

## К ВОПРОСУ О СТРУКТУРЕ ГИДРАТЦЕЛЛЮЛОЗЫ

*Б. И. Степанов, Р. Г. Жбанков, Р. Маупов*

Как известно, целлюлоза может находиться в двух различных структурных модификациях — природной целлюлозы и гидратцеллюлозы [1]. Обе модификации целлюлозы значительно различаются по реакционной способности, гигроскопичности, накрашиваемости и т. д. Тем не менее структурные особенности гидратцеллюлозы выяснены недостаточно, что связано, в частности, с малой избирательностью химических методов исследования к структурным факторам.

Известные в настоящее время сведения о различии строения природной целлюлозы и гидратцеллюлозы получены главным образом из рентгеноструктурного анализа. Предполагается, что при переходе от природной целлюлозы к гидратцеллюлозе происходит поворот плоскостей остатков *d*-глюкопиранозы на 90° и сдвиг цепей макромолекул [2—4].

В данной работе для изучения строения гидратцеллюлозы применены методы инфракрасной спектроскопии, весьма чувствительные к изменению структуры.

Известно лишь небольшое число работ по инфракрасным спектрам гидратцеллюлозы. Несколько из них посвящено изучению водородной связи в ее структуре [5—7]. Форзиати и Ровеном проведено сравнение инфракрасных спектров целлюлозы в различных структурных модификациях [8]. В этом исследовании авторы ограничились лишь общими замечаниями. Спектры целлюлозных волокон получались ими путем приготовления взвесей в органическом масле. В области поглощения масла истинный спектр целлюлозы не выявлен. В работах [9—10] путем применения более совершенной методики были впервые изучены спектры природных целлюлозных волокон различного происхождения и их гидратцеллюлоз, а также целлюлоз, регенерированных после обработки щелочью разной концентрации. При переходе от природной модификации целлюлозы к гидратцеллюлозе в спектре (независимо от происхождения целлюлозы) происходит заметное уменьшение интенсивности полос 1430, 1340 и 1320  $\text{cm}^{-1}$ , увеличение поглощения в области 900  $\text{cm}^{-1}$  и появление новой полосы 970  $\text{cm}^{-1}$ . Эти превращения спектра оказались чувствительны в определенных пределах к концентрации щелочи (8—17,5 %-водных растворов NaOH).

Полученные результаты были впоследствии подтверждены работами других авторов [11—12] и легли в основу спектрального метода определения степени мерсеризации целлюлозы [13]. В исследовании [14] рассмотрены инфракрасные спектры целлюлозы, регенерированной после обработки щелочью в процессе вискозного производства. Приведенный в работе экспериментальный материал подтвердил, в частности, сделанный в [9—10] вывод о специфике групп  $\text{CH}_2$  в мерсеризованной целлюлозе. Совсем недавно Мерчессаутом и Лиангом были получены спектры двоякоориентированных пленок мерсеризованной целлюлозы [15]. Уменьшение интенсивности полос групп  $\text{CH}_2$  в спектре мерсеризованной целлюлозы авторы объясняют изменением ориентации их дипольных моментов относительно оси волокна и плоскости 101. Однако такое объяснение могло быть пригодно лишь для случая двоякоориентированных пленок целлюлозы,

когда плоскости глюкозидных остатков и оси макромолекул ориентированы определенным образом относительно поверхности образца. Как показано в [9–10], аналогичные спектральные различия между нативной и мерсеризованной целлюлозой имеют место и при хаотическом расположении волокон в образце.

### Методика эксперимента

В настоящее время применяются в основном две методики уменьшения светорассеяния волокон целлюлозы: получение пленок волокон целлюлозы путем их непосредственного прессования [16] и запрессовка размельченных волокон в среду щелочных металлов [17–18]. Применение первой методики позволяет получить оптически более однородную систему, избежать механического диспергирования образца и его контакта с солями (щелочными галогенидами). К ее недостаткам следует отнести экспериментальную трудность получения образцов малой толщины, поэтому их общее светорассеяние весьма значительно. В отдельных случаях фон достигает порядка 50%.

Как показали исследования, наибольшее уменьшение светорассеяния волокон целлюлозы достигается помещением пленок, полученных непосредственным прессованием в жидкую иммерсионную среду, и, в частности в четыреххлористый углерод или в тетрахлорэтилен. Эти среды особенно удобны, так как они прозрачны в интересующих нас областях  $3500–2700$ ,  $1500–1300 \text{ см}^{-1}$ . Применение подобной методики позволило уменьшить светорассеяние пленок волокон целлюлозы на 30–35%. При максимуме поглощения в области

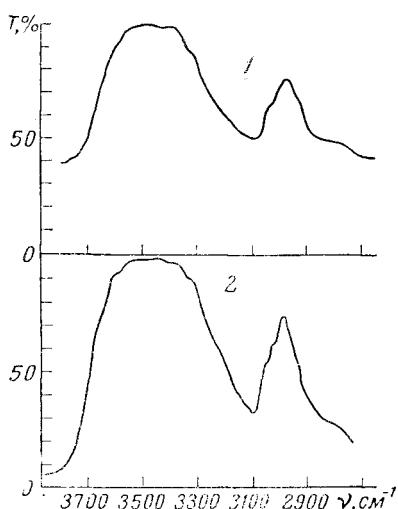


Рис. 1. Спектры полученных прессованием образцов древесной целлюлозы до (1) и после (2) помещения в среду четыреххлористого углерода

$1300–1500 \text{ см}^{-1}$  порядка 80%, фон, обусловленный светорассеянием, не превышал 5%.

Использование этой методики особенно удобно для правильной оценки структуры и контура полос в длинноволновой области спектра, где светорассеяние обычно более значительно. На рис. 1 приведены спектры в области  $2700–3700 \text{ см}^{-1}$  (призма LiF) полученного по методике [16] образца целлюлозы до и после помещения в среду четыреххлористого углерода.

Помимо образцов волокнистых целлюлоз в работе получены спектры различных моно-, ди- и полисахаров (*d*-глюкозы, *d*-галактозы, мальтозы, целлобиозы, лактозы, раффиозы, галактана, амилозы и т. д.).

Образцы сахаров получались путем запрессовки в KBr в условиях вакуума при прочих стандартных условиях.

Получение спектров производилось на инфракрасном спектрофотометре UR-10. На рис. 2 и 3 воспроизведены записи, полученные на приборе. Пунктиром обозначена область, где возможно искажение спектра за счет поглощения четыреххлористого углерода.

Как уже отмечалось, спектр гидратцеллюлозы отличается от спектра природной целлюлозы уменьшением интенсивности полосы  $1430 \text{ см}^{-1}$ . Полоса  $1430 \text{ см}^{-1}$  однозначно связана с внутренними деформационными колебаниями групп  $\text{CH}_2$ . Известно, что химическое строение природной целлюлозы и гидратцеллюлозы идентично. Поэтому нивелировку полосы  $1430 \text{ см}^{-1}$  нельзя отнести за счет уменьшения числа групп  $\text{CH}_2$ .

Для определения природы обнаруженного явления в настоящей работе основное внимание уделено анализу спектров в области валентных и деформационных колебаний групп  $\text{CH}_2$ .

а) Область валентных колебаний  $\text{CH}$ . В области 3000—2800  $\text{cm}^{-1}$  в спектре волокон целлюлозы наблюдается интенсивная

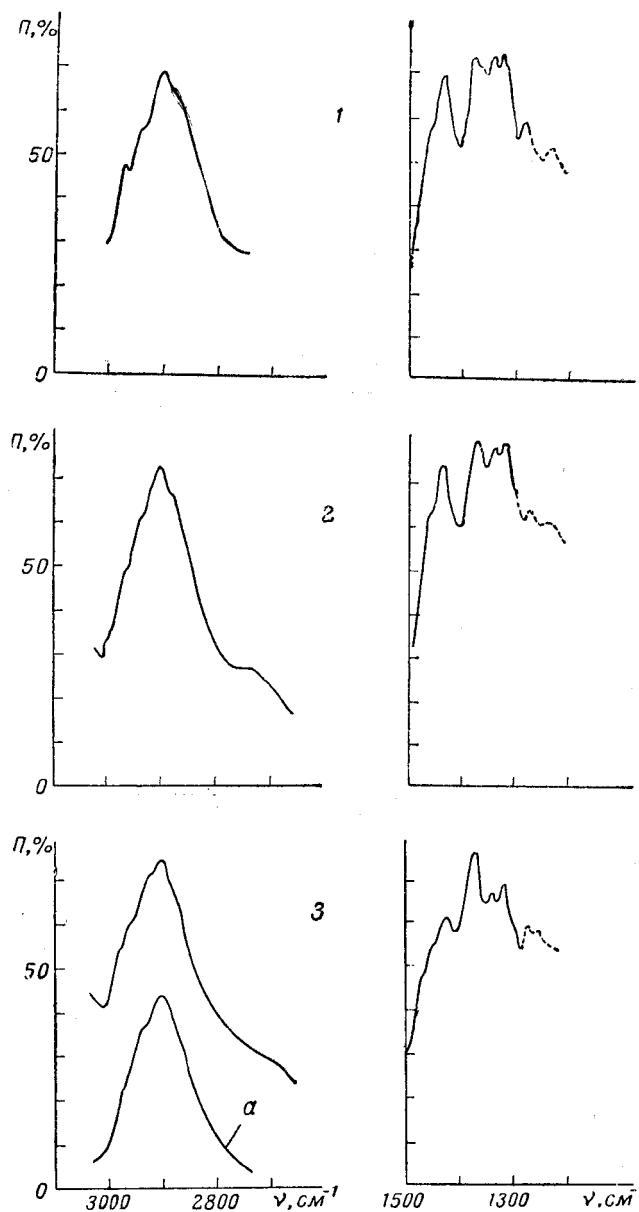


Рис. 2. Спектры хлопковой (1), древесной (2) и мерсеризованной древесной целлюлозы (3) в области 3000—2800 и 1500—1300  $\text{cm}^{-1}$ . В области 3000—2800  $\text{cm}^{-1}$  приведен также спектр мерсеризованной хлопковой целлюлозы (3а). Толщина пленок порядка 13—15  $\mu$

полоса с основным максимумом около 2900  $\text{cm}^{-1}$ . Эта полоса в спектре волокон хлопковой целлюлозы имеет всегда воспроизводимые, довольно отчетливые выступы 2960, 2940 и 2870  $\text{cm}^{-1}$  (рис. 2). Спектр древесной целлюлозы характерен менее отчетливо выраженной полосы

$2900\text{ cm}^{-1}$  и в отдельных случаях появлением слабого выступа  $2920\text{ cm}^{-1}$ . При превращении хлопковых волокон в гидратцеллюзную модификацию структура полосы  $2900\text{ cm}^{-1}$  сглаживается.

В спектрах моно- и дисахаров возникает очень характерная структура полосы в анализируемой области, специфичная для каждого соединения

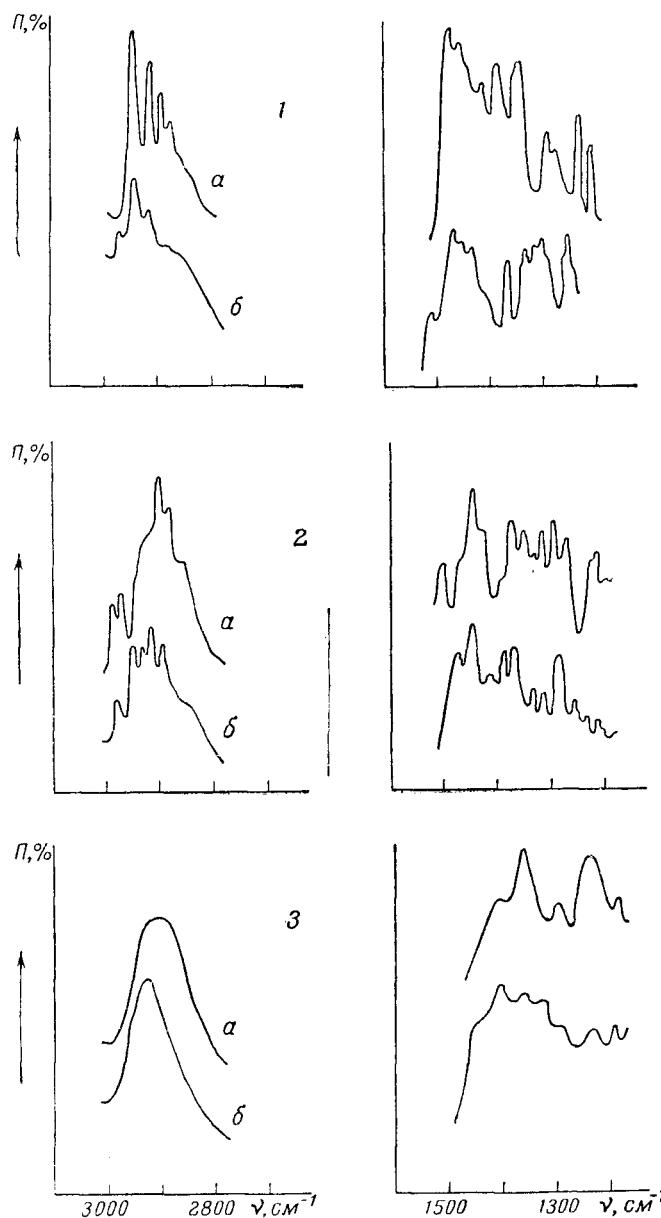


Рис. 3. Спектры *d*-глюкозы и *d*-галактозы (1 $a$ , 1 $b$ ), целлобиозы и мальтозы (2 $a$ , 2 $b$ ), амилозы и ламинарина (3 $a$ , 3 $b$ ) в области  $3000$ — $2800$  и  $1500$ — $1300\text{ cm}^{-1}$

(см. рис. 3). Например, в спектре *d*-глюкозы появляются резкие полосы  $2945, 2940, 2890\text{ cm}^{-1}$  и более слабые  $2880$  и  $2850\text{ cm}^{-1}$ ; в спектре мальтозы—полосы примерно одинаковой интенсивности  $2940, 2930, 2945, 2890\text{ cm}^{-1}$  и слабые  $2980, 2850\text{ cm}^{-1}$ . Спектр целлобиозы, которая является элементарной ячейкой макромолекулы целлюлозы, характерен наличием дублетной

полосы  $2880-2895 \text{ см}^{-1}$ , полос  $2850, 2915 \text{ см}^{-1}$  и двух отдельных полос  $2980, 2970 \text{ см}^{-1}$ . В случае целлобиозы максимум полосы поглощения в рассматриваемом спектральном участке, как и в спектре целлюлозы, расположен в области  $2900 \text{ см}^{-1}$ .

При переходе к полисахарам резкая структура полос нивелируется (ср., например, спектры целлобиозы и целлюлозы, мальтозы и амилозы).

Для определения области частот валентных колебаний групп  $\text{CH}_2$  в структуре многоатомных спиртов были получены спектры пентаэритрита ( $\text{C}(\text{CH}_2\text{OH})_4$ ), *i*-эритрита ( $\text{CH}_2\text{OH} - \text{CHON} - \text{CHON} - \text{CH}_2\text{OH}$ ) и маннита ( $\text{CH}_2\text{OH} - \text{CHON} - \text{CHON} - \text{CHON} - \text{CH}_2\text{OH}$ ). Как показал эксперимент, в спектре пентаэритрита появляется сильная дублетная полоса  $2940-2950 \text{ см}^{-1}$  с выступом  $2925 \text{ см}^{-1}$  и интенсивная полоса  $2890 \text{ см}^{-1}$ . Системы полос около  $2950$  и  $2890 \text{ см}^{-1}$  следует однозначно отнести к асимметричным и симметричным валентным колебаниям групп  $\text{CH}_2$ . Для спектра *i*-эритрита характерно наличие полос примерно одинаковой интенсивности  $2970, 2960, 2930$  и  $2910 \text{ см}^{-1}$ , для маннита —  $2980, 2970, 2950, 2910$  и  $2900 \text{ см}^{-1}$ .

б) Область деформационных колебаний групп  $\text{CH}_2$ . Как уже отмечалось, наблюдаемую в спектре целлюлозы полосу около  $1430 \text{ см}^{-1}$  следует однозначно отнести к внутреннему деформационному колебанию групп  $\text{CH}_2$ . В спектре гидратцеллюлозы, наряду с уменьшением интенсивности этой полосы, наблюдается слабое проявление структуры в области  $1450-1500 \text{ см}^{-1}$ .

Характерно отметить, что интенсивность полосы  $1430 \text{ см}^{-1}$  в спектре хлопковой целлюлозы несколько более значительна, чем в случае древесной целлюлозы.

Во всех рассмотренных спектрах моно- и дисахаров наблюдалась сложная структура полосы в области внутренних деформационных колебаний групп  $\text{CH}_2$ . Например, в спектре *d*-глюкозы проявлялись (полосы или выступы)  $1460, 1440, 1430, 1410 \text{ см}^{-1}$ ; в спектре *d*-галактозы —  $1460, 1450, 1430 \text{ см}^{-1}$ ; целлобиозы —  $1490, 1460, 1430, 1410 \text{ см}^{-1}$ ; мальтозы —  $1460, 1435 \text{ см}^{-1}$  и т. д. (см. рис. 3).

С увеличением степени полимеризации (при переходе к полисахарам) резкая структура полос в этой области также нивелируется.

### Обсуждение результатов

По мнению некоторых авторов [19], поглощение в области  $2800-3000 \text{ см}^{-1}$  в спектре целлюлозы принадлежит в основном к группам  $\text{CH}_2$ . Для обоснования этого вывода они ссылаются, в частности, на соотношение групп  $\text{CH}_2$  и  $\text{CH}$  в структуре целлюлозы (1 : 5) и на известные литературные данные о частоте этих групп. Однако подобные рассуждения недостаточно обоснованы. Известно (см., например, [20—21]), что интенсивность полос групп  $\text{CH}_2$  значительно превосходит интенсивность полос групп  $\text{CH}$ . По данным Фокса и Мартина, исследовавших большое число углеводородов, соотношение интегральных интенсивностей, определенных по всем полосам поглощения, для групп  $\text{CH}$  и  $\text{CH}_2$  равно 1 : 20 [22]. Что же касается частоты  $\text{CH}_2$  в группе  $\text{CH}_2\text{OH}$ , то, как было показано выше, она может быть значительно смещена в коротковолновую область по сравнению с частотой в случае углеводородов.

Несомненно, что в величине интегральной интенсивности полос в области  $2800-3000 \text{ см}^{-1}$  в спектрах целлюлозы и сахаров, если не определяющую, то, во всяком случае, равнозначенную роль играет поглощение групп  $\text{CH}_2$ .

Как видно из рис. 4, стереохимическое окружение групп  $\text{CH}_2\text{OH}$  в структуре анализируемых моно- и дисахаров специфично.

Ввиду возможности поворотов или вращений группы  $\text{CH}_2\text{OH}$  вокруг одиночной связи  $\text{C}_5-\text{C}_6$  рассматриваемые молекулы могут иметь несколько различных поворотных изомеров.

Структуры *d*-глюкозы, *d*-галактозы, целлобиозы, мальтозы и т. п. различаются расположением атомов, которые по стерическим факторам могут различно воздействовать на радикал  $\text{CH}_2\text{OH}$  и поэтому свойства их поворотных изомеров, проявляющиеся в спектрах, также различны.

Если роль поворотной изомерии в случае валентных частот не столь очевидна, то сложная структура полос в области внутренних деформационных колебаний групп  $\text{CH}_2$  в спектрах этих объектов без учета наличия поворотных изомеров трудно объяснима.

Следует отметить, что сложная структура полос в области деформационных колебаний групп  $\text{CH}_2$  наблюдалась, например, в комбинационных спектрах жидких 1,2-дигалогенэтанов и была приписана явлению поворотной изомерии [23].

С увеличением степени полимеризации увеличивается число возможных конфигураций молекулы [24]. Этим можно объяснить нивелировку резкой структуры полос в области  $2800-3000 \text{ см}^{-1}$  и  $1300-1500 \text{ см}^{-1}$  при переходе отmono- и дисахаров к полисахарам.

Нивелировка резкой структуры полос наблюдалась и в спектрах водных растворов сахаров [25]. Известно, что в чистых жидкостях и растворах полное или частичное вращение вокруг ординарных связей менее затруднено.

Поэтому в данном случае, в отличие от алифатических углеводородов,

Рис. 4. Примерное расположение группы и связей в молекулах — *d*-глюкозы (1), *d*-галактозы (2) и целлобиозы (3)

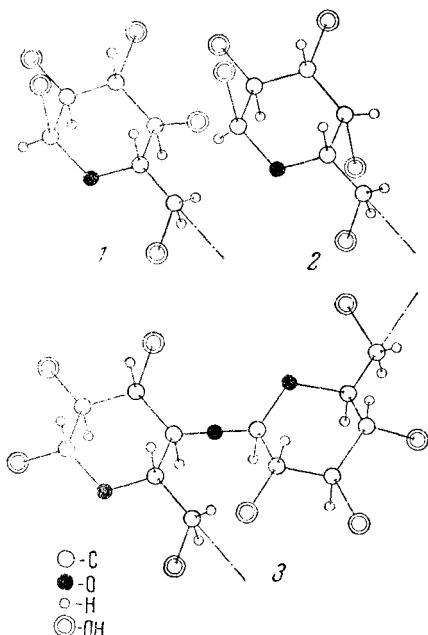
теряет смысл понятие характеристичности полосы  $\text{CH}_2$ . Действительно, например, в спектре амилозы не наблюдается ни одной резкой полосы в области  $1400-1500 \text{ см}^{-1}$ . В этом случае поглощение групп  $\text{CH}_2$  как бы «размазано» во всем этом интервале (см. рис. 3).

Спектр целлюлозы в области  $1400-1500 \text{ см}^{-1}$ , как и в области  $2800-3000 \text{ см}^{-1}$ , носит сложный характер. Нельзя считать, что частота внутренних деформационных колебаний в спектре целлюлозы лежит лишь около  $1430 \text{ см}^{-1}$ . Полоса  $1430 \text{ см}^{-1}$  в спектре целлюлозы может быть характерной для одного из возможных положений радикала  $-\text{CH}_2\text{OH}$  при повороте вокруг связи  $\text{C}_5 - \text{C}_6$ .

Без учета поворотной изомерии нельзя правильно построить структурную модель элементарной ячейки макромолекулы целлюлозы, оценить характер участия гидроксила у  $\text{C}_6$  в меж- и внутримолекулярных взаимодействиях. Однако ряд авторов дискусирует эти вопросы без учета подобного обстоятельства [15, 19, 26].

Как уже упоминалось, спектр гидратцеллюлозы отличается от спектра природной модификации целлюлозы уменьшением интенсивности полосы  $1430 \text{ см}^{-1}$ . Как видно из рис. 2, спектр гидратцеллюлозы характерен уменьшением интенсивности полосы в области внутренних деформационных колебаний групп  $\text{CH}_2$  и проявлением дополнительной структуры. Нам кажется, что эти изменения спектра обусловлены спецификой поворотных изомеров гидратцеллюлозы в элементарных звеньях, обусловленных поворотом радикала  $\text{CH}_2\text{OH}$  вокруг связи  $\text{C}_5 - \text{C}_6$ .

Сделанный вывод подтверждается анализом других спектральных



участков. Наряду с уменьшением интенсивности около  $1430 \text{ см}^{-1}$ , в спектре гидратцеллюлозы наблюдается уменьшение поглощения в области  $1320$  и  $1340 \text{ см}^{-1}$ . Как было допущено в работах [27, 28], полосы  $1370$ ,  $1340$  и  $1320 \text{ см}^{-1}$  в спектре целлюлозы следует отнести к первичным гидроксилам разных поворотных изомеров.

В связи с изложенным выше уместно отметить большое сходство в области  $1300$ — $1500 \text{ см}^{-1}$  спектра гидратцеллюлозы со спектрами водных растворов глюкозы и малтозы, приведенными в работе [25].

Специфика расположения радикалов  $\text{CH}_2\text{OH}$  в гидратцеллюлозе несомненно сказывается на реакционной способности первичных гидроксилов.

Важно отметить, что при переходе от хлопковой к древесной целлюлозе наблюдается менее отчетливое проявление структуры полос в области  $2800$ — $3000 \text{ см}^{-1}$ , некоторое уменьшение интенсивности полосы  $1430 \text{ см}^{-1}$  и характерное для гидратцеллюлозы расположение по интенсивностям полос  $1370$ ,  $1340$  и  $1320 \text{ см}^{-1}$  (см. рис. 2). По анализируемым структурным особенностям древесная целлюлоза располагается между хлопковой целлюлозой и гидратцеллюлозой.

Как известно, характер поворотных изомеров весьма чувствителен к температурным условиям. Поэтому неудивительно частичное превращение гидратцеллюлозы в природную модификацию при ее нагревании при определенных условиях [29, 30]. В этом случае наблюдается увеличение интенсивности полосы  $1430 \text{ см}^{-1}$ .

Авторы выражают благодарность А. А. Конкину и Н. В. Шулятиковой за любезно предоставленные образцы для исследования.

### Выводы

1. Сопоставлены особенности спектров целлюлозы, гидратцеллюлозы, моно-, ди- и полисахаров в области  $3000$ — $2700$  и  $1500$ — $1300 \text{ см}^{-1}$ .

2. Показано, что при интерпретации частот в спектрах целлюлозы и сахаров необходимо учитывать возможность наличия поворотных изомеров вследствие поворотов или вращения радикала  $\text{CH}_2\text{OH}$  вокруг одинарной связи  $\text{C}_5$ — $\text{C}_6$ .

3. Различия спектров целлюлозы и гидратцеллюлозы в области частот групп  $\text{CH}_2$  вероятнее всего отнести за счет специфики в этих целлюлозах поворотных изомеров, обусловленных различием в ориентации групп  $\text{CH}_2\text{OH}$ .

4. По перечисленным выше структурным особенностям древесная целлюлоза занимает промежуточное значение между хлопковой целлюлозой и гидратцеллюлозой.

Институт физики  
АН СССР

Поступила в редакцию  
17 IX 1960

### ЛИТЕРАТУРА

1. З. А. Роговин, Н. Н. Шорыгина, Химия целлюлозы и ее спутников, Гос. научно-техн. изд. хим. литер., М.—Л., 1953.
2. В. А. Каргин, Д. И. Лейпунская, Ж. физ. химии, 15, 1011, 1941.
3. Р. Н. Hermans, S. de Boeys, Kolloid-Z., 102, 169, 1943.
4. Т. Petitpas, M. J. Mering, J. C. r. 243, 47, 1956.
5. В. Н. Никитин, Вестн. ЛГУ, 33, 3, 1950.
6. Н. J. Maggian, J. Mann, J. Appl. Chem., 4, 204, 1954; J. Polymer Sci., 21, 301, 1956.
7. J. Mann, C. J. Maggian, Trans. Faraday Soc., 52, 481, 1956.
8. F. H. Forzati, J. W. Rowen, J. Res. Natl. Bur. Standards, 46, 38, 1951.
9. Б. И. Степанов, Р. Г. Жбанков, А. И. Скриган, А. М. Шишко, Изв. АН БССР, сер. физ.-техн., II, 105, 1957.
10. Б. И. Степанов, Р. Г. Жбанков, А. Я. Розенберг, Докл. АН БССР, 1, 92, 1957.
11. R. T. O'Connell, E. F. Dugre, D. Mitcham, Text. Res., J., 28, 382—392, 1958.

12. A. W. Mc Kenzie, H. G. Higgins, Svensk papperstidn., **61**, 20, 893, 1958.
13. Б. И. Степанов, Р. Г. Жбанков, Е. И. Волков, А. И. Скрипаш, А. М. Шишко, А. Я. Розенберг, Авторское свидетельство № 119303 (1958).
14. Б. И. Степанов, Р. Г. Жбанков, А. Я. Розенберг, Ж. физ. химии, **33**, 1907, 1959.
15. R. H. Marchessault, C. Y. Liang, J. Polymer Sci., **43**, 71, 1960.
16. Р. Г. Жбанков и И. Н. Ермоленко, Изв. АН БССР, сер. физ.-техн., 1956, № 4, 15.
17. R. T. O'Connell, E. T. Durre, E. R. McCull, Analyt. Chem., **29**, 998, 1957.
18. H. G. Higgins, Austral. J. Chem., **10**, 496, 1957.
19. M. Tsuibo, J. Polymer Sci., **25**, 159, 1957.
20. М. В. Волькенштейн, М. А. Ельяшевич, Б. И. Степанов, Колебания молекул, т. II, Гостехиздат, 1949.
21. Л. Беллами, Инфракрасные спектры молекул, Изд. ин. лит., М., 1957.
22. J. J. Fox, A. E. Martin, Proc. Roy. Soc., London, **175A**, 208, 1940.
23. М. Мидзутима, Строение молекул и внутреннее вращение. Изд. ин. лит., М., 1957.
24. М. В. Волькенштейн, Конфигурационная статистика полимерных цепей, Изд. АН СССР, М.—Л., 1959.
25. J. D. S. Gouden, Spectrochim. acta, **9**, 657, 1959.
26. C. Y. Liang, R. H. Marchessault, J. Polymer Sci., **37**, 385, 1959.
27. Б. И. Степанов, Р. Г. Жбанков, И. Н. Ермоленко, Изв. АН СССР, сер. физ., **23**, 4222, 1959.
28. Р. Г. Жбанков, Оптика и спектр., **4**, 318, 1958.
29. Т. Кубо, Kolloid-Z., **93**, 338, 1940; **96**, 41, 1941.
30. В. А. Карагин, Н. В. Михайлов, В. И. Елинек, Сб. Исследования в области высокомолекулярных соединений, Изв. АН СССР, 1949, стр. 281.

### STRUCTURE OF HYDRATED CELLULOSE

*B. I. Stepanov, R. G. Zhbankov, R. Marupov*

#### S u m m a r y

The spectra of cellulose fibers in the native and hydrated forms and mono, di and polysaccharides in the regions 3000—2700 and 1500—1300  $\text{cm}^{-1}$  have been compared. In order to make more apparent the band structures of the cellulose spectra, considerable diminution of the light scattering of the fibers was achieved by placing the specimens, obtained by pressing under high pressure, in liquid immersion media. All the spectra investigated of the mono and disaccharides are characterized by a specific band complexity in the region of the CH valence frequencies and internal deformation frequencies of the  $\text{CH}_2$  groups. The sharp band structure becomes more diffuse on passing over to polysaccharides. The spectrum of hydrated cellulose differs from that of the native specimen by loss in intensity of the  $1430 \text{ cm}^{-1} (\text{CH}_2)$  band and a smoothening out of the shoulders near  $2900 \text{ cm}^{-1}$ . The experimental material is difficult to interpret without accounting for the possibility of rotational isomers or hindered rotation of the  $\text{CH}_2\text{OH}$  radical around the single  $\text{C}_5-\text{C}_6$  bond. The specificity of the spectrum of hydrated cellulose in the  $\text{CH}_2$  frequency region may be explained by the specificity in its structure of such rotation isomers. The sharp band at  $1430 \text{ cm}^{-1}$  in the spectrum of native cellulose should be ascribed to one of the possible positions of the  $\text{CH}_2\text{OH}$  radical during its twist or rotation about the  $\text{C}_5-\text{C}_6$  bond. From the standpoint of the above structural features wood cellulose lies between cotton cellulose and hydrated cellulose.