунки сборщика меда диких пчел периода позднего палеолита [3] являются свидетельством того, что человек употребляет мед уже не одно тысячелетие. Еще в глубокой древности народы всех культур использовали мед в народной медицине, а в настоящее время его лечебное действие научно обосновано. Мед применяют как профилактическое и лекарственное средство при лечении многих внутренних и наружных заболеваний, в лечебной косметологии, диетологии, он входит в состав многих фармакологических препаратов [4–8].

Кроме того, мед является «живым» растительно-животным продуктом, который меняет свой состав и свойства не только в процессе творения и созревания в сотах, но и при последующем хранении. Рано или поздно любой натуральный мед закристаллизовывается, засахаривается. На характер протекающих при этом процессов влияет целый комплекс факторов [1, 9]. Одним из многочисленных и существенно важных является температура, во многом определяющая скорость процесса кристаллизации, размер и форму образующихся кристаллов. Так, при температуре около 14°C кристаллизация идет быстрее, а кристаллы получаются мелкими. При более высокой – кристаллизация протекает медленнее, а кристаллы – крупнее. Считается, чтобы сохранить свойства засахаренных медов, их следует плавить на водяной бане при температуре не выше 40–45°C, чтобы уберечь ферменты, витамины и другие биологически важные вещества, разрушающиеся при более высоких температурах. Однако известно, что в древней Руси при изготовлении, например медовухи или сбитня, являвшихся в те времена не только приятными напитками, но и лечебным продуктом, мед кипятили и довольно длительное время с водой. Кроме того, в лечебно-профилактических целях иногда рекомендовали пить именно кипяченый мед. Очевидно, в этом видели определенный смысл, эмпирически опытным путем выявленный и осознанный в результате многовековой практики наших предков, еще не знавших тогда ничего о существовании ни глюкозы, ни фруктозы, и уж тем более задолго до начала промышленного производства пищевого сахара из тростника и сахарной свеклы.

Сегодня известно, что мед и кровь близки по химическому составу микроэлементов (К, Са, Mg, Mn, Cu, Mo, Co, Si, Fe, В, Cr и некоторые др.), жизненно важных как для пчел, так и для человека, которые входят в структуру ферментов и витаминов. Разрушаясь при нагревании и кипячении меда, ферменты и некоторые витамины высвобождают подвижные ионы металлов, которые активируют в организме человека действие многих биокатализаторов, обеспечивающих нормальную деятельность клеток, а также включаются в состав ферментов, регулирующих разнообразные биохимические процессы [10]. То есть, ряд полезных и целебных свойств при кипячении меда не только сохраняется, но и усиливается. Содержание же витаминов в меде незначительно, в разы, а то и на порядок ниже, чем в мясе, зерновых, бобовых, фруктах. Микроэлементный состав меда определяется его ботаническим видом и географическим происхождением. Однако, издавна наиболее полезным принято считать жидкий свежееоткаченный мед, независимо от его природы.

Согласно принятой классификации, все меда могут быть представлены двумя категориями – цветочный и падевый [1, 2, 9, 11]. Последний представляет собой мед, для производства которого пчелы при недостатке медоносов используют падь – сахаристые выделения на листьях, ветвях, стволах некоторых растений и деревьев (растительная падь) или сладкие выделения ряда насекомых, таких как тля, листоблошка и др., питающихся соком растений (падь животного происхождения). Цветочный мед принято подразделять на монофлерный и полифлерный. Монофлерный мед, в свою очередь, классифицируют по ботаническому виду медоносов – гречишный, каштановый, акациевый, липовый и т. д., в котором до 40–50% нектара получено с одного вида растений. Название полифлерный мед (разнотравье, цветочный) говорит само за себя – эта группа медов произведена в результате сбора нектара с растений разного вида. Для более точной идентификации данной группы медов часто используются названия медоносных угодий, где собран нектар – лесной, горный, луговой, степной, таежный и др.

Независимо от происхождения, мед по своей природе – углеводный продукт, основу которого (80–90%) составляют два моносахарида – глюкоза и фруктоза, а их соотношение определяет основные качества меда: сладость, питательную ценность, способность к кристаллизации, гигроскопичность. Сахароза, мальтоза, трегалоза и др. дисахариды присутствуют в существенно меньших количествах. Состав меда по моно- и дисахаридам значительно колеблется на различных стадиях его созревания

и стабилизации в процессе хранения. Следует иметь в виду, что химический состав меда, в том числе и по процентному соотношению глюкозы и фруктозы, непостоянен и зависит от множества факторов, влияющих на его пищевую, лечебно-профилактическую и биологическую ценность. К ним относятся ботанический вид медоносных растений, с которых собран нектар, географический регион и состав почвы, на которой они произрастают; погодные и климатические условия, время сбора (весенний, летний, осенний); содержание, уход, физиологическое состояние и порода пчел, а также влажность [12–15]. Уникальные биохимические свойства меда обусловлены не только доминирующими в его составе моносахаридами, но и многообразием гармонично сочетающихся между собой таких активных компонентов, как ферменты, витамины, amino-, жирные, насыщенные и полиненасыщенные кислоты, флаваноиды, минеральные вещества и др.

Однако анализ научной литературы показывает – несмотря на то, что мед является мощным биоактивным комплексом, благотворное влияние которого на организм человека бесспорно, он остается недостаточно изученным и понятным природным продуктом [16–18]. Подавляющее число публикаций находится в сфере изучения качества медов разного вида, географии и способам его фальсификации. Научно обоснованное расширение спектра применения меда в медицинских и фармацевтических отраслях предполагает дальнейшее изучение его химического состава, физико-химических, биохимических, терапевтических свойств, конформационных и таутомерных преобразований углеводов в его составе под влиянием внешних и внутренних факторов с привлечением и расширением арсенала новых современных методов.

Основная сложность в более глубоком изучении медов, даже при оснащении самым современным оборудованием, обусловлена необычайно высоким вещественным разнообразием его компонентов (400–500 согласно разным авторам) и их комплексов, которые находятся в постоянном преобразовании. В последние годы при исследовании медов разного ботанического вида и географического происхождения, а также с целью выявления возможности определения разных способов их фальсификации, все шире используются оптические методы [19, 20]. Особое внимание уделяется методам Рамановской, Фурье-ИК- и ЯМР-спектроскопии с применением метода деконволюции [21–25]. Однако отмечается недостаточность информации и значительное разночтение в интерпретации природы полос, обусловленных конформационно-таутомерными преобразованиями глюкозы и фруктозы, присутствующих в медах в варьируемых соотношениях их α - и β -пиранозных форм, которые обладают разными оптическими и биохимическими свойствами. Это важно для более целенаправленного использования медов в медицинской и фармакологической практике. Можно отметить, что сегодня в фармацевтике находят применение все виды медов, но предпочтительно полифлерные.

Цель работы – комплексное исследование методами Фурье-ИК-спектроскопии и рефрактометрии влияния условий термической обработки на оптические свойства и состав пиранозных форм глюкозы и фруктозы в жидких и закристаллизованных поли- и монофлерных медах разного ботанического вида и географического происхождения.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись 22 образца поли- и монофлерных медов (таблица 1) разного ботанического вида, районирования и консистенции (жидкие и разной степени закристаллизованности). Меды приобретались на пасеках (Оренбургская и Ленинградская области, Абхазия), в специализированных магазинах «Медовый дом», «Пчеловодство», Союза пасечников. Исследование влияния условий термообработки на оптические свойства всех видов выбранных медов проводилось после нагревания в течение 20 мин при 40 и 90°C (водяная баня) и доведение до кипения с последующим охлаждением.

Колебательные спектры (32 скана) образцов исходных медов и прошедших термообработку, получали на Фурье-спектрометре Tensor 37 (Bruker, Германия) с алмазным НПВО элементом в диапазоне волновых чисел 4000–600 см⁻¹. Рефрактометрические показатели образцов медов (показатель преломления – n_D ; содержание инвертированных сахаров, %; влажность, %) снимали на цифровом рефрактометре Abbemat WR/MW (Австрия) при длине волны 589,3 нм («Центр диагностики функциональных материалов для медицины, фармакологии и наноэлектроники» Научного парка СПбГУ, Санкт-Петербург).

Таблица 1. Рефрактометрические и расчетные показатели медов
 Table 1. Refractometric and estimate characteristics of honey samples

№ образца	Мед	n_D , 589,3 нм	Инверт. сахара, %	Глюкоза, % (расч)	Фруктоза, % (расч)	Влажность (%)	Географическое происхождение, консистенция
Монофлерные мёды							
1	акации	1,49507	83,89	33,23	50,60	16,58	Краснодар, 2021, ж
2	акации белой	1,49686	84,61	31,09	53,52	15,87	Краснодар, 2021, ж
3	гречишный	1,49734	84,77	30,63	54,28	15,73	Алтай, 2021, кр.
4	гречишный	1,49127	82,34	37,65	44,67	18,07	Орлов. обл. 2021, кр
5	дерна белого	1,48945	81,50	39,10	41,80	18,80	Ростов. обл. 2021, ж
6	каштановый	1,49565	84,12	32,51	51,60	16,35	Краснодар, 2021, ж
7	каштановый	1,49390	83,41	34,57	48,83	17,04	Краснодар, 2020, ж
8	лавандовый-1	1,49158	82,47	37,29	45,16	17,95	Крым, 2020, кр
9	лавандовый-2	1,49914	85,54	28,40	54,19	14,89	Крым, 2021, мазеобр.
10	липовый	1,49443	83,63	33,94	49,67	16,83	Краснодар, 2021, ж
11	фацелии	1,49691	84,63	31,60	53,60	15,80	Ростов. обл. 2021, кр
12	хлопковый	1,4930	83,00	36,20	47,30	18,80	Киргизия, кр
13	шалфейный	1,49098	82,21	38,00	44,21	18,19	Воронеж, 2020, ж
14	шалфейный	1,49135	82,37	37,56	44,79	18,04	Белгород, 2021, ж
15	эвкалиптовый	1,48795	80,98	41,55	39,41	19,39	Абхазия, 2020, кр.
16	эспарцетовый	1,49253	82,85	36,17	46,48	17,57	Алтай, 2021, кр
Полифлерные мёды							
17	лесной	1,49665	84,53	31,34	53,18	15,96	Мин. воды, 2021, ж
18	луговой	1,48802	81,00	41,47	39,52	19,37	Белгород, 2021, кр.
19	майский	1,49000	82,40	39,15	42,66	18,58	Краснодар, 2021, ж
20	подсолнеч.+ тр.	1,49102	82,24	37,95	44,27	18,17	Краснодар, 2021, кр.
21	разнотравье	1,49740	84,83	30,46	54,37	15,66	Оренбург, 2021, ж
22	разнотравье	1,49580	84,18	32,34	51,84	16,29	Ленингр. обл. 2021, ж

Содержание глюкозы и фруктозы (%) в выборке образцов медов оценивали по их показателю преломления (n_D), согласно расчетным уравнениям [26, 27]:

$$m_{\text{гл.}} (\text{б/х, \% масс}) = 1788,659 - 1174,17 \cdot n_D$$

$$m_{\text{фр}} (\text{\% масс}) = -2316,11 + 1583,065 \cdot n_D$$

Результаты и их обсуждение

В таблице 1 сведены данные по рефрактометрическим показателям – показатель преломления (n_D , $\lambda = 589,3$ нм), массовая доля инвертированных сахаров (%), влажность (%) выборки образцов поли- и монофлерных медов разного ботанического вида, географического происхождения, консистенции и времени сбора. Представление полученных данных в графическом виде (рисунок 1) традиционно показало линейные зависимости между показателем преломления и курируемыми параметрами медов. Увеличению значения показателя преломления меда отвечало увеличение суммарного содержания инвертированных сахаров и фруктозы, снижение влажности и содержания в нем глюкозы, которая более гигроскопична, чем фруктоза. С увеличением содержания фруктозы (рисунок 1б), которая по данным авторов [24], является более мобильным компонентом в конформационно-таутомерных превращениях, определяя свойства меда, содержание глюкозы снижается.

На рисунке 2 приведен общий вид ИК-спектров, типичный для всех категорий поли- и монофлерных медов разного ботанического вида и географического происхождения, жидких и разной степени закристаллизованности 2020 и 2021 годов сбора. Наиболее информативным при исследовании медов методом ИКС НПВО является диапазон $1500-750$ см^{-1} . В связи с этим в дальнейшем при анализе рассматривались помеченные фрагменты спектров этого диапазона: I – $1175-950$ см^{-1} , II – $1500-1175$ см^{-1} , III – $950-750$ см^{-1} . Уже общий рисунок выделенных фрагментов говорит о том, что исследуемые образцы медов заметно и неоднозначно отличаются друг от друга.

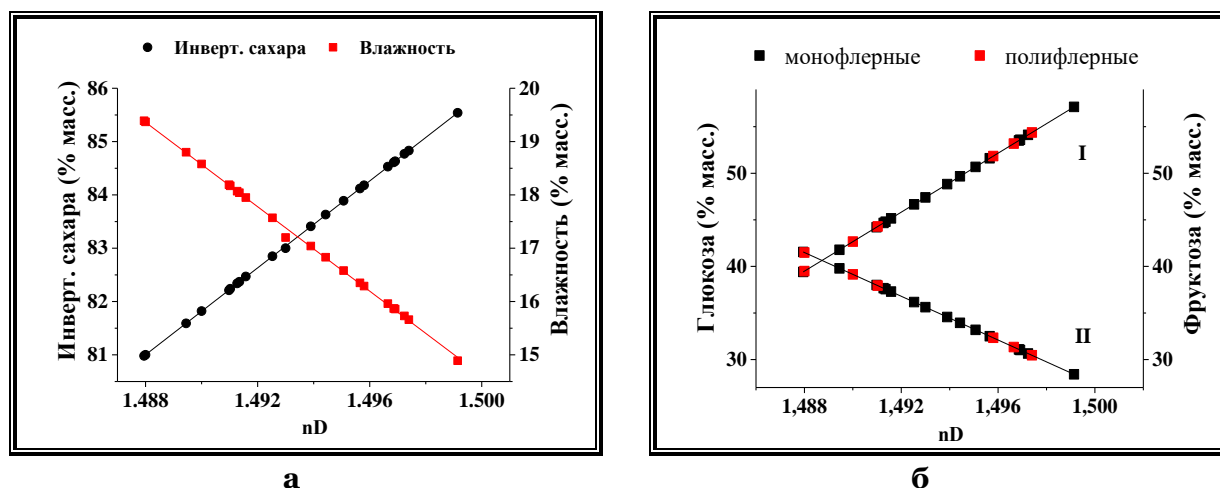


Рисунок 1. Зависимости содержания: а – инвертированных сахаров и влаги; б – фруктозы (I) и глюкозы (II) в моно- и полифлерных мёдах от показателя преломления

Figure 1. Content dependencies: а – inverted sugars and moisture; б – fructose (I) and glucose (II) in mono- and polyfloral honey from the refractive index

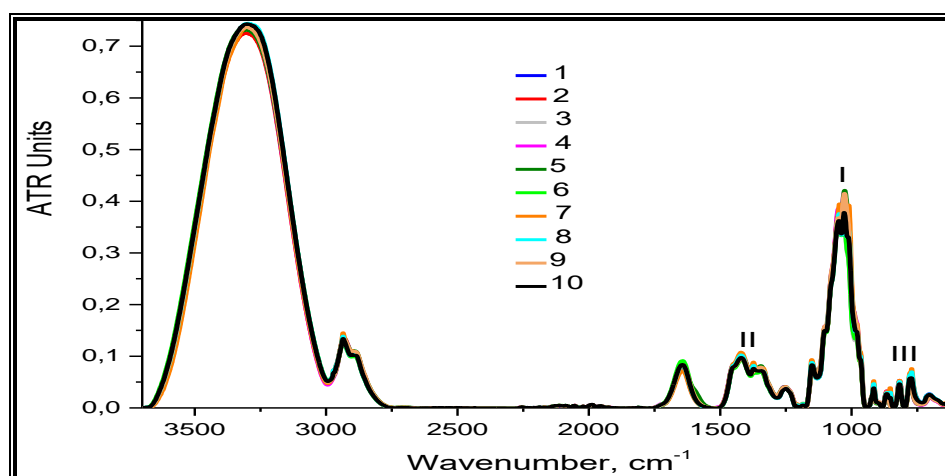


Рисунок 2. Общий вид ИК спектров мёдов: 1 – луговой, 2 – лесной, 3 – подсолнечник+травы, 4 – акация белая, 5 – каштановый, 6 – липовый, 7 – гречишный (Алтай), 8 – гречишный (Орел), 9 – шалфейный, 10 – эспарцетовый
 Figure 2. General view of the IR spectra of honey: 1 – meadow, 2 – forest, 3 – sunflower + herbs, 4 – white acacia, 5 – chestnut, 6 – lime, 7 – buckwheat (Altai), 8 – buckwheat (Eagle), 9 – sage, 10 – esparcet

Рисунок 3 представляет три фрагмента спектров выборки девяти жидких мёдов 2021 г. сбора. Выделение жидких мёдов из общего ассортимента, независимо от ботанического вида, принадлежности к категории моно- или полифлерной продукции, позволило отметить ряд их общих особенностей.

Помимо близости фактуры спектров для всех выделенных фрагментов, следует обратить внимание на максимум 1028cm^{-1} (рисунок 3а), полосу 1344 и мало интенсивную уширенную полосу $1188\text{--}1185\text{cm}^{-1}$ (рисунок 3б). Особого внимания заслуживают фрагменты спектров на рисунке 3в, на которых присутствуют четыре одиночные средней интенсивности полосы ($866, 817, 777, 715\text{--}703\text{cm}^{-1}$), обусловленные колебаниями пиранозных форм фруктозы [26], и дублет $918/898\text{--}895\text{cm}^{-1}$, сформированный как фруктопиранозами, так и глюкопиранозами, колебания С-С-связей пиранозных колец которых очень близки и полосы практически накладываются друг на друга с небольшим сдвигом в $2\text{--}3\text{cm}^{-1}$. Полученные данные позволяют предположить, что в составе жидких мёдов, независимо от их ботанического вида и категории, преобладают растворимые пиранозные формы обоих моносахаридов – α -фруктопиранозы и β -глюкопиранозы, близкие по своим оптическим показателям.

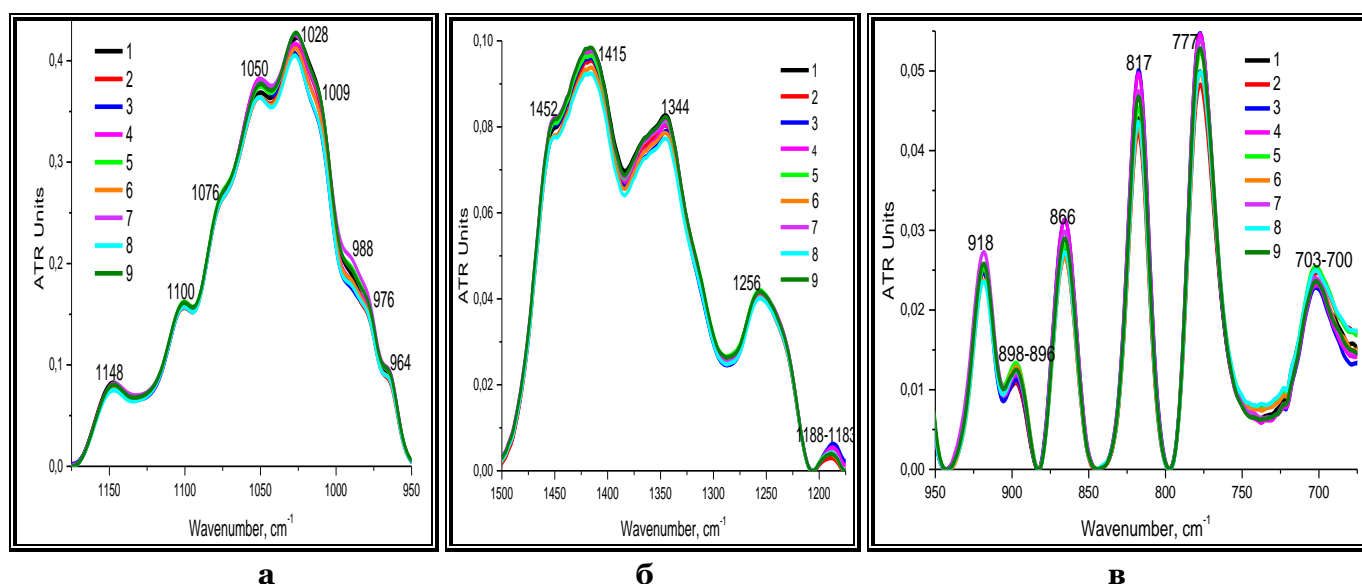


Рисунок 3. Фрагменты спектров жидких мёдов: 1 – каштановый, 2 – каштан нежный, 3 – акации белой, 4 – акация, 5 – липовый, 6 – шалфейный, 7 – лесной, 8 – майское разнотравье, 9 – разнотравье (Ленинградская обл.); а – 1175–950, б – 1500–1175, в – 950–650 см⁻¹

Figure 3. Fragments of liquid honey spectra: 1 – chestnut, 2 – tender chestnut, 3 – white acacia, 4 – acacia, 5 – lime, 6 – sage, 7 – forest, 8 – May raznotravye (Krasnodar), 9 – raznotravye (Leningrad region); а – 1175–950, б – 1500–1175, в – 950–650 cm⁻¹

С целью рассмотрения более широкого ассортимента образцов спектральные свойства мёдов разной степени закристаллизованности представлены двумя группами:

- достаточно экзотическими монофлерными (рисунок 4а, группа I)
- смешанной группой наиболее известной и широко используемой моно- и полифлерной продукции (рисунок 4б, группа II).

ИК спектры, приведенные на обоих фрагментах (а и б) рисунка, показывают не только существенное отличие от спектров жидких мёдов (рисунок 3), но и заметную разницу между спектрами мёдов двух тестируемых групп во всем рассматриваемом диапазоне длин волн. Эта разница обусловлена появлением в мёдах при кристаллизации и проявлением в их спектрах нерастворимой α-пиранозной формы глюкозы [26].

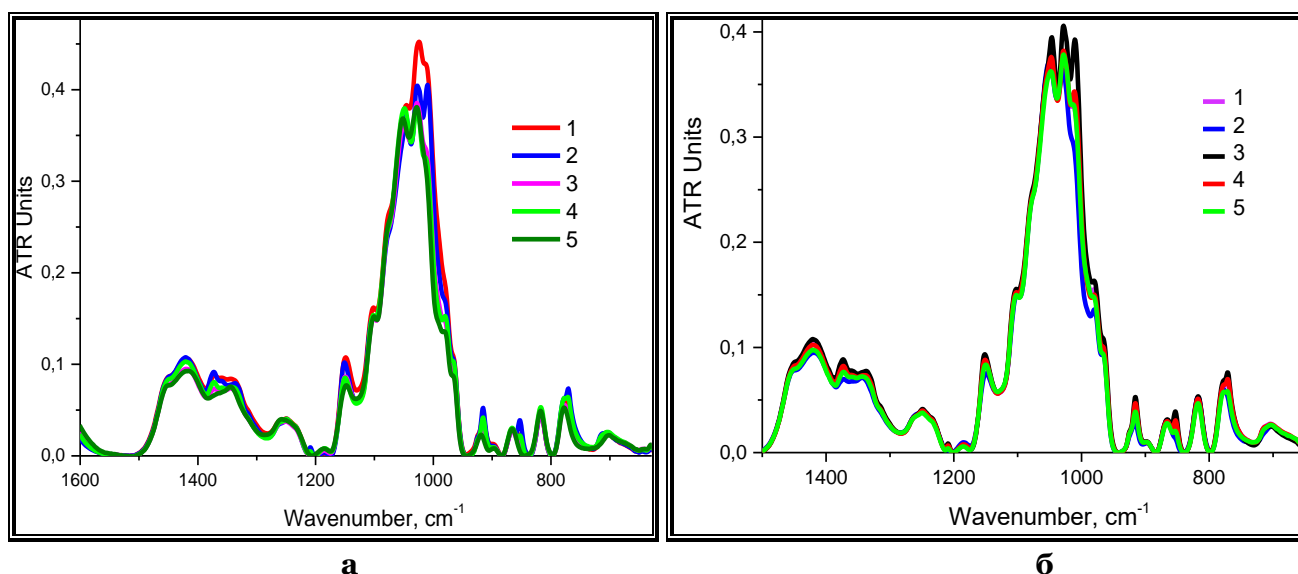


Рисунок 4. ИК спектры закристаллизованных мёдов: группа I (а): 1 – эвкалиптовый, 2 – лавандовый, 3 – лавандовый-2, 4 – хлопковый, 5 – дерна белого; группа II (б): 1 – луговой, 2 – подсолнечник + луговые травы, 3 – гречишный (Алтай), 4 – гречишный (Орел), 5 – эспарцетовый

Figure 4. IR spectra of crystallized honey: group I (а): 1 – eucalyptus, 2 – lavender, 3 – lavender-2 (ointment-like), 4 – cotton, 5 – white turf; group II (б): 1 – meadow, 2 – sunflower + meadow grasses, 3 – buckwheat (Altai), 4 – buckwheat (Eagle), 5 – esparcet

Более детальную информацию позволяет получить (рисунок 5 и 6) раздельное рассмотрение фрагментов спектров, приведенных на рисунке 4. Присутствие α -глюкопиранозы в закристаллизованных медах проявляется, в первую очередь, формированием максимума при 1009 см^{-1} (рисунок 5а), ростом его интенсивности и степени дифференциации с увеличением содержания глюкозы.

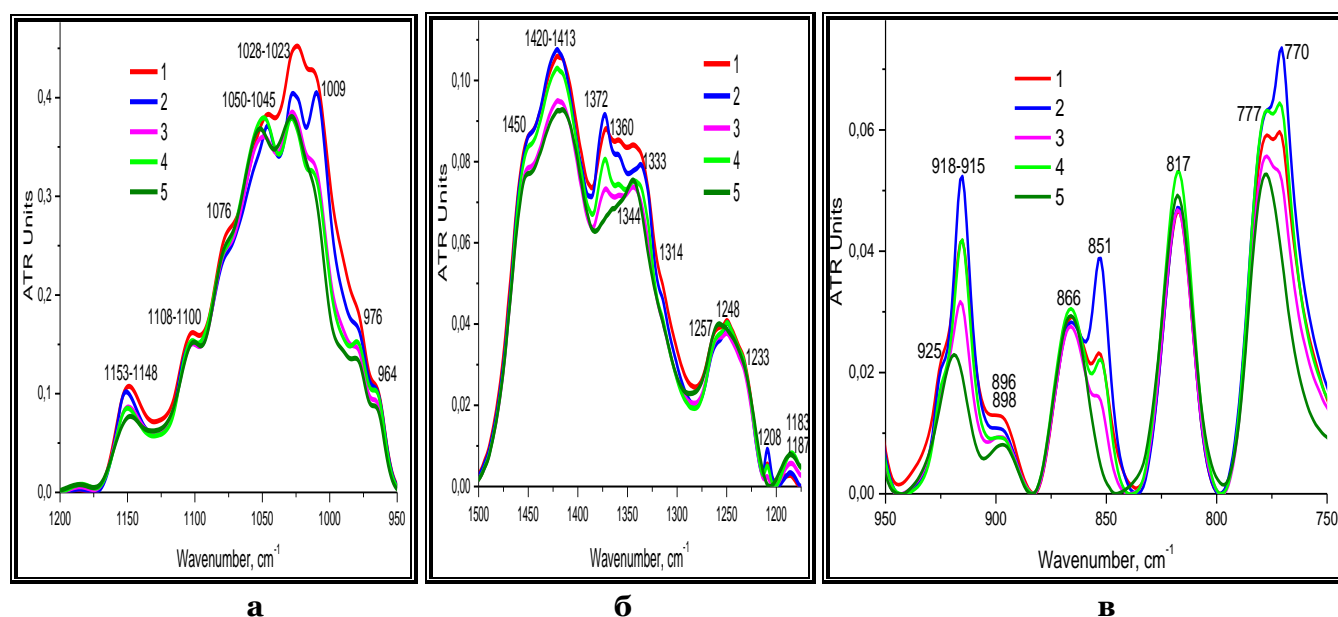


Рисунок 5. Фрагменты ИК спектров закристаллизованных монофлерных медов группы I: 1 – эвкалиптовый, 2 – лавандовый-1, 3 – лавандовый-2 (мазеобразный), 4 – хлопковый, 5 – дерна белого; (а) $1200\text{--}950\text{ см}^{-1}$; (б) $1500\text{--}11750\text{ см}^{-1}$; (в) $950\text{--}600\text{ см}^{-1}$

Figure 5. Fragments of IR spectra of crystallized monoflora honey of group I: 1 – eucalyptus, 2 – lavender-1, 3 – lavender-2 (ointment-like), 4 – cotton, 5 – white turf; (a) $1200\text{--}950\text{ см}^{-1}$; (б) $1500\text{--}11750\text{ см}^{-1}$; (в) $950\text{--}600\text{ см}^{-1}$

В спектрах жидких медов (рисунок 3а) ее можно наблюдать в этом месте в виде выпуклости на правой ветви глобального максимума 1028 см^{-1} , общего для обоих моносахаридов. Наличие полос (рисунок 5б) при 1372 (ОН-группы) и 1208 см^{-1} (СН₂-спиртовых групп) обусловлено также α -пиранозной формой глюкозы. Данные полосы отсутствуют в спектрах жидких медов (рисунок 3б).

Еще более наглядно это проявляется в формировании глюкозой и фруктозой двух дублетов, в которых α -глюкопиранозе принадлежат полосы 851 и 770 см^{-1} , а полосы 866 и 777 см^{-1} – фруктопиранозе. Анализ этих дублетов наилучшим образом позволяет проследить характер их изменения при переходе от спектра меда 5 (дерн белый) к спектру меда 2 (лавандовый-1) через спектры медов 1, 3, 4 (эвкалиптовый, лавандовый-2, хлопковый), которые можно отнести к переходным с близким содержанием обоих моносахаридов. Соотношение этих максимумов изменяется в соответствии с соотношением моносахаридов в составе меда. На увеличение содержания глюкозы в рассматриваемых медах указывает и незначительный сдвиг в область более низких частот (915 см^{-1}) максимума в первом дублете (рисунок 5в), в состав которого, накладываясь друг на друга, входят колебания пиранозных форм обоих сахаров: фруктоза – 918 и 896 , глюкоза – 915 и 898 см^{-1} .

Спектры второй группы закристаллизованных медов не менее ярко отражают ту же самую картину. В данном случае (рисунок 6а) помимо глюкопиранозной полосы 1009 см^{-1} четче проявлены полоса фруктопиранозы 1050 см^{-1} , которая с увеличением содержания глюкозы смещается в положение 1045 см^{-1} , и полоса 1028 см^{-1} , общая для пираноз обоих моносахаридов. Следует отметить, что полосы 976 и 964 см^{-1} , обусловленные фруктозой, присутствуют в спектрах всех медов, как жидких, так и закристаллизованных. А полоса 988 см^{-1} , присутствующая в виде плеча на правой ветви глобального максимума, только в спектрах жидких медов (рисунок 3а), очевидно принадлежит β -пиранозной форме глюкозы. Рисунок 6б интересен тем, что дает возможность идентифицировать и проследить рост полосы 1360 см^{-1} , обусловленную колебаниями ОН-групп β -глюкопиранозой, с увеличением ее содержания в меде. Данная полоса, но менее выражено, наблюдается и в спектрах жидких медов (рисунок 3б). Рисунок 6в

однозначно воспроизводит форму спектров, характерную для области 950–600 см⁻¹ всех в той или иной степени закристаллизованных мёдов, независимо от их ботанического вида.

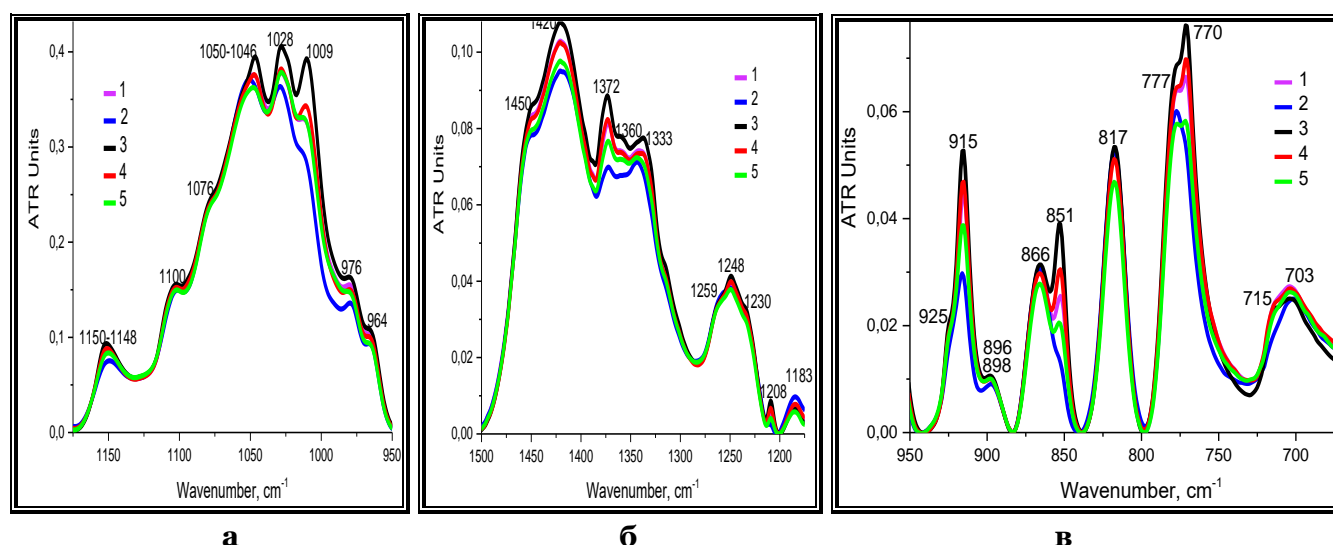


Рисунок 6 – Фрагменты ИК спектров закристаллизованных мёдов группы II: 1 – луговой, 2 – подсолнечник+луговые травы, 3 – гречишный (Алтай), 4 – гречишный (Орел), 5 – эспарцетовый; (а) 1200–950 см⁻¹; (б) 1500–11750 см⁻¹; (в) 950–600 см⁻¹

Figure 6. Fragments of IR spectra of crystallized honey of group II: 1 – lugovaya, 2 – sunflower + meadow grasses, 3 – buckwheat (Altai), 4 – buckwheat (Eagle), 5 – esparcet; (a) 1200–950 cm⁻¹; (б) 1500–11750 cm⁻¹; (в) 950–600 cm⁻¹

Очевидный интерес представляло исследование мёдов разной категории, прогретых на водяной бане при 40°C (по описанным выше причинам) и 90°C (таблица 2), поскольку в ряде методов по анализу мёдов, в порядке процедуры пробоподготовки, мёды и их растворы прогревают в течение определенного времени при 80–90°C на водяной бане или в термостате*. Исследование влияния термообработки на оптические свойства проведено на выборке из 6 образцов моно- и полифлерных мёдов разной консистенции.

В таблице 2 представлены результаты рефрактометрического анализа мёдов, термообработанных при разных условиях, на суммарное содержание инвертированных сахаров. Полученные данные говорят о том, что один и тот же режим термообработки по-разному отражается на свойствах разных образцов. Это связано с разнообразием состава нектара медоносов по моно- и дисахаридам, произрастающих на почвах разных по климатическим и погодным условиям регионов, варьированием в них содержания ферментов, микроэлементов и других сопутствующих веществ, по-разному оказывающих влияние на характер процессов, обуславливающих изменения свойств во времени и в зависимости от условий хранения, в том числе температурных.

Таблица 2. Рефрактометрические показатели термообработанных мёдов

Table 2. Refractometric characteristics of heat-treated honey samples

№ образца	Мед, географическое происхождение, консистенция	40°C		90°C		100°C	
		nD, 589,3 нм	инверт. сахара, %	nD, 589,3 нм	инверт. сахара, %	nD, 589,3 нм	инверт. сахара, %
1	акация белая, Краснодар, ж	1,4994	85,6	1,4948	83,62	1,5018	85,29
2	лесной, Минеральные воды, кр	1,5016	86,49	1,4994	85,66	1,5008	86,23
3	луговой, Белгород, кр	1,5083	89,23	1,5073	88,82	1,5056	88,16
4	липовый, Башкирия, ж	1,4981	85,13	1,4955	84,04	1,4984	83,24
5	каштановый, Краснодар, ж	1,4947	83,43	1,4942	83,51	1,4989	84,43
6	гречишный, Алтай, кр.	1,5113	90,43	1,5096	90,43	1,5063	88,41

*ГОСТ 32167-2013. Мёд. Методы определения сахаров. М.: Стандартинформ

Рисунок 7а представляет результаты рефрактометрического анализа исходных (20°C) и доведенных до кипения (100°C) медов на содержание в них фруктозы и глюкозы, из которого видно, что кипячение приводит к резкому повышению показателя преломления, что сопровождается увеличением содержания фруктозы и снижением глюкозы. Однако, как показывают зависимости на рисунке 7б, промежуточные температуры (40 и 90°C) прогрева медов не приводят к закономерному расположению точек в центре двух крайних регионов, а разбросаны достаточно хаотично на обеих представленных зависимостях. Это говорит о неоднозначном влиянии одного и того же режима термообработки на образцы меда разной природы и консистенции, что согласуется и с данными по изменению суммы инвертированных сахаров (рисунок 7в).

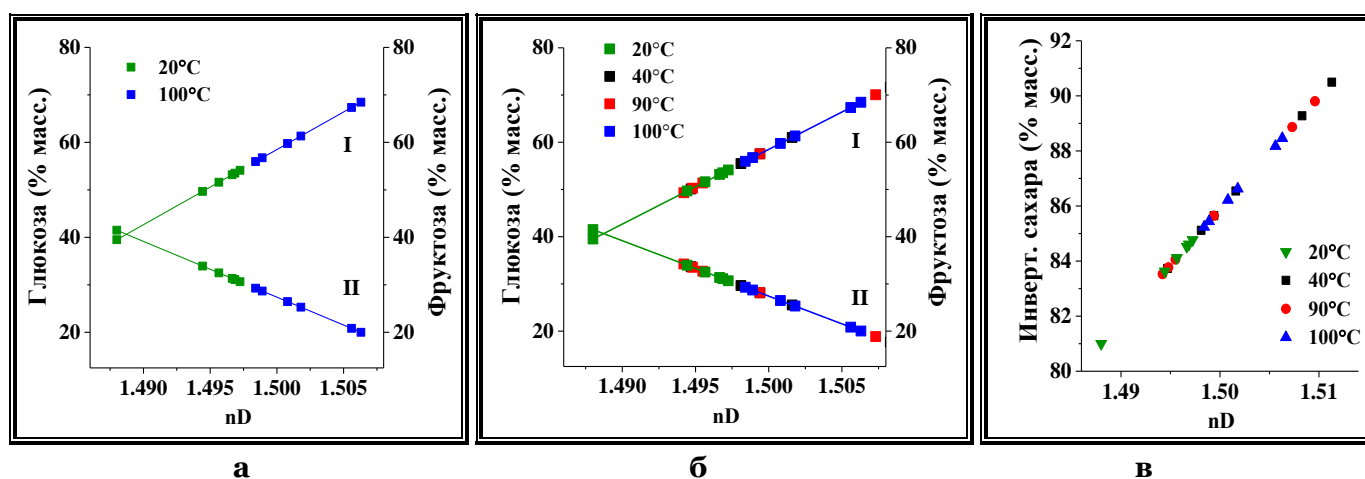


Рисунок 7. Зависимости содержания в медах: (а и б) фруктозы (I) и глюкозы (II); (в) инвертированных сахаров от показателя преломления и температуры обработки

Figure 7. Dependences of the content: (a and б) of fructose (I) and glucose (II) in honey; (в) inverted sugars on the refractive index and processing temperature

Построение зависимостей изменения содержания фруктозы (рисунок 8а) и глюкозы (рисунок 8б) от режима термообработки медов позволило наблюдать их антибатно-экстремальный характер. Увеличение содержания фруктозы и снижение глюкозы в результате прогрева медов при 40°C можно объяснить повышением активности ферментов, которая как известно [25, 26], возрастает в несколько раз с повышением температуры на 10°C. В меде присутствует большое количество разнообразных ферментов, выделяемых слюнными железами рабочих пчел при переработке нектара. Однако основными являются три – инвертаза, глюкозооксидаза и диастаза [30, 31]. Инвертаза катализирует расщепление сахарозы на глюкозу и фруктозу, диастаза способствует превращению крахмала в декстрин и далее по ферментативной цепочке в мальтозу и глюкозу. Реакция окисления глюкозы в глюконовую кислоту, катализируемая глюкооксидазой, сопровождается образованием перекиси водорода, которая защищает продукт крылатых фармацевтов от большинства бактерий, плесеней, дрожжей и других микробов [32].

Но глюкооксидаза является высокоспецифичным ферментом для β -глюкопиранозы, поэтому для полноты реакции требуется предварительная мутаротация ее α -формы в β -форму. Очевидно, совокупность этих процессов и проявляется в снижении содержания глюкозы при нагревании. Увеличение содержания фруктозы при этом, коррелирующее с увеличением суммарного содержания инвертированных сахаров (рисунок 8в) и, возможно, связанное с расщеплением сахарозы, является подтверждением выводов, сделанных авторами [24] о том, что именно фруктоза определяет свойства медов. Однако при температурах выше 50–60°C ферменты, имеющие белковую природу, дезактивируются и начинают доминировать процессы, обусловленные, как минимум, конформационно-таутомерными превращениями обоих моносахаридов.

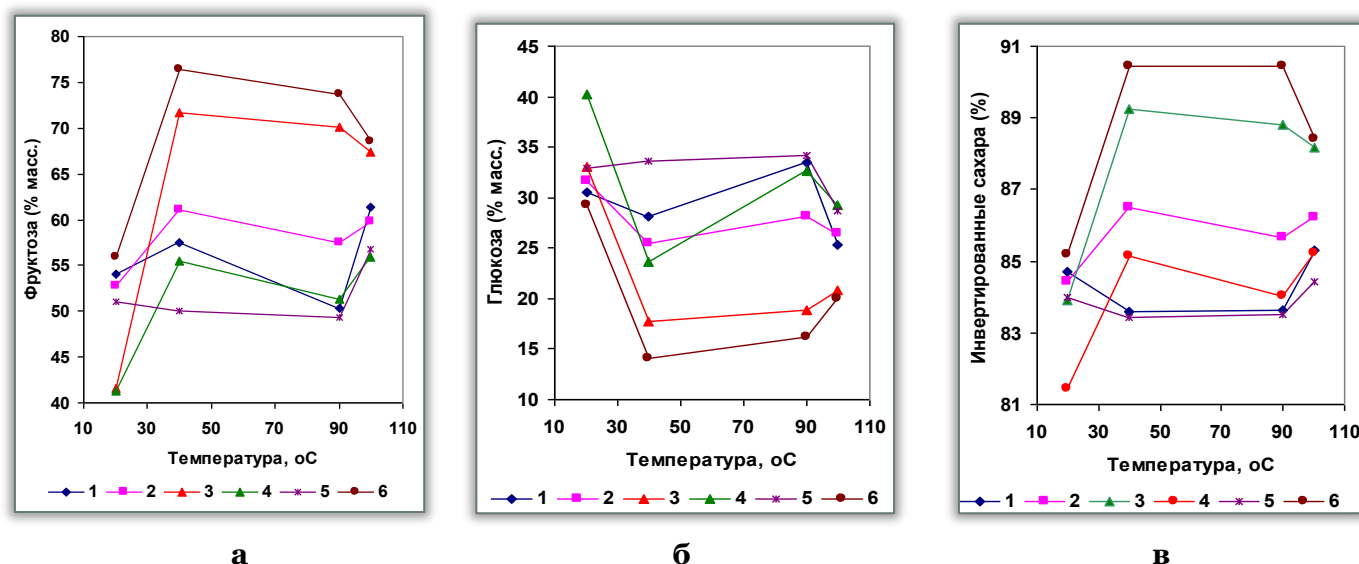


Рисунок 8. Зависимости изменения массовой доли (%) фруктозы (а), глюкозы (б), инвертированных сахаров (в) от температуры обработки мёдов; 1 – акации белой, 2 – лесного, 3 – лугового, 4 – липового, 5 – каштанового, 6 – гречишного (Алтай)

Figure 8. Dependences of changes in the mass fraction (%) of fructose (а), glucose (б), inverted sugars (в) on the processing temperature of honey; 1 – white acacia, 2 – forest, 3 – meadow, 4 – lime, 5 – chestnut, 6 – buckwheat (Altai)

Интерес представляет факт – несмотря на то, что все мёды кроме № 5 (а) в разной степени, но показывают увеличение фруктозы после прогревания при 40°C и ее снижение при 90°C, после доведения до кипячения распадаются на две группы. Для закристаллизованных лугового (№ 3) и гречишного (№ 6) мёдов наблюдается снижение содержания фруктозы после кипячения. Тогда как для жидких – акации, лесного, липового, каштанового, напротив, увеличение. Аналогичная, но противоположная картина имеет место для глюкозы (б). Обращают на себя внимание и кривые № 5 для фруктозы (а) и глюкозы (б), полученные при прогревании каштанового мёда. Практически линейные участки в диапазоне 20–90°C могут говорить о том, что данный мёд был прогрет при температуре выше 50°C при перекачке или с целью поддержания жидкой консистенции.

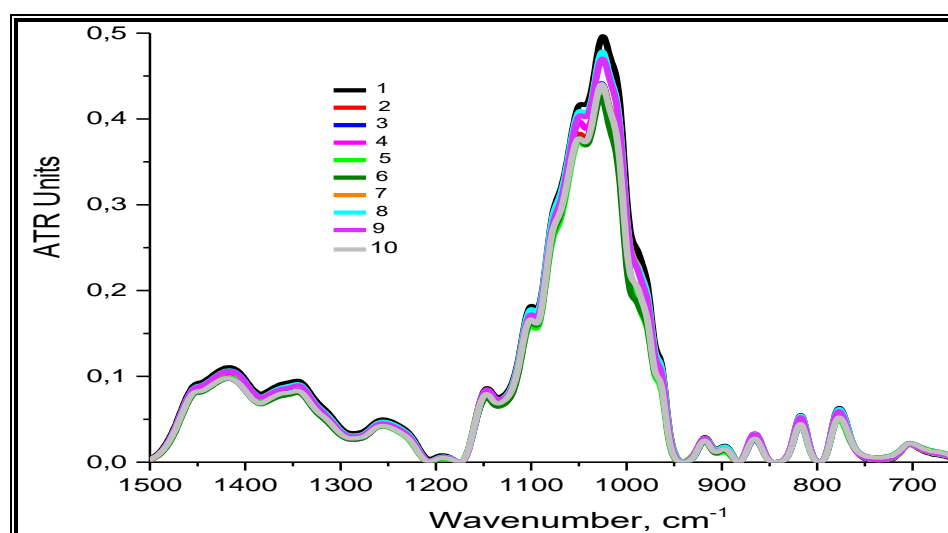


Рисунок 9. ИК спектры моно-и полифлерных мёдов, жидких и закристаллизованных, прошедших кипячение: 1 – луговой, 2 – лесной, 3 – подсолнечник+луговые травы, 4 – акации белой, 5 – каштановый, 6 – липовый, 7 – гречишный (Алтай), 8 – гречишный (Орел), 9 – шалфейный, 10 – эспарцетовый

Figure 9. IR spectra of mono- and polyfloral honey, liquid and crystallized, boiled: 1 – meadow, 2 – forest, 3 – sunflower + meadow grasses, 4 – white acacia, 5 – chestnut, 6 – lime, 7 – buckwheat (Altai), 8 – buckwheat (Eagle), 9 – sage, 10 – esparcet

Исследование кипяченых медов методом ИК спектроскопии (рисунок 9) позволило заметить, что их фактура безупречно воспроизводила фактуру спектров исходных жидких медов (рисунок 3), но заметно отличалась от фактуры исходных закристаллизованных (рисунок 4). Все меды, доведенные до кипения, оставались в жидком, хотя и загустевшем состоянии, в том числе и те, которые в исходном состоянии были самой высокой степени засахаренности (луговой, гречишный).

Результаты по исследованию ряда медов методом ЯМР [24] показали – в медах, доведенных до кипения, таутомерное равновесие смещено в сторону увеличения содержания β-глюкопиранозы, что подтверждают и полученные данные. В их спектрах (Рисунок 10) отсутствуют все четко выраженные полосы, обусловленные колебаниями связей α-пиранозной (1009; 1208; 851; 770 см⁻¹) формы глюкозы (рисунок 5 и 6) и слабо проявлены колебания ее β-пиранозной структуры (1360; 1193; 918 см⁻¹). Однако наиболее заметны проявления в виде плечей α-глюкопиранозы (1009 см⁻¹) и β-глюкопиранозы (988 см⁻¹) на правой ветви максимума 1028 см⁻¹ в спектрах закристаллизованных медов – лугового, подсолнечника, обоих гречишных.

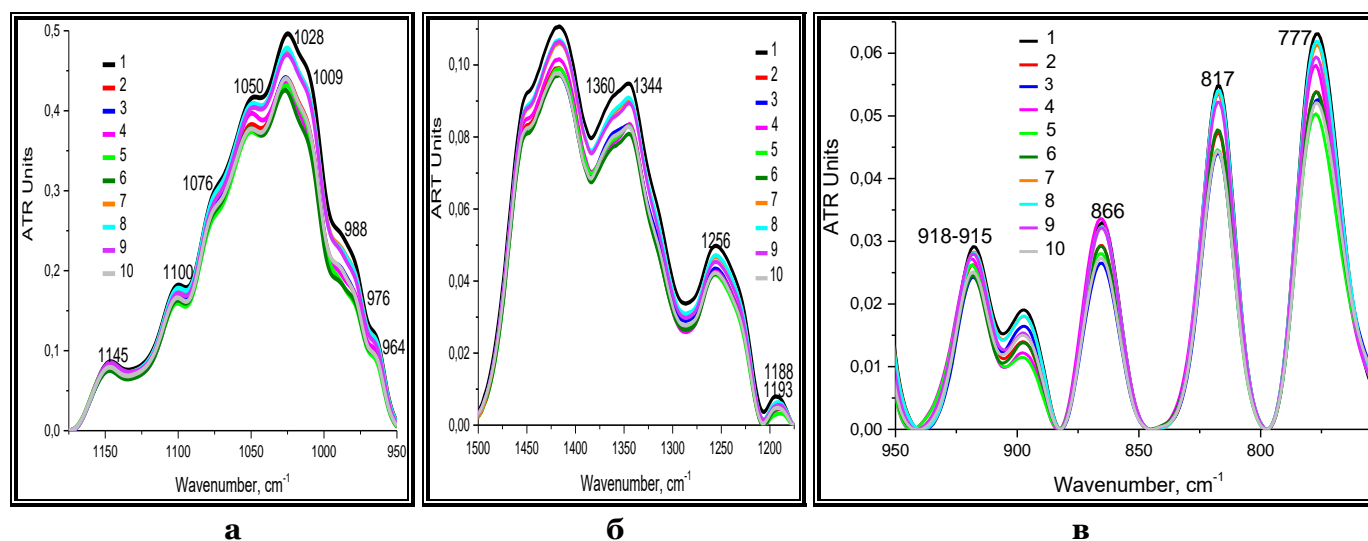


Рисунок 10 – Фрагменты ИК-спектров кипяченых жидких и в разной степени закристаллизованных медов: 1 – луговой, 2 – лесной, 3 – подсолнечник+луговые травы, 4 – акации белой, 5 – каштановый, 6 – липовый, 7 – гречишный (Алтай), 8 – гречишный (Орел), 9 – шалфейный, 10 – эспарцетовый; (а) 1175–950 см⁻¹; (б) 1500–1175 см⁻¹; (в) 950–700 см⁻¹;

Figure 10. Fragments of IR spectra of boiled liquid and to varying degrees crystallized honey: 1 – meadow, 2 – forest, 3 – sunflower + meadow grasses, 4 – white acacia, 5 – chestnut, 6 – lime, 7 – buckwheat (Altai), 8 – buckwheat (Eagle), 9 – sage, 10 – esparcet; (a) 1175–950 cm⁻¹; (б) 1500–1175 cm⁻¹; (в) 950–700 cm⁻¹

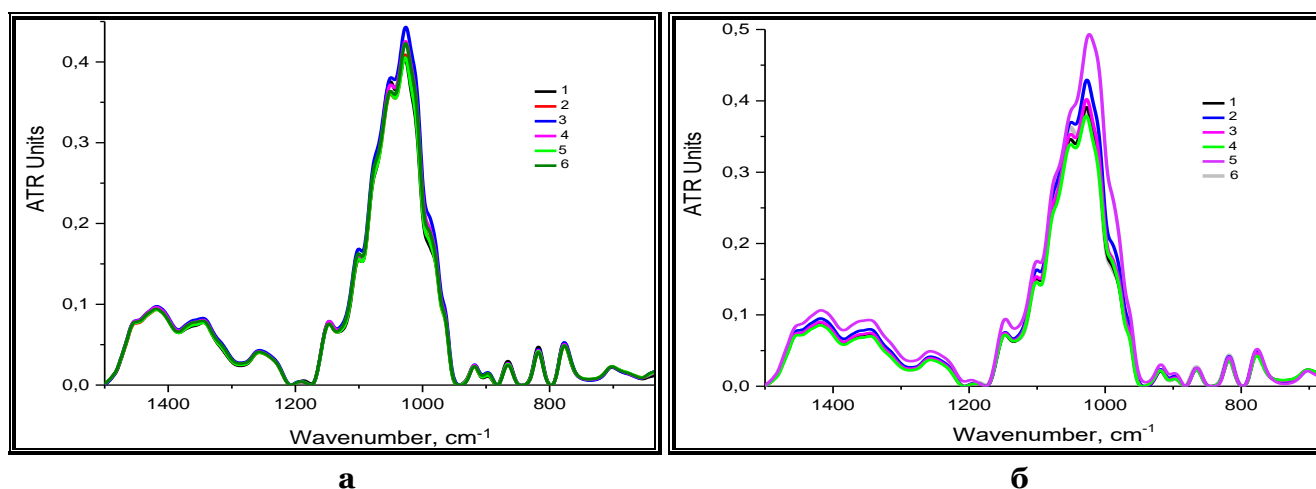


Рисунок 11. ИК спектры жидких и закристаллизованных медов: 1 – акация белая, 2 – шалфейный, 3 – гречишный (Алтай), 4 – липовый, 5 – майский, 6 – луговой, прогретых при 40 (а) и 90°C (б)

Figure 11. IR spectra of liquid and crystallized honey: 1 – acacia white, 2 – sage, 3 – buckwheat (Altai), 4 – lime, 5 – May, 6 – meadow, warmed at 40 (a) and 90°C (б)

Рисунок 11 иллюстрирует спектры выборки из шести медов, жидких и закристаллизованных, прогретых на водяной бане в течение 20 мин. И, хотя спектры в зависимости от температуры и при одном температурном режиме (особенно при 90°C) заметно отличались, фактура их рисунка была одинакова.

Полученные данные показали, что спектры всех медов, независимо от температуры обработки, имеют одинаковую фактуру рисунка, схожую с фактурой спектров исходных жидких медов разной природы, что предопределяется их жидкой консистенцией. Во всех случаях в их спектрах отсутствуют выраженные интенсивные полосы, обусловленные колебаниями функциональных группировок α-люкопиранозы.

С иллюстративной целью на примере закристаллизованных полифлерного лугового и монофлерного гречишного медов показано изменение их оптических свойств в зависимости от температуры обработки. В общем характер преобразования спектров в зависимости от режима термообработки для двух медов несколько отличается, но одно остается неизменным. Как следует из фрагментов, приведенных на рисунках 12 и 13, выраженные полосы α-глюкопиранозы (1009; 1372; 1208; 851; 770 см⁻¹) присутствуют только в спектрах исходных (20°C) закристаллизованных образцов обоих медов. При других температурах ее присутствие можно пометить только проявленностью плечей в областях 1009; 988; 1360 и по сдвигу максимума 1193 см⁻¹ в спектрах прокипяченных образцов.

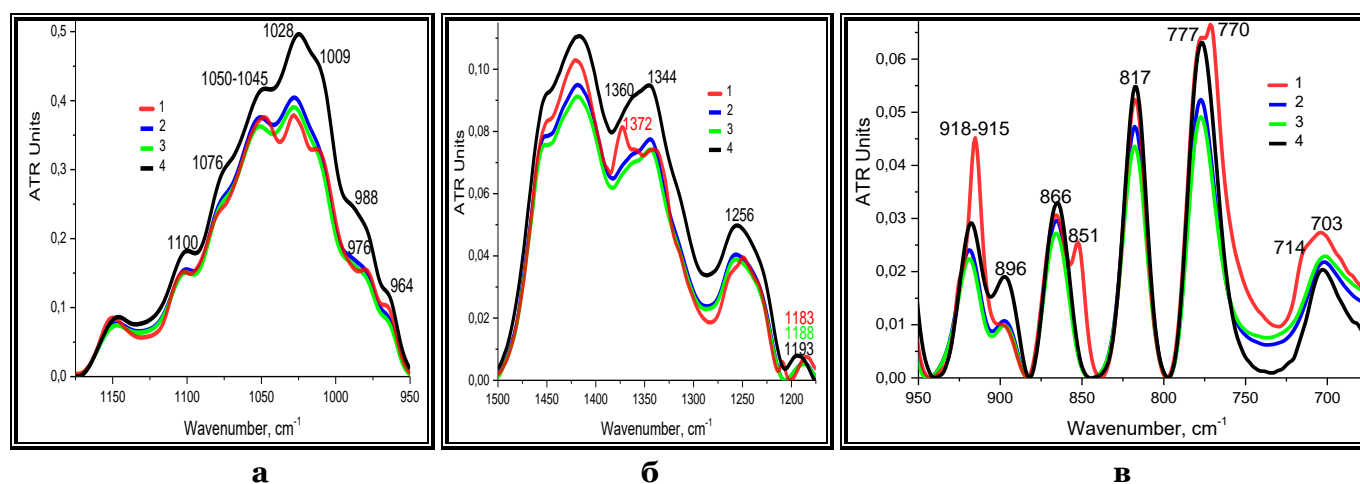


Рисунок 12. Фрагменты ИК спектров лугового меда в зависимости от условий термообработки: 1 – 20°C, 2 – 40°C, 3 – 90°C, 4 – 100°C; (а) 1175–950 см⁻¹; (б) 1500–1175 см⁻¹; (в) 950–700 см⁻¹;

Figure 12. Fragments of the IR spectra of meadow honey depending on the conditions of heat treatment: 1 – 20°C, 2 – 40°C, 3 – 90°C, 4 – 100°C; (a) 1175–950 cm⁻¹; (б) 1500–1175 cm⁻¹; (в) 950–700 cm⁻¹

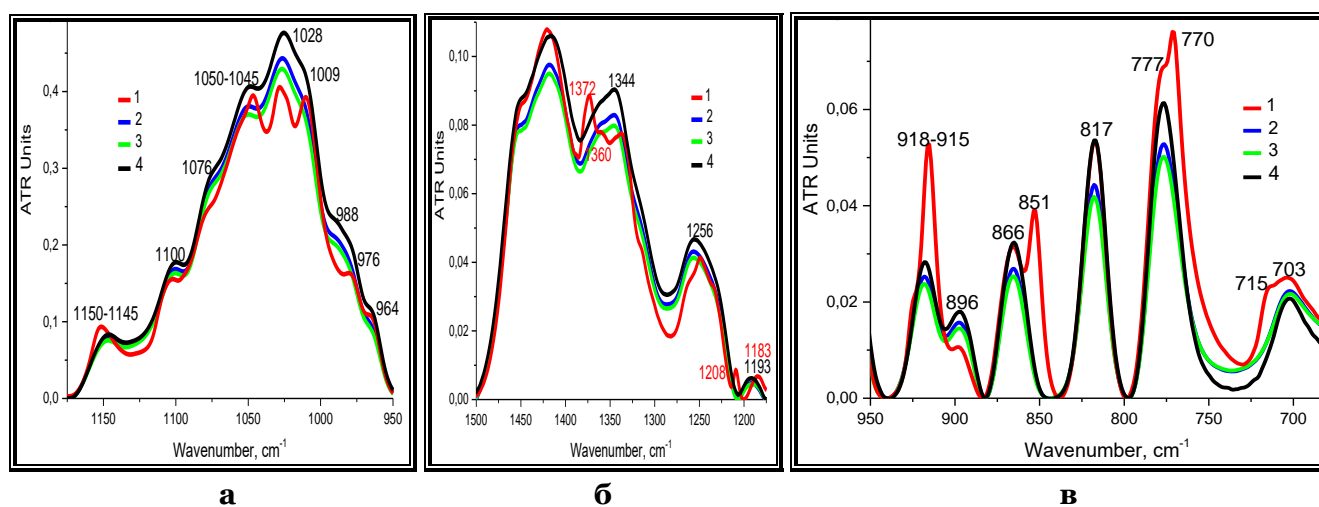


Рисунок 13 – Фрагменты ИК-спектров гречишного меда (Алтай) в зависимости от условий термообработки: 1 – 20°C, 2 – 40°C, 3 – 90°C, 4 – 100°C; (а) 1175–950 см⁻¹; (б) 1500–1175 см⁻¹; (в) 950–700 см⁻¹

Figure 13. Fragments of IR spectra of buckwheat honey (Altai) depending on the conditions of heat treatment: 1 – 20°C, 2 – 40°C, 3 – 90°C, 4 – 100°C; (a) 1175–950 cm⁻¹; (б) 1500–1175 cm⁻¹; (в) 950–700 cm⁻¹

В отличие от закристаллизованных, для жидких мёдов, как показано на примере мёда акации (рисунок 14 а, б), основные изменения в спектральных характеристиках отмечены в варьировании интенсивности полос 1050; 1028; 1344 cm^{-1} и полос β -глюкопиранозы 988 и 1360 cm^{-1} , представленных в виде плечей, которые коррелируют с характером изменения суммарного содержания инвертированных сахаров. Это указывает на доминирующую роль фруктозы в преобразованиях, имеющих место в процессах термообработки. Для каштанового мёда (рисунок 14, в, г) наблюдалось практически полное совпадение спектров в обоих рассматриваемых диапазонах с небольшим повышением интенсивности после доведения до кипения.

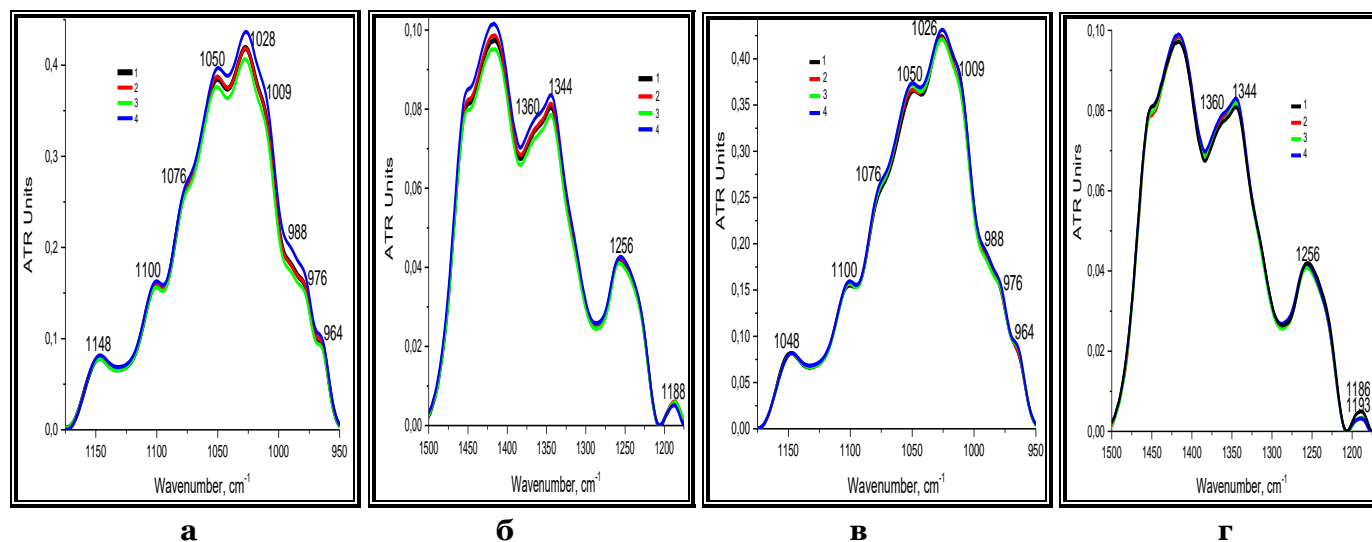


Рисунок 14. Фрагменты ИК спектров 1175–960 cm^{-1} (а, в) и 1500–1175 cm^{-1} (б, г) мёдов: акации белой (а, б) и каштанового (в, г), прошедших термообработку: 1 – 20°C, 2 – 40°C, 3 – 90°C, 4 – 100°C

Figure. 14. Fragments of IR spectra 1175–960 cm^{-1} (a, v) and 1500–1175 cm^{-1} (б, г) of honey: acacia white (a, б) and chestnut (в, г), heat-treated: 1 – 20°C, 2 – 40°C, 3 – 90°C, 4 – 100°C

Анализ данных показал, что оптические свойства мёдов, обусловленные, прежде всего, содержанием и соотношением α - и β -пиранозных форм глюкозы и фруктозы, во многом зависят от консистенции и температуры обработки. В мёдах жидкой консистенции, независимо от ботанического вида, географии происхождения и условий термообработки глюкоза проявляется в форме β -глюкопиранозы, являющейся конформационно и энергетически более устойчивой в системах с достаточным содержанием влаги. Это важно для медицины, фармакопеи, стоматологии, диетологии, косметологии и других сфер, поскольку все физические, очень многие химические и биохимические свойства в той или иной степени зависят от конформаций моносахаридов. Кроме того, β -глюкопираноза – единственная из гексоза, в молекуле которой все заместители занимают стерически предпочтительное экваториальное положение. Очевидно, этим и объясняется то, что β -глюкопираноза является наиболее широко распространенным сахаром в природе [28, 29].

Выводы

Исследование методом Фурье-ИК-спектроскопии оптических свойств серии исходных поли- и монофлерных мёдов разного ботанического вида, районирования, консистенции и в зависимости от условий их термообработки показало, что в отличие от закристаллизованных мёдов, в спектре которых полосами 1372; 1208; 1009; 851; 770 cm^{-1} отчетливо проявляется α -пиранозная форма глюкозы, в спектрах всех видов жидких исходных мёдов и полученных в результате термообработки закристаллизованных, данные полосы отсутствуют. В спектрах жидких мёдов доминируют полосы α - и β -фруктопиранозы – 1344; 1183; 1050; 976; 964; 866; 817; 777 cm^{-1} , β -пиранозная форма глюкозы слабо проявляется полосами 1360; 1193; 988 cm^{-1} . В зависимости от температуры обработки мёда, изменение содержания глюкозы и фруктозы, как показали исследования методом рефрактометрии, носит антибатно-экстремальный характер, обусловленный активностью и дезактивацией ферментов и конформационно-таутомерными преобразованиями обоих моносахаридов. Полученные данные могут

иметь практическое значение для таких сфер медицины и фармакологии, как диетология, педиатрия, гинекология, гастроэнтерология, кардиология, хирургия, ожоговая терапия и др.

Литература

1. Хорт Х., Люлльманн К. Все о меде. Производство, получение, экологическая чистота и сбыт. М.: АСТ, 2011. 316 с.
2. Попов Е.Т. Чудесный дар природы // Пчеловодство. 2012. № 10. С. 46–48.
3. Ахтямов К.С., Ахтямов Д.Л. Пчела на наскальном рисунке // Пчеловодство. 2004. № 5. С. 5–7.
4. Реуцкий И.А. Мед как лекарство. М.: Эксмо, 2010. 448 с.
5. Kwakman P.H., Zaat S.A. Antibacterial components of honey. *IUBMB Life*. 2012, V. 64, no. 1, pp. 48–55.
6. Israili S.A. Antimicrobial properties of honey. *American Journal of Therapeutics*. 2014, V. 21, no. 4, pp. 4–23.
7. Чепурной И.П. Мед и сердечно-сосудистые заболевания // Пчеловодство. 2000. № 3. С. 54–56.
8. Чепурной И.П. Мед и иммунные заболевания // Пчеловодство. 2001. № 1. С. 50–52.
9. Кулаков В.Н., Бурмистров А.Н. Химический состав и свойства меда // Пчеловодство. 2004. № 8. С. 22–24.
10. Машенков О.Н. Целебные свойства нагретого меда // Пчеловодство. 2002. № 2. С. 48–49.
11. Кулаков В.Н., Русакова Т.Ж. Монофлерные меды России и их идентификация // Пчеловодство. 2002. № 5. С. 48–50.
12. Балиашивили Л. Медоносные растения // Пчеловодство. 2004. № 5. С. 23–34.
13. Самсонова И.Д. Метеорологические условия и нектаровыделение // Пчеловодство. 2012. № 8. С. 26–28.
14. Сокольский С.С., Любимов Е.М., Бурмистрова Л.А., Русакова Т.М., Мартынова В.М., Харитонова М.Н. Качество продукции пчел и окружающая среда // Пчеловодство. 2012. № 9. С. 48–50.
15. Комлацкий В.И., Плотников С.А. Химический состав меда от пчел разных пород // Пчеловодство. 2006. № 2. С. 54–56.
16. Саркисова М.Н., Бирюкова Н.В. Опыт применения меда в медицине // Интерактивная наука. 2020. Т. 51. № 5. С. 8–12. DOI: 10.21661/г-541133
17. Коркуленко И.Т. Мед вместо лекарств. М.: Метафора. 2014. 240 с.
18. Коркуленко И.Т. Большая книга про мед: жемчужины апитерапии. М.: АСТ. 2017. 352 с.
19. Bogdanov S., Ruoff K., Oddo L.P. Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys: A review. *Apidologie*. 2004, no. 35, pp. S4–S17. DOI:10.1051/apido:2004047
20. Андрухова Т.В., Плотников В.А., Пупков К.С. Оптико-спектральный контроль качества меда // Пчеловодство. 2020. N 1. С. 56–59.
21. Svečnjak L., Biliškov N., Bubalo D., Barišić D. Application of infrared spectroscopy in honey analysis. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 2011, V. 76, no. 3, pp. 191–195.
22. Sotiropoulou N.S., Xagoraris M., Revelou P.K., Kaparakou E., Kanakis Ch., Pappas Ch., Tarantilis P. The use of SPME-GC-MS IR and Raman techniques for botanical and geographical authentication and detection of adulteration of honey. *Foods*. 2021, V. 10, no. 7, pp. 1671–1696. DOI: 10.3390/foods10071671
23. Ruoff K., Luginbuhl W., Kunzli R., Iglesias M.T., Bogdanov S., Bosset J.O., von der Ohe K., von der Ohe W., Amado R. Authentication of the botanical and geographical origin of honey by mid-infrared spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.* 2006, V. 54, no. 18, pp. 6873–6880. DOI: 10.1021/jf060838r
24. Ангервакс А.Е., Апушкинский Е.Г. Применение ЯМР-спектроскопии ¹³C для анализа состава углеводов меда // Химия растительного сырья. 1999. № 4. С. 17–23.
25. Буслов Д.К., Никоненко Н.А., Сушко Н.И., Жбанков Р.Г. Анализ структуры полос ИК спектра β-D-глюкозы регуляризованным методом деконволюции // Журнал прикладной спектроскопии. 2002. Т. 69. № 6. С. 712–718.
26. Нечипоренко А.П., Везо О.С., Нечипоренко У.Ю., Плотникова Л.В., Ситникова В.Е., Украинцева П.И., Плотников П.П. Оптические свойства медов: методы ИК-Фурье спектроскопии и рефрактометрии // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11. N 4. С. 627–641. DOI: 10.21285/2227-2925-2021-11-4-627-641
27. Нечипоренко А.П., Везо О.С., Нечипоренко У.Ю., Плотникова Л.В., Ситникова В.Е., Плотников П.П. Влияние природных сахаридов на Фурье спектр плазмы крови человека // Актуальные вопросы биологической физики и химии. 2021. Т. 6. № 1. С. 154–164.
28. Северин Е.С., Алейникова Т.Л., Осипов Е.В., Силаева С.А. Биологическая химия. М.: Медицинское информационное агентство, 2008. 364 с.
29. Тюкавкина Н.А., Бауков Ю.И. Биоорганическая химия. М.: Дрофа, 2005. 542 с.
30. Угринович Б.А., Фармазян А.С. Три важных фермента // Пчеловодство. 2001. № 3. С. 36–38.
31. Богданович Е.М., Таурова Р.М. Ферменты меда // Альманах мировой науки. 2017. № 5. С. 16–17.
32. Ярова О.А. Определение качества меда по содержанию в нем перекиси водорода: автореф. ... канд. биол. наук. Москва, 2013. 25 с.

References

1. Hort H., Lullmann K. *All about honey. Production, receipt, environmental cleanliness and marketing*. Moscow, AST Publ., 2011. 316 p. (In Russian)
2. Popov E.T. A wonderful gift of nature. *Beekeeping*. 2012, no. 10, pp. 46–48. (In Russian)
3. Akhtyamov K.S., Akhtyamov D.L. A bee on a rock drawing. *Beekeeping*. 2004, no. 5, pp. 5–7. (In Russian)
4. Reutsky I.A. *Honey as medicine*. Moscow, Eksmo Publ., 2010. 448 p. (In Russian)
5. Kwakman P.H., Zaat S.A. Antibacterial components of honey. *IUBMB Life*. 2012, V. 64, no. 1, pp. 48–55.
6. Israili S.A. Antimicrobial properties of honey. *American Journal of Therapeutics*. 2014, V. 21, no. 4, pp. 4–23.
7. Chepurnoy I.P. Honey and cardiovascular diseases. *Beekeeping*. 2000, no. 3, pp. 54–56. (In Russian)
8. Chepurnoy I.P. Honey and immune diseases. *Beekeeping*. 2001, no. 1, pp. 50–52. (In Russian)
9. Kulakov V.N., Burmistrov A.N. Chemical composition and properties of honey. *Beekeeping*. 2004, no. 8, pp. 22–24 (In Russian)
10. Mashenkov O.N. Healing properties of heated honey. *Beekeeping*. 2002, no. 2, pp. 48–49. (In Russian)
11. Kulakov V.N., Rusakova T.J. Monofleral honey of Russia and their identification. *Beekeeping*. 2002. no. 5, pp. 48–50. (In Russian)
12. Baliashvili L. Honey plants. *Beekeeping*. 2004, no. 5, pp. 23–34. (In Russian)
13. Samsonova I.D. Meteorological conditions and nectar release. *Beekeeping*. 2012, no. 8, pp. 26–28. (In Russian)
14. Sokolsky S.S., Lyubimov E.M., Burmistrova L.A., Rusakova T.M., Martynova V.M., Kharitonova M.N. The quality of bees' products and the environment. *Beekeeping*. 2012, no. 9, pp. 48–50. (In Russian)
15. Komlatsky V.I., Plotnikov S.A. Chemical composition of honey from bees of different breeds. *Beekeeping*. 2006, no. 2, pp. 54–56. (In Russian)
16. Sarkisova M.N., Biriukova N.V. Medicinal uses of honey. *Interactive Science*. 2020, V. 51, no. 5, pp. 8–12. DOI: 10.21661/r-541133. (In Russian)
17. Korkulenko I.T. *Honey instead of medicines*. Moscow, Metaphor Publ., 2014. 240 p. (In Russian)
18. Korkulenko I.T. *The big book about honey: the pearl of apitherapy*. Moscow, AST Publ., 2017. 352 p. (In Russian)
19. Bogdanov S., Ruoff K., Oddo L.P. Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys: A review. *Apidologie*. 2004, no. 35, pp. S4–S17. DOI: 10.1051/apido:2004047
20. Andrukhova T.V., Plotnikov V.A., Popkov K.S. Optical spectral quality control of honey. *Beekeeping*. 2020, no. 1, pp. 56–59. (In Russian)
21. Svečnjak L., Biliškov N., Bubalo D., Barišić D. Application of infrared spectroscopy in honey analysis. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 2011, V. 76, no. 3, pp. 191–195.
22. Sotiropoulou N.S., Xagoraris M., Revelou P.K., Kaparakou E., Kanakis Ch., Pappas Ch., Tarantilis P. The use of SPME-GC-MS IR and Raman techniques for botanical and geographical authentication and detection of adulteration of honey. *Foods*. 2021, V. 10, no. 7, pp. 1671–1696. DOI: 10.3390/foods10071671
23. Ruoff K., Luginbuhl W., Kunzli R., Iglesias M.T., Bogdanov S., Bosset J.O., von der Ohe K., von der Ohe W., Amado R. Authentication of the botanical and geographical origin of honey by mid-infrared spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.* 2006, V. 54, no. 18, pp. 6873–6880. DOI: 10.1021/jf060838r
24. Angervaks A.E., Apushkinsky E.G. Application of ¹³C NMR spectroscopy to analyze the composition of honey carbohydrates. *Chemistry of plant raw material*. 1999, no. 4, pp. 17–23. (In Russian)
25. Buslov D.K., Nikonenko N.A., Sushko N.I., Zhbankov R.G. Analysis of the structure of bands in the IR spectrum of β-d-glucose by the regularized method of deconvolution. *Journal of Applied Spectroscopy*. 2002. V. 69, no. 6, pp. 712–718. (In Russian)
26. Nechiporenko A.P., Vezo O.S., Nechiporenko U.Yu., Plotnikova L.V., Sitnikova V.E., Ukraintseva P.I., Plotnikov P.P. Optical properties of honey: ftr spectroscopy and refractometry. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2021, V. 11, no. 4, pp. 627–641. DOI: 10.21285/2227-2925-2021-11-4-627-641 (In Russian)
27. Nechiporenko A.P., Vezo O.S., Nechiporenko U.Yu., Plotnikova L.V., Sitnikova V.E., Plotnikov P.P. Effect of natural saccharides on the Fourier spectrum of human blood plasma. *Aktual'nye voprosy biologicheskoi fiziki i khimii*. 2021, V.6, no. 1, pp. 151–164. (In Russian)
28. Severin E.S., Aleynikova T.L., Osipov E.V., Silaeva S.A. *Biological Chemistry*. Moscow, Meditsinskoe informatsionnoe agentstvo Publ., 2008. 364 p. (In Russian)
29. Tyukavkina N.A., Baukov Yu.I. *Bioorganic chemistry*. Moscow, Drofa Publ., 2005. 542 p. (In Russian)
30. Ugrinovich B.A., Farmazyan A.S. Three important enzymes. *Beekeeping*. 2001, no. 3, pp. 36–38. (In Russian)
31. Bogdanovich E.M., Tairova R.M. Enzymes of honey. *Al'manakh mirovoi nauki*. 2017, no. 5, pp. 16–17. (In Russian)
32. Yarova O.A. Determination of the quality of honey by the content of hydrogen peroxide in it. *Extended abstract of candidate's thesis*. Moscow. 2013. 25 p. (In Russian)

Информация об авторах

Алла Павловна Нечипоренко – д-р хим. наук, профессор факультета прикладной оптики
Ольга Сергеевна Везо – инженер Центра диагностики функциональных материалов для медицины, фармакологии и нанозлектроники
Ульяна Юрьевна Нечипоренко – биохимик
Людмила Валерьевна Плотникова – научный сотрудник
Полина Ильинична Украинцева – бакалавр факультета прикладной оптики

Information about the authors

Alla P. Nechiporenko, Dr. Sci. (Chemistry), Professor of Faculty of Applied Optics
Olga S. Vezo, Engineer, Center for Diagnostics of Functional Materials for Medicine, Pharmacology and Nanoelectronics
Ulyana Yu. Nechiporenko, Biochemist
Ludmila V. Plotnikova, Researcher
Polina I. Ukraintseva, Bachelor of Faculty of Applied Optics

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 08.06.2022

Одобрена после рецензирования 10.07.2022

Принята к публикации 15.07.2022

The article was submitted 08.06.2022

Approved after reviewing 10.07.2022

Accepted for publication 15.07.2022