

**А. В. Васильев, Е. В. Гриненко,
А. О. Щукин, Т. Г. Федулина**

**ИНФРАКРАСНАЯ
СПЕКТРОСКОПИЯ
ОРГАНИЧЕСКИХ И ПРИРОДНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
СПбГЛТА
2007**

ГОУ ВПО “САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ”

А. В. Васильев, кандидат химических наук, доцент,
Е. В. Гриненко, кандидат химических наук, научный сотрудник,
А. О. Щукин, аспирант,
Т. Г. Федулina, кандидат химических наук, доцент

**ИНФРАКРАСНАЯ
СПЕКТРОСКОПИЯ
ОРГАНИЧЕСКИХ И ПРИРОДНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ**

Учебное пособие для студентов химических
и химико-технологических специальностей
высших учебных заведений

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2007

Рассмотрено и рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией
факультета химической технологии и биотехнологии
Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии
23 мая 2007 г.

Отв. редактор
кандидат химических наук, доцент **А. В. Васильев**

Рецензенты:
сектор токсикологии и биохимических исследований,
лаборатория комплексной оценки лесных экосистем
ФГУ "СПбНИИЛХ", кандидат химических наук **С. Е. Маслаков**

доктор химических наук, профессор **И. Г. Зенкевич** (СПбГУ)

УДК 547

А. В. Васильев, Е. В. Гриненко, А. О. Щукин, Т. Г. Федулина. **Инфракрасная спектроскопия органических и природных соединений**: Учебное пособие. СПб.: СПбГЛТА, 2007, 54 с.

Представлено кафедрой органической химии.

В учебном пособии изложены основные положения теории и практики современной инфракрасной спектроскопии. Приведены экспериментальные инфракрасные спектры органических и природных соединений.

Предназначено для студентов химических и химико-технологических специальностей высших учебных заведений.

Библиогр. 12. Табл. 1. Ил. 71.

©А. В. Васильев, Е. В. Гриненко,
А. О. Щукин, Т. Г. Федулина, 2007
© Санкт-Петербургская государственная
лесотехническая академия
(СПбГЛТА), 2007

Темплан 2007 г. Изд. №
ISBN

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	4
2. Инфракрасное излучение и колебания молекул.....	5
3. Теоретические основы инфракрасной спектроскопии.....	5
3.1. Гармонические и ангармонические колебания.....	5
3.2. Колебания многоатомных молекул.....	9
4. Особенности инфракрасной спектроскопии органических и природных соединений.....	11
4.1. Основные области инфракрасного спектра. Рекомендации по интерпретации инфракрасных спектров.....	11
4.2. Практические рекомендации по регистрации инфракрасных спектров.....	12
5. Таблица характеристичных колебательных частот органических соединений.....	14
6. Список рекомендуемой литературы.....	19
Приложение. Инфракрасные спектры органических и природных соединений.....	20

1. Введение

Инфракрасная (ИК) спектроскопия является одним из основных методов анализа органических соединений. Современная ИК-спектроскопия представляет собой экспресс-метод установления структурных особенностей органических соединений. С помощью ИК-спектроскопии быстро и надёжно идентифицируются разнообразные функциональные группы: карбонильная, гидроксильная, карбоксильная, амидная, аминок-, циано- и др.; а также различные непредельные фрагменты: двойные и тройные углерод-углеродные связи, ароматические или гетероароматические системы. Методами ИК-спектроскопии изучают внутри- и межмолекулярные взаимодействия, например, образование водородных связей. В химии древесины и химии природных соединений с помощью ИК-спектроскопии исследуют структуры углеводов, лигнинов, аминокислот, терпенов, стероидов и многих других веществ.

Данное учебное пособие подготовлено в рамках курсов “Физико-химические методы анализа продуктов химической переработки древесины” и “Физико-химические методы исследования объектов окружающей среды”, читаемых студентам 2-го и 4-го курсов очного и 3-го курса заочного отделений факультета химической технологии и биотехнологии Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии. В пособии изложены базовые принципы теории колебаний молекул, основы теории ИК-спектроскопии, даны рекомендации по интерпретации и регистрации ИК-спектров. В Приложении представлены оригинальные экспериментальные ИК-спектры органических соединений различных классов и представителей некоторых классов природных соединений. На спектрах выполнено отнесение основных характеристичных сигналов поглощения для выработки у студентов навыков ”чтения спектров” необходимых при интерпретации спектральной информации.

Пособие предназначено для студентов химических и химико-технологических специальностей высших учебных заведений.

2. Инфракрасное излучение и колебания молекул

Инфракрасным излучением называют излучение с длинами волн от 0.5 до 1000 мкм. **В ИК-диапазоне проявляются переходы между колебательными и вращательными уровнями энергии молекул.** Химические связи в молекулах испытывают колебательные движения. Колебательная энергия молекул квантована, т.е. поглощаемая энергия изменяется не непрерывно, а скачкообразно. В результате колебательный (инфракрасный) спектр молекулы представляет собой ряд пиков (полос поглощения), отвечающих разным колебательным энергетическим переходам. Большинство колебательных переходов в молекулах органических соединений реализуется в диапазоне длин волн λ от 2.5 до 25 мкм. В единицах волновых чисел $\nu = 1/\lambda$ (см^{-1}), величин обратных длинам волн, этот интервал составляет 4000-400 см^{-1} . Именно в этом диапазоне волновых чисел осуществляют регистрацию ИК-спектров органических и природных соединений (см. Приложение).

3. Теоретические основы инфракрасной спектроскопии

3.1. Гармонические и ангармонические колебания

Двухатомную молекулу **AB** (или двухатомную группировку в составе органической молекулы) можно представить в виде двух шариков с массами m_A и m_B , связанных между собой пружиной (упругой связью) с равновесным расстоянием r_e (рис. 1а). При смещении шариков **A** и **B** из положения равновесия на расстояние Δr возникает возвращающая сила **f** (рис. 1б), стремящаяся вернуть систему **AB** в исходное равновесное положение. Сила **f** описывается с помощью закона Гука:

$$\mathbf{f} = -k\Delta r,$$

$\Delta r = r - r_e$ – изменение длины пружины (связи); **k** – силовая постоянная пружины (связи).

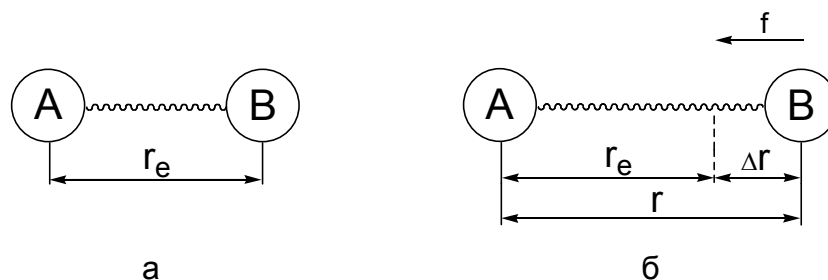


Рисунок 1. Модель молекулы **АВ**, состоящей из двух атомов (шариков), соединенных упругой химической связью (пружиной), имеющей равновесное расстояние r_e (а). Система **АВ** в состоянии смещения на расстояние Δr (б); появление при этом возвращающей силы f .

Движение, происходящее после смещения шариков (атомов) **А** и **В** из положения равновесия называется простым гармоническим колебанием. Потенциальная энергия $V_{\text{гарм.}}$ системы гармонического осциллятора, состоящего из двух атомов, связанных упругой химической связью, определяется выражением:

$$V_{\text{гарм.}} = \frac{1}{2} k \Delta r^2,$$

k – силовая постоянная химической связи; Δr – смещение атомов из положения равновесия.

Функция $V(r)$ представляет собой симметричную параболу, проходящую через точку минимума, соответствующую равновесному межъядерному расстоянию r_e (рис. 2а).

Колебательная энергия гармонического осциллятора $E_{\text{кол.}}^{\text{гарм.}}$ квантуется по закону:

$$E_{\text{кол.}}^{\text{гарм.}} = h\nu_0 \left(\nu + \frac{1}{2} \right),$$

h – постоянная Планка; $\nu = 0, 1, 2, 3, \dots$ (и т.д. целые числа) – колебательное квантовое число; ν_0 – частота колебаний гармонического осциллятора, описываемая уравнением:

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{M}},$$

k – силовая постоянная связи; $M = m_A m_B / (m_A + m_B)$ – приведенная масса двухатомной системы **АВ**.

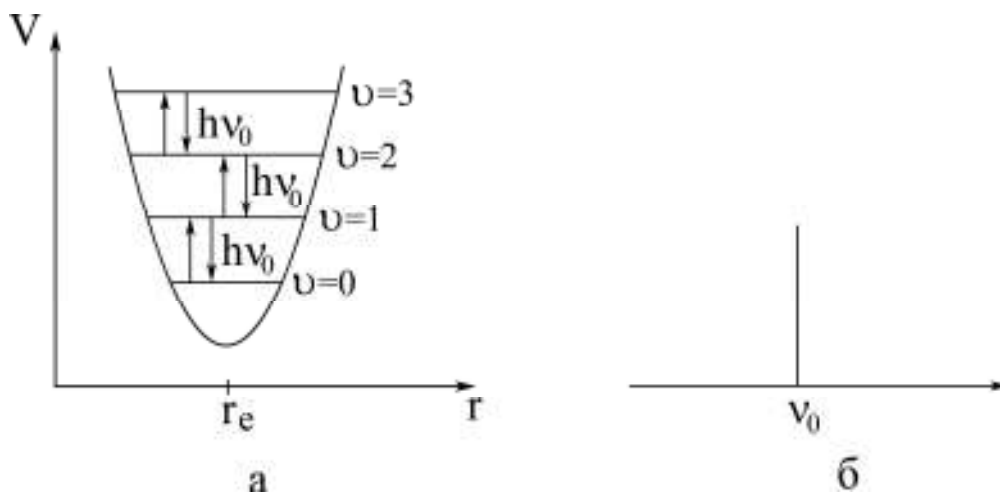


Рисунок 2. Кривая потенциальной энергии и уровни колебательной энергии гармонического осциллятора (а). Схематический колебательный спектр гармонического осциллятора (б).

В результате квантования энергии $E_{\text{кол. гарм.}}$ гармонический осциллятор характеризуется набором равноотстоящих энергетических уровней, отличающихся друг от друга на одинаковую величину $h\nu_0$ (рис. 2а). Правило отбора для перехода между колебательными уровнями гармонического осциллятора имеет вид:

$$\Delta\nu = \pm 1$$

Разрешенными являются только переходы между соседними уровнями. Например, переход между уровнями с $\nu = 0$ и $\nu = 1$ разрешен ($\Delta\nu = 1$), а между уровнями с $\nu = 0$ и $\nu = 2$ запрещен ($\Delta\nu = 2$) (рис. 2а). В результате колебательный спектр гармонического осциллятора представляет собой только одну линию с частотой ν_0 (рис. 2б).

В отличие от модели гармонического осциллятора колебания реальных молекул ангармоничны. Потенциальная энергия ангармонического осциллятора $V_{\text{ангарм.}}$ описывается функцией Морзе:

$$V_{\text{ангарм.}} = D(1 - e^{-a\Delta r})^2,$$

D – энергия диссоциации связи; Δr – смещение атомов из положения равновесия; a – постоянная, определяемая выражением:

$$a = 2\pi\nu_0\sqrt{\frac{M}{2D}},$$

ν_0 – частота осциллятора; M – приведенная масса; D – энергия диссоциации связи.

Колебательная энергия ангармонического осциллятора $E_{\text{кол.}}^{\text{ангарм.}}$ квантуется согласно закону:

$$E_{\text{кол.}}^{\text{ангарм.}} = h\nu_0\left(\nu + \frac{1}{2}\right) - \frac{h^2\nu_0^2}{4D}\left(\nu + \frac{1}{2}\right)^2,$$

h – постоянная Планка; $\nu = 0, 1, 2, 3, \dots$ (и т.д. целые числа) – колебательное квантовое число; ν_0 – частота осциллятора; D – энергия диссоциации связи. Из выражения для энергии $E_{\text{кол.}}^{\text{ангарм.}}$ следует, что по мере увеличения квантового числа ν колебательные уровни будут постепенно сближаться и в конечном итоге перейдут в континуум энергии при $E_{\text{кол.}}^{\text{ангарм.}} = D$ (рис. 3а).

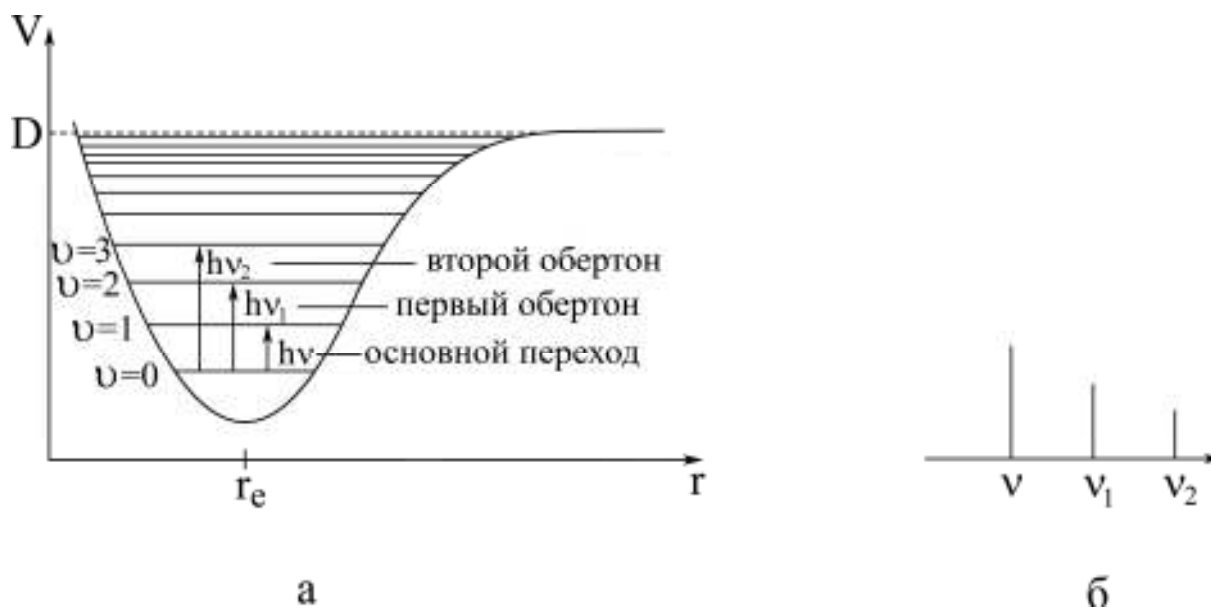


Рисунок 3. Кривая потенциальной энергии и уровни колебательной энергии ангармонического осциллятора (а). Схематический колебательный спектр ангармонического осциллятора (б).

В случае ангармонического осциллятора (реальной молекулярной системы) могут реализовываться переходы не только между соседними колебательными уровнями с $\Delta\nu = 1$, но и переходы с $\Delta\nu = 2, 3, \dots$. Это приводит к появлению в колебательном спектре нескольких полос с частотами ν, ν_1, ν_2 и т.д. (рис. 3б).

Линия (полоса) спектра, отвечающая переходу между колебательными уровнями с $\nu = 0$ и $\nu = 1$ ($\Delta\nu = 1$) называется основной частотой ($h\nu$ на рис. 3а). Колебательный переход между уровнями с $\nu = 0$ и $\nu = 2$ ($\Delta\nu = 2$) называется первым обертоном ($h\nu_1$ на рис. 3а), а переход между уровнями с $\nu = 0$ и $\nu = 3$ ($\Delta\nu = 3$) называется вторым обертоном ($h\nu_2$ на рис. 3а). Учитывая постепенное сближение колебательных уровней ангармонического осциллятора (рис. 3а) частота первого обертона ν_1 меньше, чем удвоенная частота основного перехода ν ; а частота второго обертона ν_2 меньше, чем утроенная частота ν .

3.2. Колебания многоатомных молекул.

Молекула, состоящая из N атомов, имеет $3N$ степеней свободы – это число независимых параметров для описания положения всех атомов молекулы в декартовых координатах (x , y , z). В нелинейной молекуле из всех $3N$ независимых параметров три степени свободы приходится на поступательное движение молекулы как целого и три на вращательное движение молекулы вокруг ее главных осей. Оставшиеся $3N-6$ степеней свободы представляют собой так называемые **нормальные колебания – независимые повторяющиеся сами по себе движения молекулы.**

Для линейной молекулы характерно $3N-5$ нормальных колебаний, т.к. линейные молекулы имеют три поступательных и две вращательных степени свободы молекулы как целого.

Полное колебательное движение молекулы можно представить в виде комбинации нормальных колебаний. В зависимости от строения органической молекулы в ИК-спектрах могут проявляться либо все нормальные колебания, либо часть из них.

Активными (проявляющимися) в ИК-спектрах являются только те колебания, которые сопровождаются изменением электрического дипольного момента μ связи. Основное колебание активно в ИК-спектре, если первая производная дипольного момента по нормальной координате r отлична от 0, т. е.:

$$d\mu/dr \neq 0.$$

Поэтому, обычно в ИК-спектрах органических соединений проявляются с высокой интенсивностью колебания полярных связей C–O, C=O, C–N, N=O, S=O и т.п.

Число полос поглощения в ИК-спектрах может отличаться от числа нормальных колебаний молекулы вследствие появления дополнительных полос: обертонов; составных частот; линий, обусловленных резонансом Ферми.

В ИК-спектроскопии очень важным является понятие характеристичности нормальных колебаний, т.е. соответствия их определенным группам атомов. **Характеристичным по частоте является нормальное колебание атомной группировки, частота которого сохраняется постоянной для ряда структурно родственных молекул, содержащих данную группировку.** Характеристичность по частоте проявляют колебания многих групп в органических соединениях, например, C=O, C=C, O-H, C-N и др. (см. таблицу характеристичных частот на стр. 14). Именно характеристичность колебаний позволяет использовать ИК-спектроскопию для идентификации органических соединений.

Нормальные колебания подразделяются на валентные ν и деформационные δ . В случае валентных колебаний происходит изменение длины связи вдоль ее оси, при этом различают валентные симметричные и асимметричные колебания (рис. 4а,б). Деформационные колебания сопровождаются изменением угла между связями (рис. 4в).

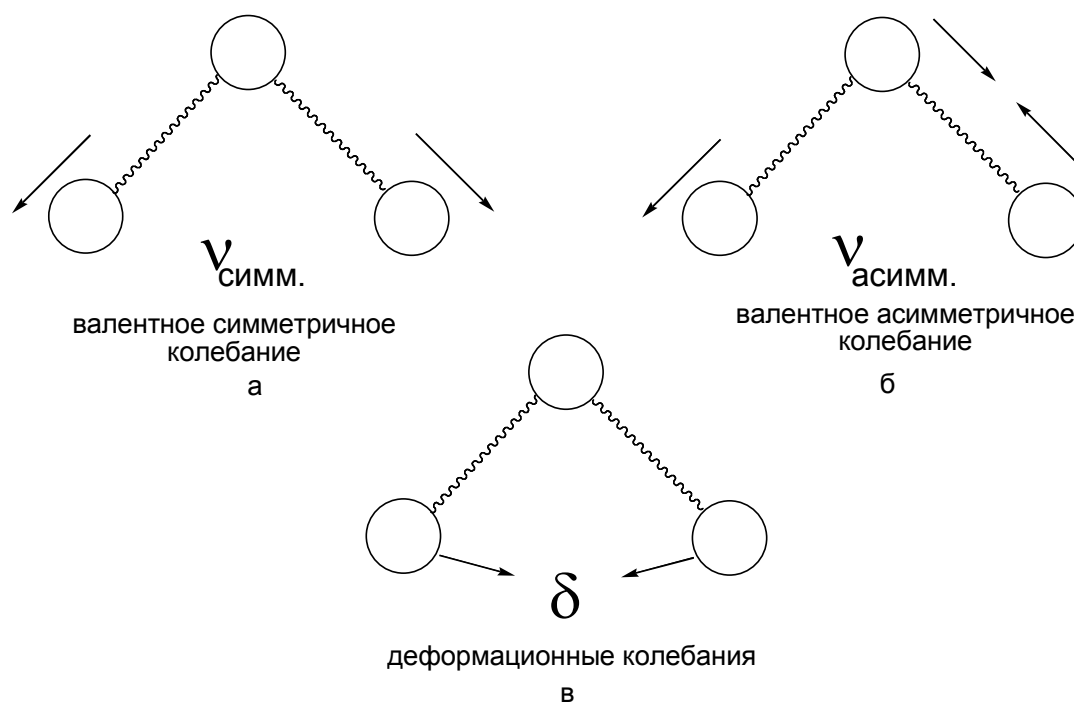


Рисунок 4. Типы колебаний.

4. Особенности инфракрасной спектроскопии органических и природных соединений

4.1. Основные области инфракрасного спектра. Рекомендации по интерпретации инфракрасных спектров

В ИК-спектрах органических соединений можно выделить три основные области:

1. 4000-2500 см^{-1} . Область валентных колебаний простых связей X–H: O–H, N–H, C–H, S–H.

2. 2500-1500 см^{-1} . Область валентных колебаний кратных связей X=Y, X≡Y: C=C, C=O, C=N, C≡C, C≡N.

3. 1500-500 см^{-1} . Область валентных колебаний простых связей X–Y: C–C, C–N, C–O и деформационных колебаний простых связей X–H: C–H, O–H, N–H. Эта область также называется "областью отпечатков пальцев", т.к. положение и интенсивность полос поглощения в этом диапазоне сугубо индивидуальны для каждого конкретного органического соединения. Только по полному совпадению частот и интенсивностей линий в этой области ИК-спектра можно говорить об идентичности сравниваемых объектов.

При интерпретации ИК-спектров наиболее информативными являются области 2500-1500 см^{-1} и 4000-2500 см^{-1} . Анализ первой из них позволяет определить в структуре соединения непредельные фрагменты: C=C, C≡C, C=O, C=N, C≡N, ароматические и гетероароматические ядра. Полосы поглощения в области 4000-2500 см^{-1} позволяют однозначно идентифицировать такие функциональные группы как O–H, N–H, S–H, а также различные типы связей углерод–водород $\text{C}_{\text{sp}^3}\text{–H}$, $\text{C}_{\text{sp}^2}\text{–H}$, $\text{C}_{\text{sp}}\text{–H}$, (O=)C–H (альдегид). Поэтому, рекомендуется начинать рассмотрение ИК-спектров именно с этих двух областей. При обнаружении в них характеристичных полос валентных колебаний определенных типов связей рекомендуется дополнительно найти полосы соответствующих деформационных колебаний в области 1500-500 см^{-1} , например, в случае связей O–H, N–H, C–H.

4.2. Практические рекомендации по регистрации инфракрасных спектров

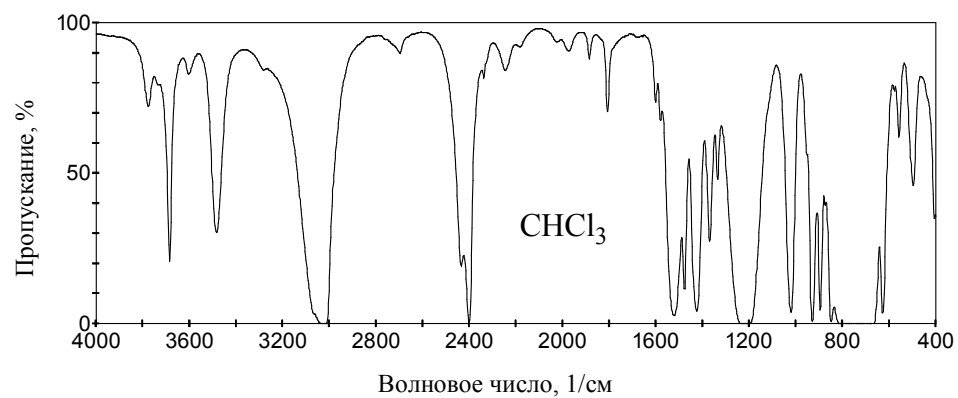
Современные спектрометры позволяют регистрировать ИК-спектры газообразных, жидких и твердых образцов. Для получения ИК-спектра органического или природного соединения необходимо всего от 1 до 10 мг вещества. Регистрация ИК-спектров осуществляется в кюветах изготовленных из бромида калия KBr или хлорида натрия NaCl – материалов, не поглощающих ИК-излучение в исследуемом диапазоне. ИК-спектры принято записывать в виде зависимости пропускания ИК-излучения (%) от волнового числа $\nu = 1/\lambda$ (см^{-1}). Поэтому максимумы пиков, отвечающие наибольшему поглощению ИК-излучения, обращены вниз (см. Приложение).

В большинстве случаев ИК-спектры органических и природных соединений регистрируют либо в виде растворов веществ в хлороформе CHCl_3 , четыреххлористом углероде CCl_4 , сероуглероде CS_2 , либо в виде твердых прозрачных таблеток, полученных прессованием под давлением мелко размолотой смеси вещества с бромидом калия. Иногда используют метод съемки ИК-спектра вещества в виде мелко растертой суспензии в вазелиновом или минеральном масле.

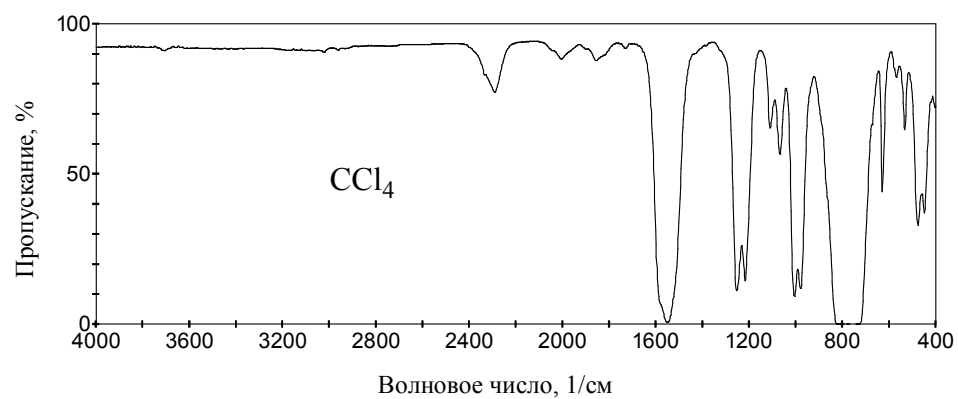
В случае регистрации ИК-спектров соединений в растворах или суспензиях необходимо вычитать полосы поглощения растворителей или суспендирующей среды. При интерпретации ИК-спектров веществ, полученных в растворах в CHCl_3 и CCl_4 , нужно учитывать, что в зонах собственного поглощения этих растворителей отнесение линий спектра может быть неоднозначным. На рис. 5 а,б приведены ИК-спектры CHCl_3 и CCl_4 . Для CHCl_3 характерно интенсивное собственное поглощение в диапазонах: 3100-3000, 1250-1200, 800-650 см^{-1} . CCl_4 имеет поглощение в интервалах: 1560-1540, 800-700 см^{-1} . В указанных областях поглощение растворителей может маскировать полосы анализируемых веществ. На рис. 5в также приведен ИК-спектр таблетки KBr. Поглощение ИК-излучения бромидом калия начинается ниже 450 см^{-1} и не маскирует поглощение органических соединений.

При регистрации ИК-спектров органических и природных соединений часто наблюдаются линии поглощения примесей в образцах. Обычно это сигнал воды около 3450 см^{-1} , колебания диоксида углерода (как примеси из атмосферы) при 2360-2325 см^{-1} . Иногда образцы загрязнены силиконовыми смазками, имеющими полосы при 1625 см^{-1} и 1100-1000 см^{-1} , или фталатами,

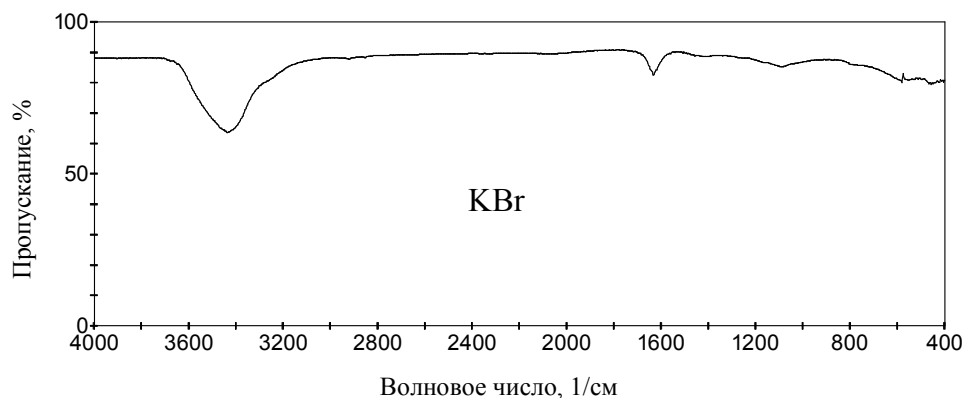
проявляющимися в виде пика 1725 см^{-1} . Следует помнить, что кюветы для ИК-спектроскопии, изготовленные из KBr и NaCl , чувствительны к воздействию следов воды и со временем мутнеют и выходят из строя. Поэтому, необходимо тщательно сушить образцы и растворители перед съёмкой ИК-спектров.



а



б



в

Рисунок 5. ИК-спектры CHCl_3 (а), CCl_4 (б), зарегистрированные в кювете толщиной 1мм, и ИК-спектр таблетки KBr (в). Все спектры сняты относительно воздуха.

5. Таблица характеристичных колебательных частот органических соединений

Группы и типы колебаний	Диапазон частот (см ⁻¹), интенсивность полос поглощения
<i>Простые ковалентные связи C-H</i>	
алканы C_{sp3}-H валентные деформационные	2975-2860 (сильн.) 1470-1430 (средн.) 1380-1370 (сильн.)
циклопропаны валентные (C-H) деформационные (CH ₂)	3100-3000 (средн.) 1020-1000 (средн.)
OCH₃ валентные	2820-2810 (сильн.)
NCH₃ валентные	2820-2780 (сильн.)
CH₃Hal (F, Cl, Br, I) валентные	3058-3005 (сильн.)
алкены C_{sp2}-H валентные (=CH ₂) деформационные (-CH=CH ₂) валентные (=CH-) деформационные (-CH=CH-) транс- цис-	3095-3075 (средн.) 1420-1410 (сильн.) 995-985 (сильн.) 915-905 (сильн.) 3040-3010 (средн.) 1310-1295 (средн.) 970-960 (сильн.) около 690 (средн.)
арены C_{аром.}-H валентные деформационные	~3030 (сильн.) 900-690(сильн.)
альдегиды валентные (-CHO) (2 полосы)	2900-2820 (слаб.) 2775-2700 (слаб.)
алкины C_{sp}-H валентные (≡C-H) деформационные (-C≡C-H)	3300 (сильн.) 680-610 (сильн.)

<i>Простые ковалентные связи X-H</i>	
<p>O-Н свободная валентные деформационные</p>	<p>3650-3590 (сильн., узкая) 1450-1250 (средн., широкая)</p>
<p>O-Н связанная H-связью валентные спирты, фенолы, углеводы карбоновые кислоты</p>	<p>3550-3200 (сильн., широкая) 2700-2500 (широкая)</p>
<p>N-H первичные амины и амиды (-NH₂) валентные (2 полосы) деформационные (полоса амид II)</p> <p>вторичные амины и амиды (-NH-) валентные (1 полоса) деформационные (полоса амид II)</p> <p>аминокислоты валентные (NH₃⁺)</p> <p>деформационные (NH₃⁺) аминокислотная полоса I аминокислотная полоса II</p> <p>имины (=NH-) валентные (1 полоса)</p>	<p>3500-3300 (средн.) 1650-1590 (сильн.-средн.)</p> <p>3500-3300 (средн.) 1650-1550 (слаб.)</p> <p>3130-3030 (средн.)</p> <p>1660-1610 (слаб.) 1550-1485 (средн.)</p> <p>3400-3300 (средн.)</p>
<p>S-H валентные</p>	<p>2600-2550 (средн.)</p>
<p>P-H валентные</p>	<p>2440-2350 (средн., широкая)</p>
<p>Si-H валентные</p>	<p>2280-2080 (средн.)</p>
<i>Простые ковалентные связи X-Y</i>	
<p>алкильные группы C_{sp3}-C_{sp3} валентные</p>	<p>1250-1200 (сильн.)</p>
<p>C-O валентные спирты первичные</p>	<p>1075-1000 (сильн.)</p>

спирты вторичные спирты третичные фенолы	1150-1075 (сильн.) 1210-1100 (сильн.) 1260-1180 (сильн.)
простые эфиры диалкиловые (-CH ₂ -O-CH ₂ -) ароматические (Ar-O-Ar)	1150-1060 (оч. сильн.) 1270-1230 (оч. сильн.)
C-N валентные алифатические амины	1220-1020 (средн.-слаб.) около 1410 (слаб.)
ароматические амины первичные ароматические амины вторичные ароматические амины третичные	1340-1250 (сильн.) 1350-1280 (сильн.) 1360-1310 (сильн.)
алифатические нитросоединения	920-830 (сильн.)
ароматические нитросоединения	860-840 (сильн.)
C-Hal валентные C-F C-Cl C-Br C-I	1400-1000 (оч. сильн.) 800-600 (сильн.) 600-500 (сильн.) около 500 (сильн.)
C-S валентные	710-570 (слаб.)
C-P валентные	800-700 (перем.)
S-O валентные	870-690 (перем.)
<i>Двойные ковалентные связи X=Y</i>	
C=C валентные изолированная двойная связь алкены	1670-1620 (перем.)
кумулярованные двойные связи аллены (C=C=C)	1950 (сильн.) 1060 (средн.)

сопряженные двойные связи ($C=C-C=C$ или $C=C-C=O$) алкадиены и еноны бензольное кольцо (несколько полос)	1640-1600 (сильн.) 1600 (перем.) 1580 (средн.) 1500 (перем.) 1450 (средн.)
$C=O$ валентные насыщенные альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты, сложные эфиры α -аминокислоты ($COOH$) аминокислоты (COO^-) ненасыщенные и ароматические альдегиды и кетоны амиды (полоса амид I)	1750-1700 (сильн.) 1755-1720 (сильн.) 1600-1560 (сильн.) 1705-1660 (сильн.) 1700-1630 (сильн.)
$C=N$ валентные	1690-1630 (перем.)
$C=S$ валентные	1200-1050 (сильн.)
$N=N$ валентные	1630-1575 (перем.)
$-N=C=N-$ валентные	2155-2130 (сильн.)
$N=O$ валентные нитриты ($-O-N=O$) (2 полосы) нитрозосоединения ($-C-N=O$) нитрозамины ($-N-N=O$)	1680-1610 (сильн.) 1600-1500 (сильн.) 1500-1430 (сильн.)
$S=O$ сульфоксиды	1225-980 (сильн.)
$P=O$	1300-960 (сильн.)

<i>Тройные ковалентные связи X≡Y</i>	
C≡C валентные монозамещенные производные (HC≡C-) дизамещенные производные (-C≡C-)	2140-2100 (сильн.) 2260-2190
C≡N валентные алифатические нитрилы ароматические нитрилы	2260-2240 (сильн.) 2240-2220 (сильн.)
N≡N валентные азиды	2160-2120 (сильн.) 1340-1180 (слаб.)
изонитрилы R-N⁺≡C⁻ валентные	2150-2110 (сильн.)
соли диазония R-N⁺≡N валентные	2310-2130 (средн.)
ацильные катионы R-C≡O⁺ валентные	2300-2000 (сильн.)
<i>Группы XO₂</i>	
NO₂ валентные нитросоединения (-NO ₂) нитраты (-O-NO ₂)	1570-1500 (сильн.) 1370-1300 (сильн.) 1650-1600 (сильн.) 1300-1250 (сильн.)
SO₂ валентные сульфоны (SO ₂) O-SO ₂ -	1350-1300 (сильн.) 1160-1140 (сильн.) 1200-1145 (сильн.) 1420-1330 (сильн.)

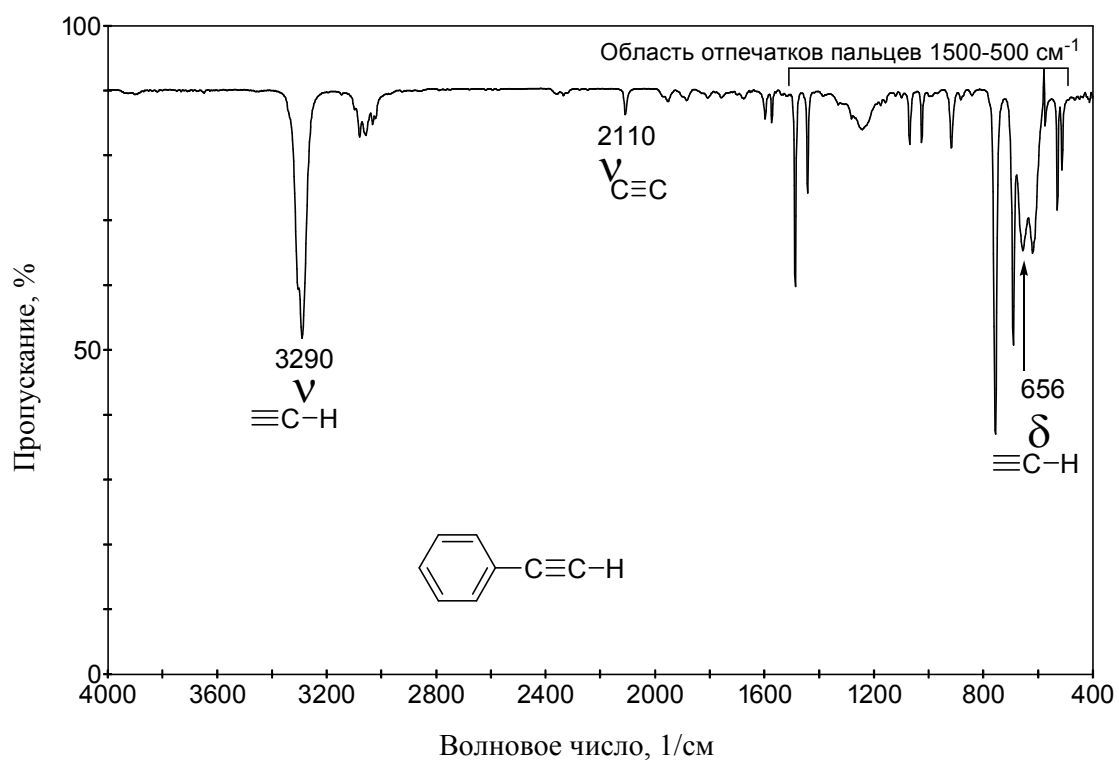
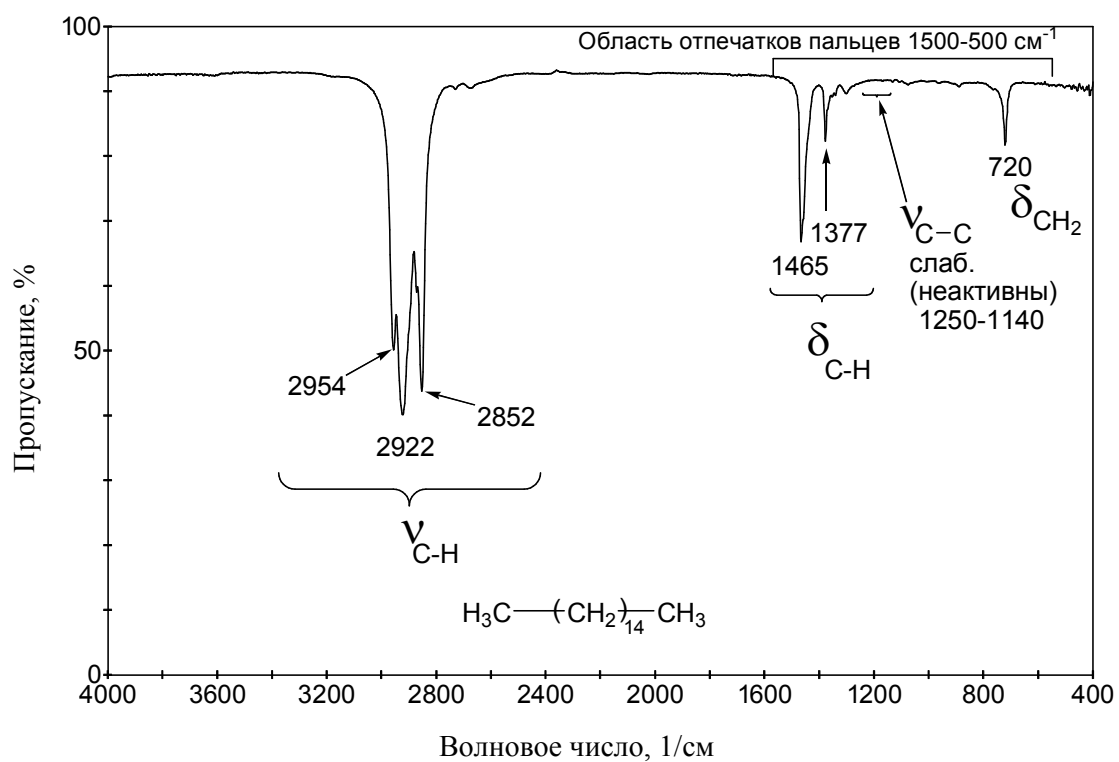
6. Список рекомендуемой литературы

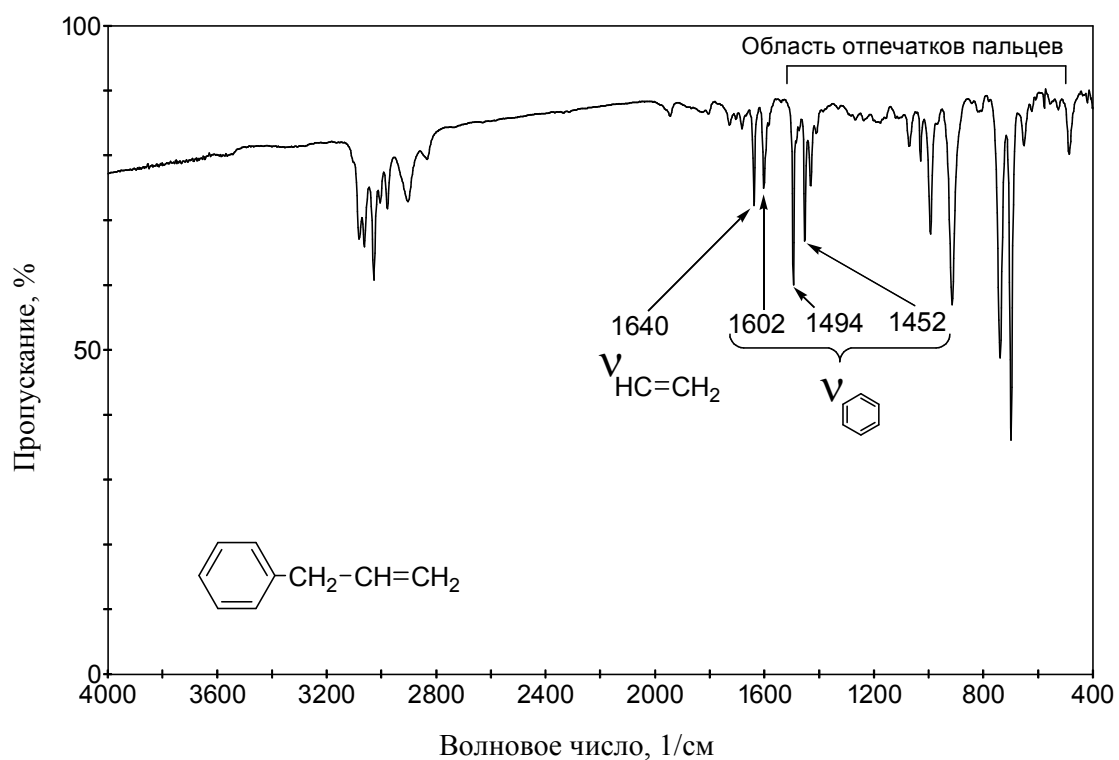
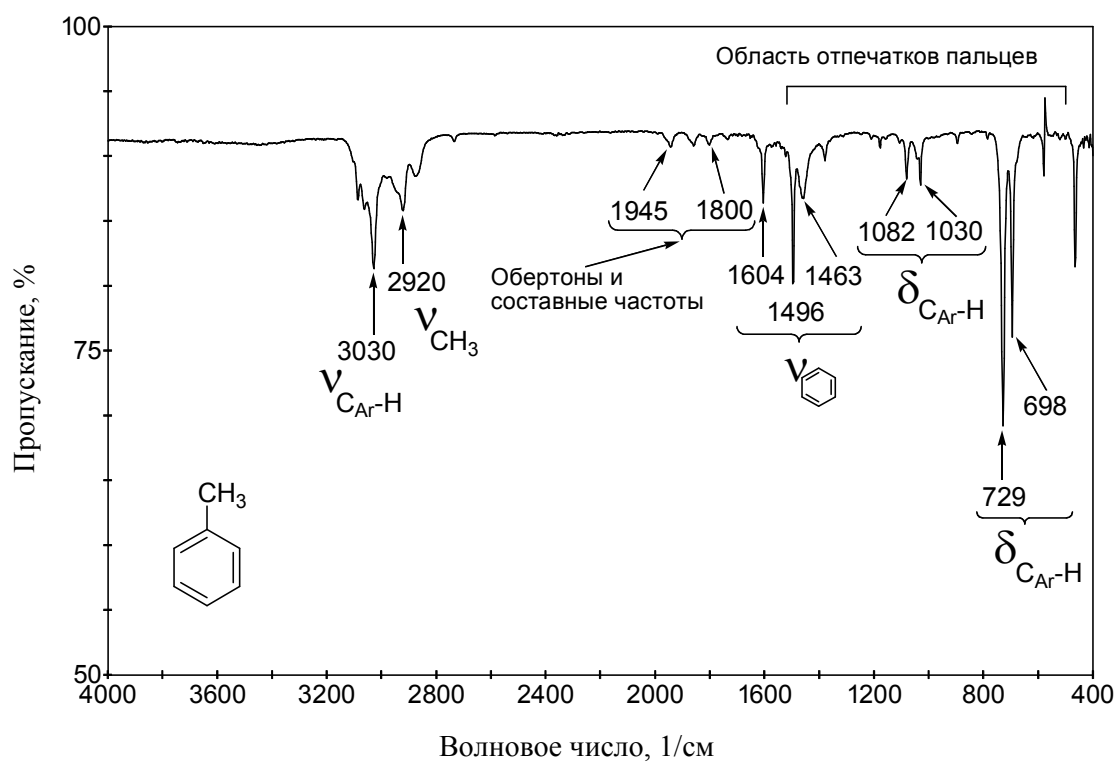
1. Преч Э., Бюльманн Ф., Аффольтер К. Определение строения органических соединений. М: Мир, 2006.
2. Пентин Ю.А., Вилков Л.В. Физические методы исследования в химии. М: Мир, 2003.
3. Браун Д., Флloyd А., Сейнзбери М. Спектроскопия органических веществ. М: Мир, 1992.
4. Бахшиев Н.Г. Введение в молекулярную спектроскопию. Л.: Химия, 1987.
5. Иоффе Б.В., Костиков Р.Р., Разин В.В. Физические методы определения строения органических соединений. М.: Высш. школа, 1984.
6. Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия. М.: Мир, 1982.
7. Драго Р. Физические методы в химии, в 2-х т. М.: Мир, 1981.
8. Сильверстейн Р., Басслер Г., Морил Т. Спектрометрическая идентификация органических соединений. М.: Мир, 1977.
9. Беллами Л. Новые данные по ИК-спектрам сложных молекул. М.: Мир, 1971.
10. Бранд Дж., Эглинтон Г. Применение спектроскопии в органической химии. М.: Мир, 1967.
11. Наканиси К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений. М.: Мир, 1965.
12. Беллами Л. ИК-спектры сложных молекул. М.: Мир, 1963.

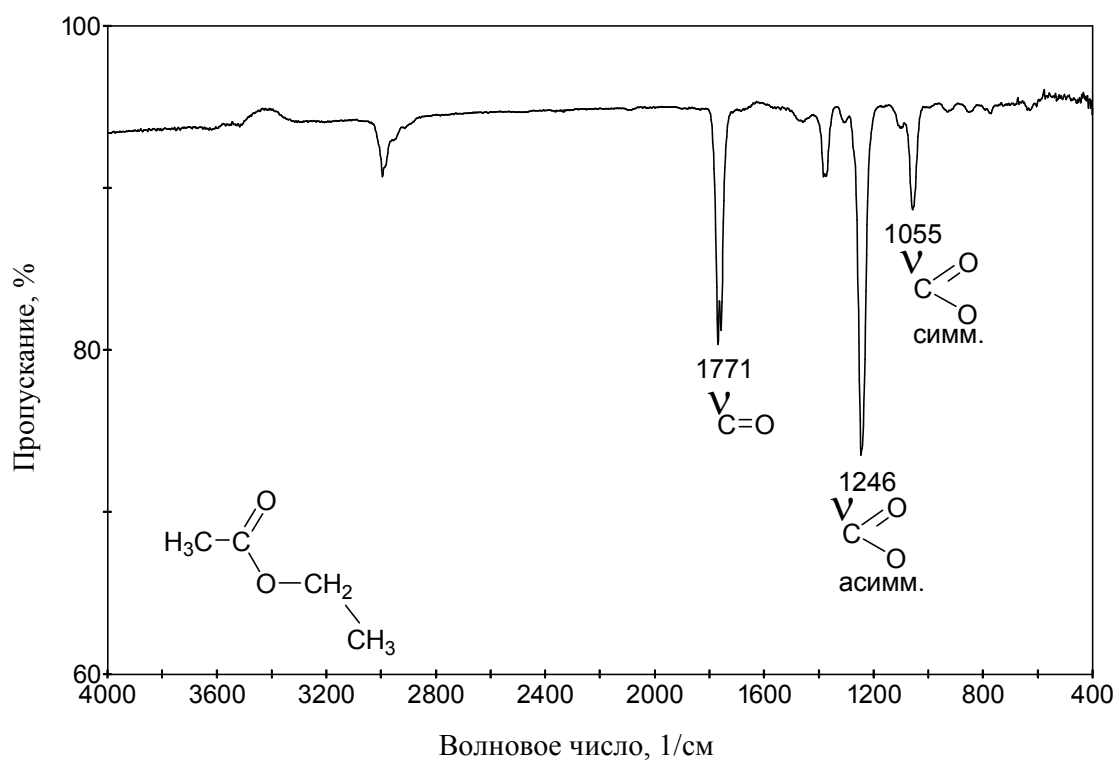
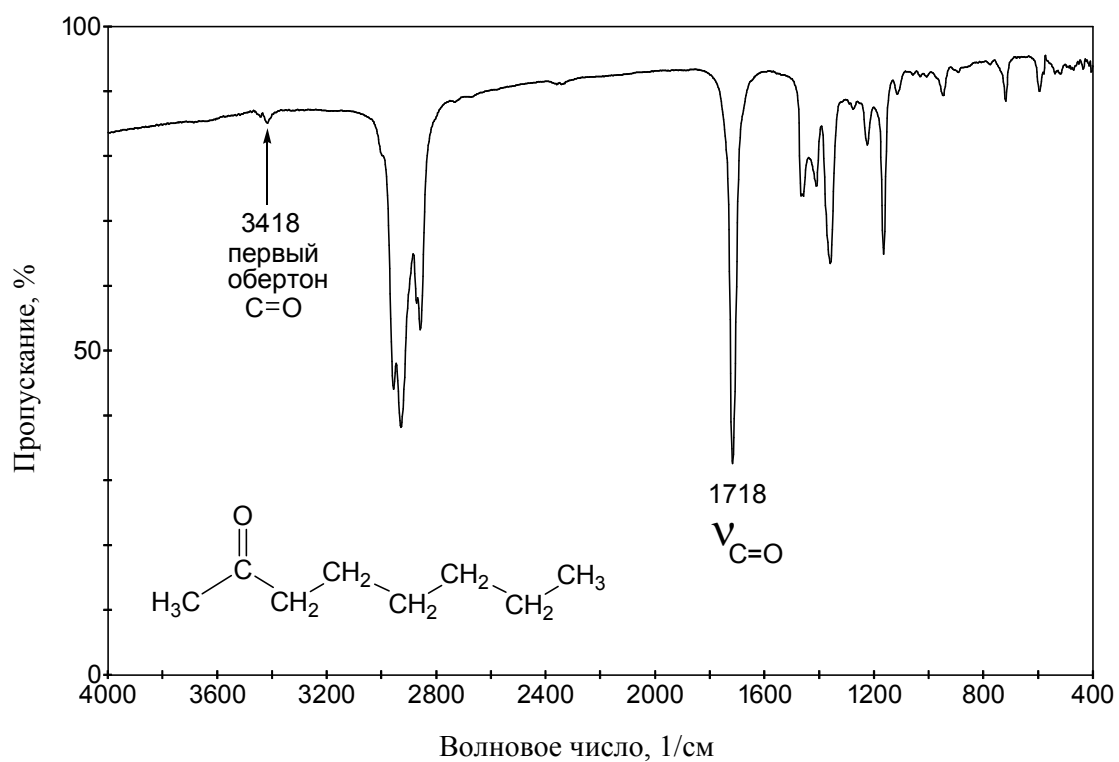
ПРИЛОЖЕНИЕ

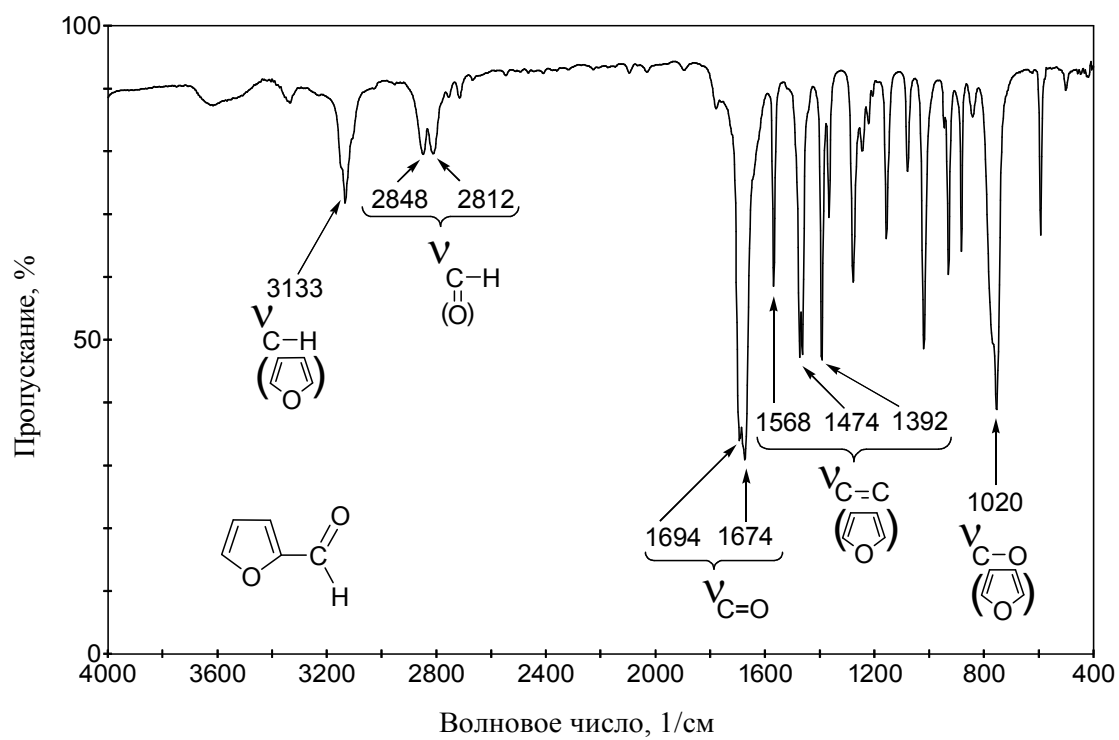
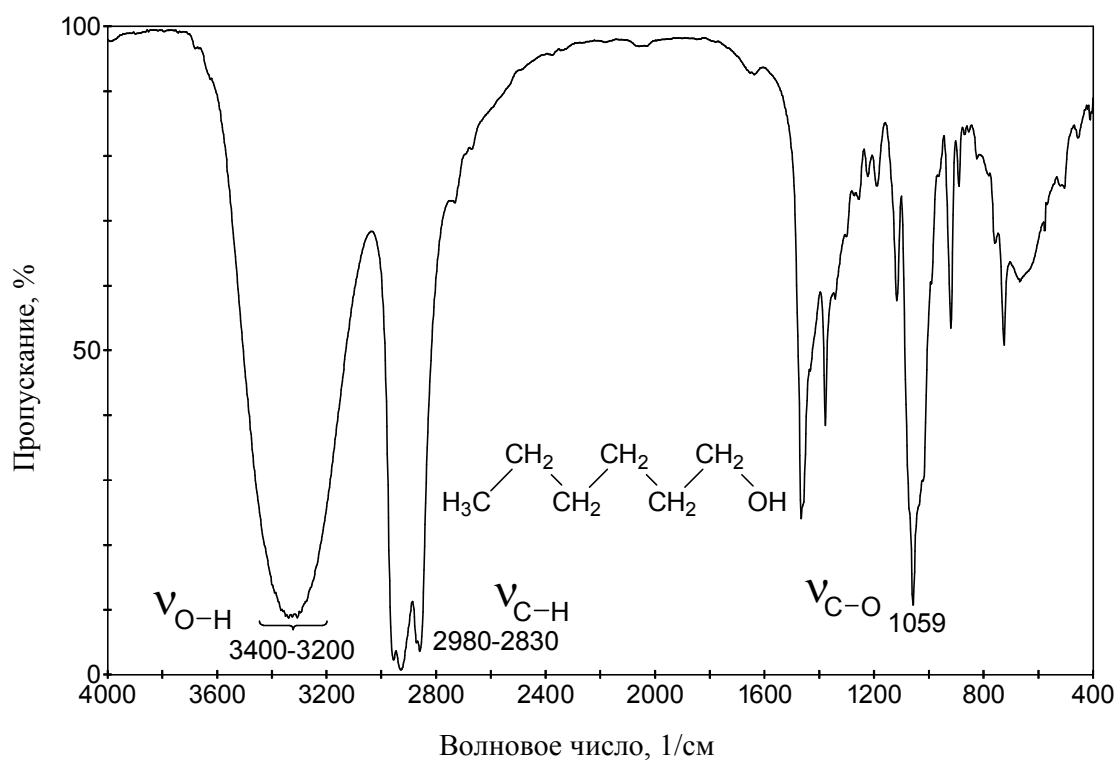
ИНФРАКРАСНЫЕ СПЕКТРЫ ОРГАНИЧЕСКИХ И ПРИРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

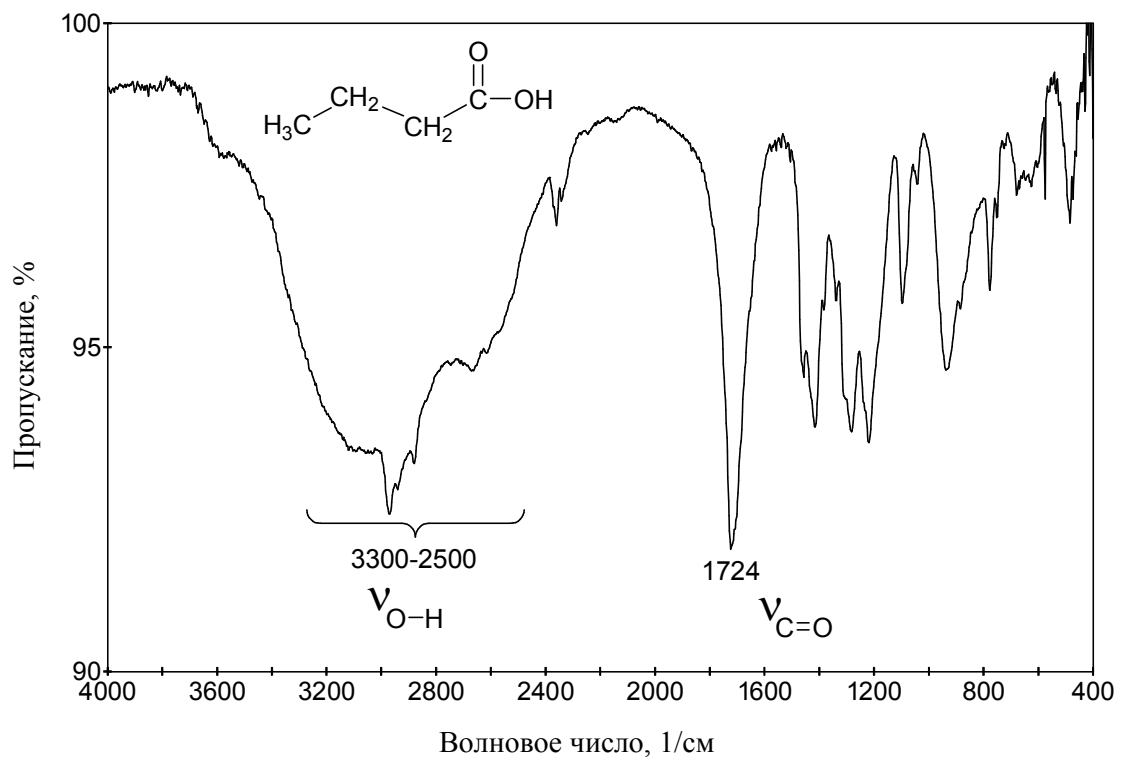
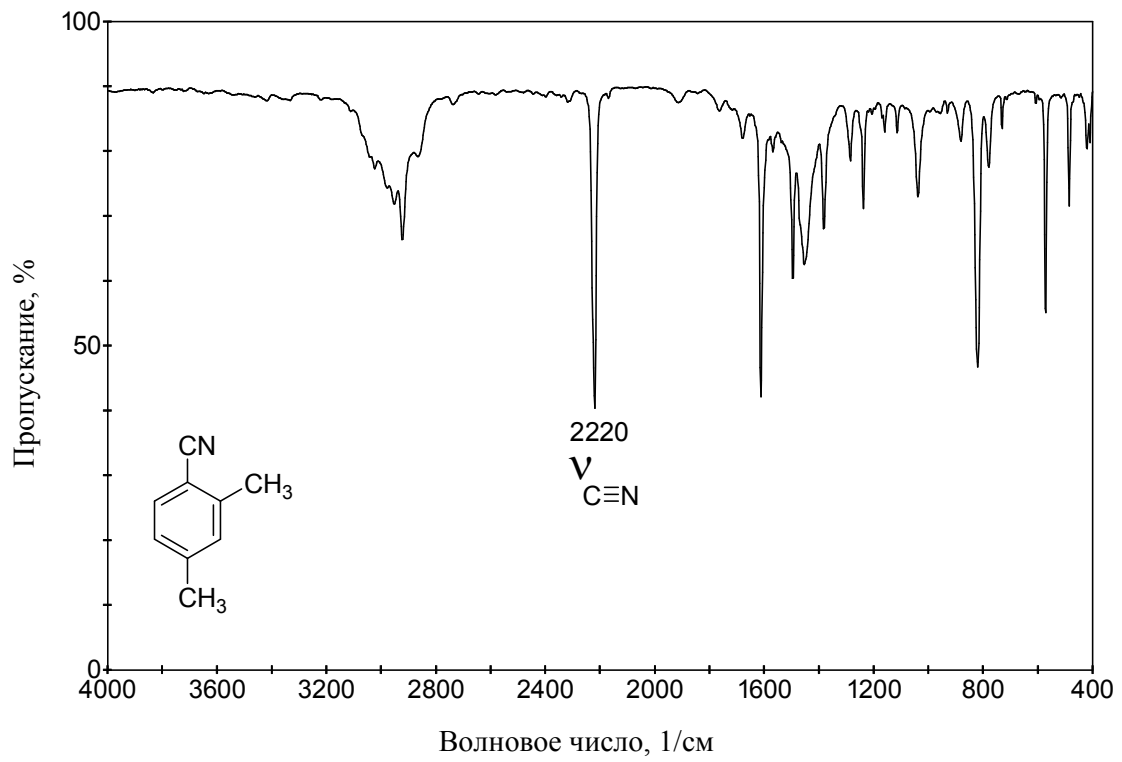
Представленные ИК-спектры веществ зарегистрированы в виде таблеток с KBr или, для некоторых жидких образцов, в виде тонкого слоя на поверхности таблетки KBr. Спектры сняты на лабораторном ИК-фурье-спектрометре ФСМ-1201.

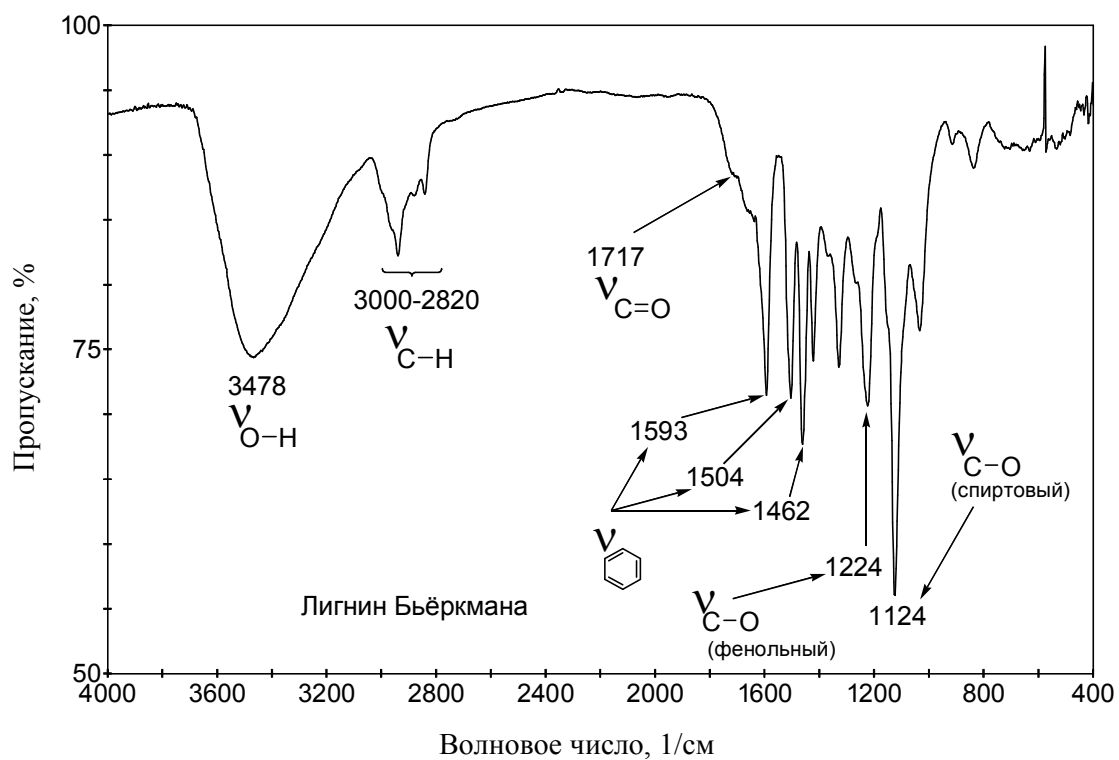
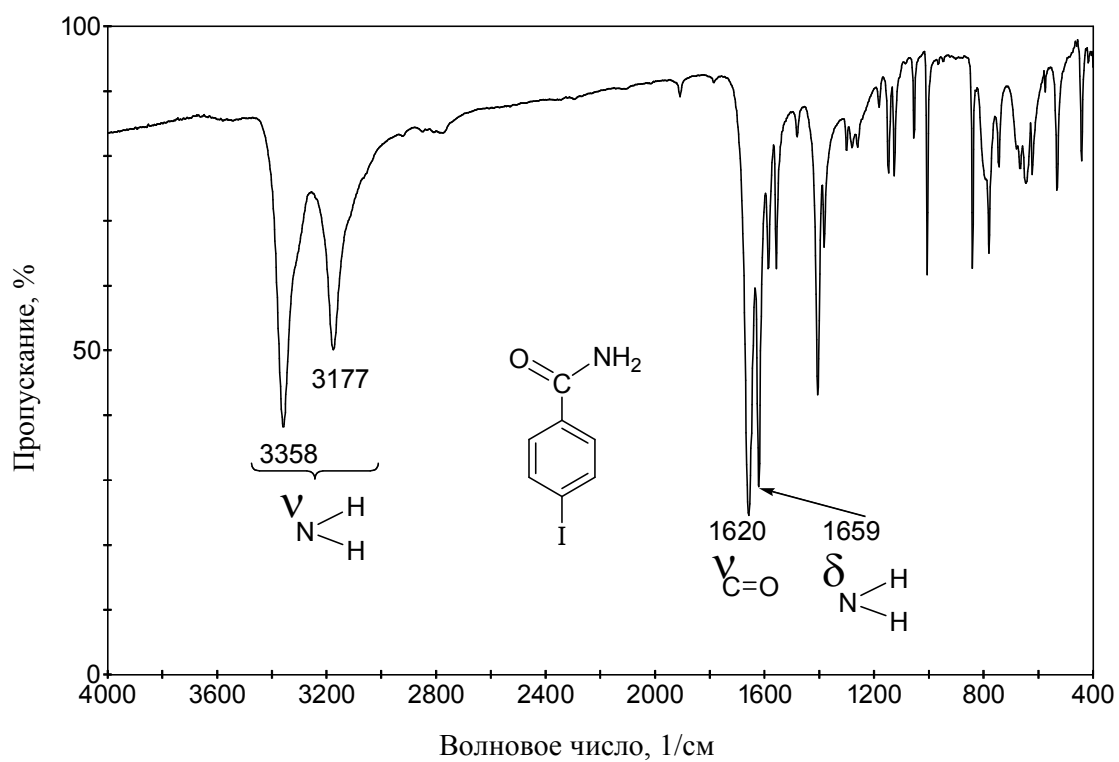


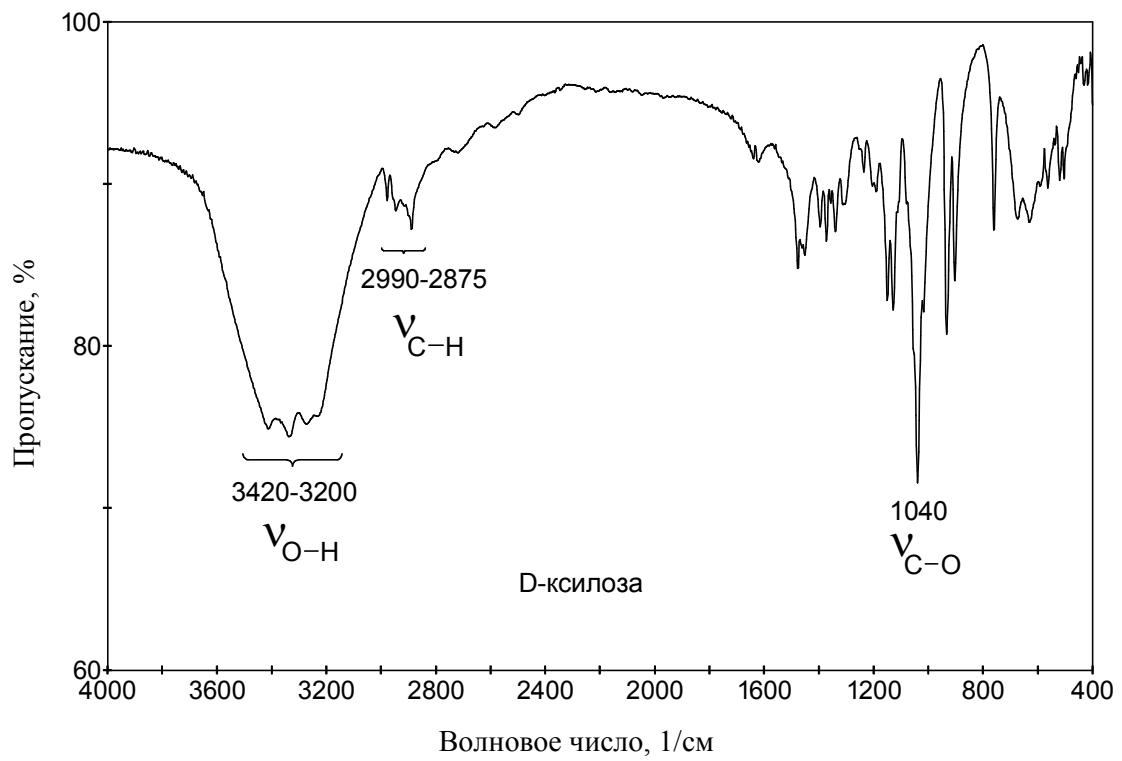
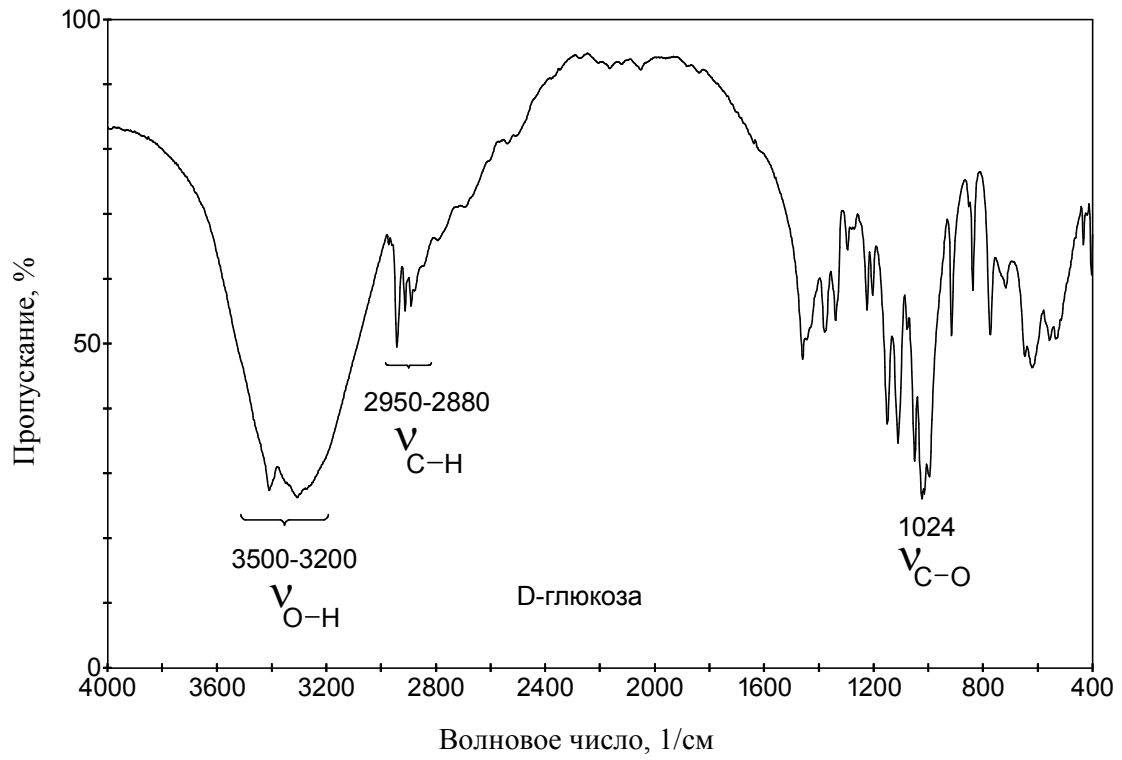


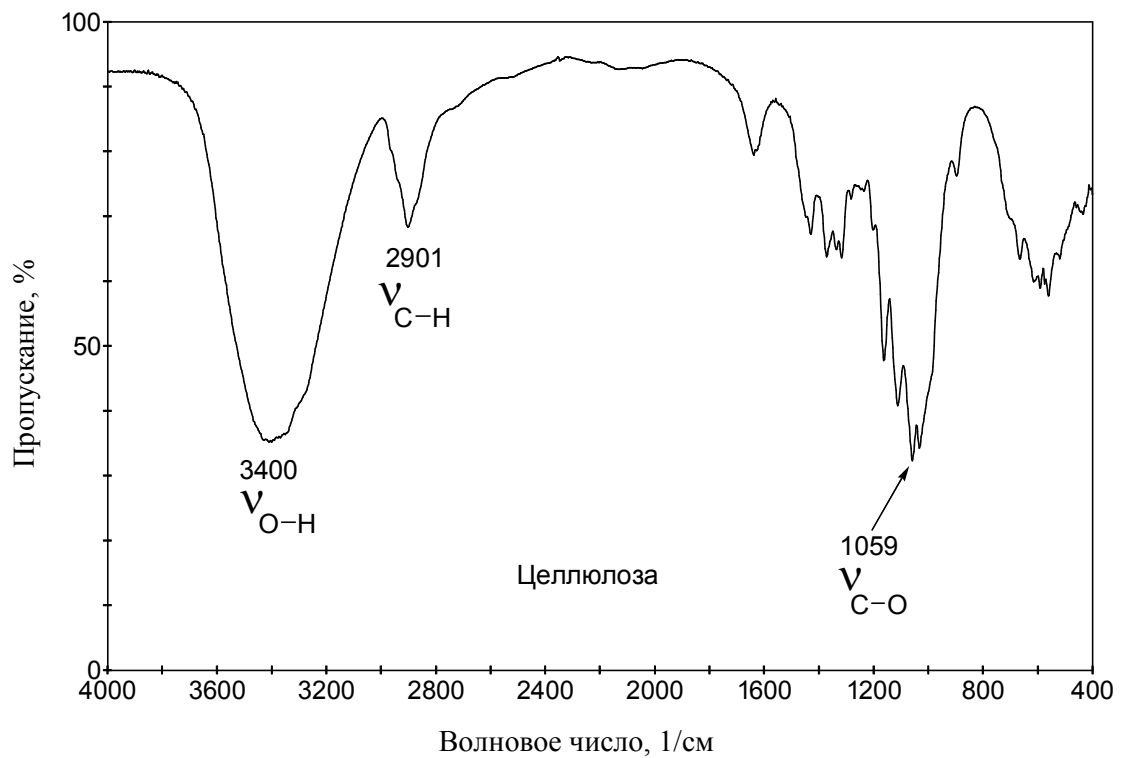
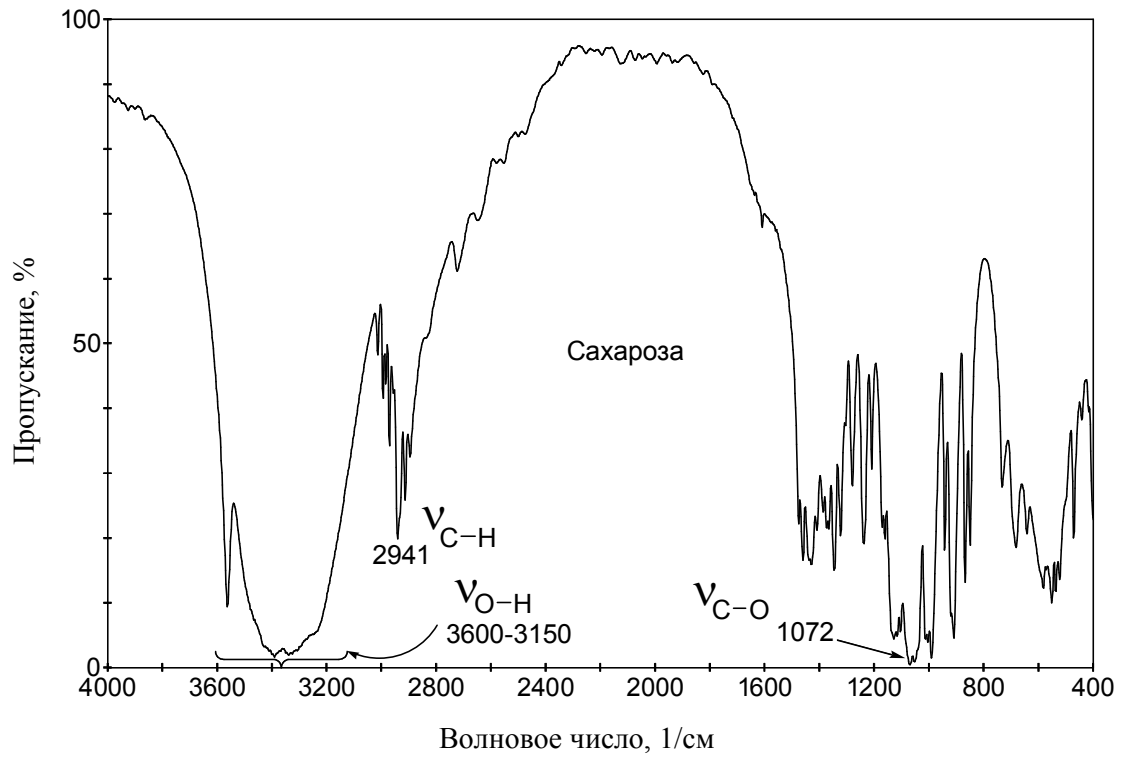












Александр Викторович Васильев

Елена Владимировна Гриненко

Андрей Олегович Щукин

Татьяна Германовна Федulina

**ИНФРАКРАСНАЯ
СПЕКТРОСКОПИЯ
ОРГАНИЧЕСКИХ И ПРИРОДНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ**

Учебное пособие для студентов химических
и химико-технологических специальностей
высших учебных заведений