

CELLULOSE AND ITS DERIVATIVES

L. S. GAL'BRAIKH

Cellulose is one of the important natural polymers, the principal component of the cell-wall of higher plants. The cellulose and its derivatives are used in the series of industry branches (textile, pulp and paper, man-made fibers, food, pharmaceutical etc.). The characteristics of the chemical and physical structure, chemical reactions of cellulose and main applications of cellulose derivatives are considered.

Целлюлоза – один из важнейших природных полимеров, основной компонент клеточной стенки высших растений. Целлюлоза и ее производные широко используются во многих отраслях промышленности (текстильной, целлюлозо-бумажной, искусственных волокон, пищевой, фармацевтической и др.). Дана характеристика строения и структуры целлюлозы, закономерностей ее химических превращений и основных направлений применения производных целлюлозы.

ЦЕЛЛЮЛОЗА И ЕЕ ПРОИЗВОДНЫЕ

Л. С. ГАЛЬБРАЙХ

Московская государственная текстильная академия

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее важных факторов, определяющих развитие большинства отраслей промышленности, является устойчивая сырьевая база, и в частности углеродсодержащее сырье: нефть, каменный уголь и природный газ. Образование запасов этих природных ресурсов происходило в течение геологических периодов, по продолжительности сравнимых с продолжительностью существования самой Земли. Расходование же сырья идет всевозрастающими темпами, что делает весьма актуальным решение проблемы поиска альтернативных источников углеродсодержащего сырья. Однако эта проблема успешно решена самой природой. В результате биохимических процессов фотосинтеза различные наземные и водные растения из углекислого газа и воды продуцируют до 400 млрд т в год сухой биомассы, аккумулируя в тканях огромное количество углерода, и являются, таким образом, источником непрерывно возобновляемого углеродсодержащего сырья.

Наибольший интерес среди продуктов фотосинтеза растений на протяжении всего времени существования человеческой цивилизации привлекала целлюлоза, ежегодный прирост количества которой составляет около 100 млрд т. Целлюлозные материалы занимают видное место в удовлетворении потребностей человека: природные целлюлозные волокна (прежде всего хлопок, лен и другие лубяные волокна) и сегодня являются существенной частью в балансе сырья для текстильной промышленности. Хлопковая и древесная целлюлоза широко применяются для изготовления бумаги и картона, искусственных волокон, некоторых пластмасс и лаков, эмульгаторов и загустителей для нефтяной, текстильной, пищевой, фармацевтической и других отраслей промышленности.

Целлюлоза – основной компонент клеточных стенок всех высших растений. В наиболее чистом виде целлюлоза содержится в волокнах семян хлопчатника и лубяного растения рами (в зрелом хлопковом волокне целлюлозы содержится до 99,5% его массы). Древесина, основное сырье, из которого выделяют целлюлозу для технических целей, содержит (в зависимости от породы дерева, его возраста, условий произрастания) 35–45% целлюлозы. Спутниками целлюлозы в клеточных стенках большинства растений являются полисахариды – углеводы, отличающиеся по строению от целлюлозы (ксилан, маннан, галактан, пектиновые соединения), а также

вещества неуглеводного характера: лигнин — пространственный полимер ароматического строения, диоксид кремния, смолистые вещества и др. Если иметь в виду, что именно целлюлозные волокна в тканях растений обеспечивают механическую прочность как отдельных тканей, так и растения в целом, можно утверждать, что именно природа явилась первым создателем материалов, позднее получивших название “композиты” (см.: Берлин А.А. // Соросовский Образовательный Журнал. 1995. № 1. С. 57–65). Широкие возможности использования целлюлозы определяются особенностями химического строения, структуры и свойств этого природного полимера.

СТРОЕНИЕ И СТРУКТУРА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Целлюлоза — важнейший представитель полисахаридов, одного из классов природных полимеров, макромолекулы которых построены из элементарных звеньев (остатков) различных моносахаридов, соединенных между собой ацетальной (гликозидной) связью¹. Макромолекула целлюлозы состоит из остатков D-глюкозы — моносахарида, углеродный скелет молекулы которого содержит шесть атомов углерода. При этом элементарное звено имеет структуру шестичленного кислородсодержащего гетероцикла, а в образовании гликозидной связи между элементарными звеньями наряду с альдегидной группой, расположенной у первого углеродного атома одного элементарного звена, принимает участие гидроксильная группа у четвертого углеродного атома соседнего звена. Нумерация углеродных атомов в элементарном звене макромолекулы целлюлозы показана на рис. 1.

Важной характеристикой строения макромолекулярной цепи полисахаридов является не только направление гликозидной связи, но и ее конфигура-

ция. Гликозидная связь в макромолекуле целлюлозы имеет β -конфигурацию (обозначение, принятое для связи, имеющей противоположную пространственную ориентацию по сравнению с конфигурацией асимметрического углеродного атома C-5 в молекуле глюкозы). Гликозидные связи сравнительно легко подвергаются расщеплению под действием воды в присутствии кислотных катализаторов (процесс гидролиза). Это обстоятельство обуславливает относительную неустойчивость целлюлозы к действию водных растворов кислот. В то же время в условиях щелочного гидролиза гликозидные связи целлюлозы достаточно стабильны. Однако эта стабильность характерна лишь для систем, в которых отсутствует молекулярный кислород. Наличие же кислорода приводит к изменению механизма реакции — переходу от чистого гидролиза к значительно более сложному процессу, включающему последовательно протекающие реакции окисления и гидролиза.

Возможность получения разнообразных производных целлюлозы определяется в первую очередь ее функциональным составом. С этой точки зрения целлюлозу можно рассматривать как полимерный полиатомный спирт, в элементарных звеньях макромолекулы которого содержатся три гидроксильные группы: первичная — у шестого атома углерода и две вторичные — у второго и третьего атомов углерода. Элементарное звено макромолекулы целлюлозы находится в энергетически наиболее выгодной конформации кресла C1 (см. рис. 1), в которой гидроксильные и гидроксиметильная группы расположены экваториально (то есть располагаются приблизительно в плоскости, образуемой вторым, третьим и пятым атомами углерода и атомом кислорода пиранозного цикла) и благодаря такому положению обладают высокой реакционной способностью в различных химических реакциях. Именно индивидуальные свойства гидроксильных групп позволяют в результате их химических превращений осуществить синтез простых и сложных эфиров целлюлозы, продуктов ее окисления.

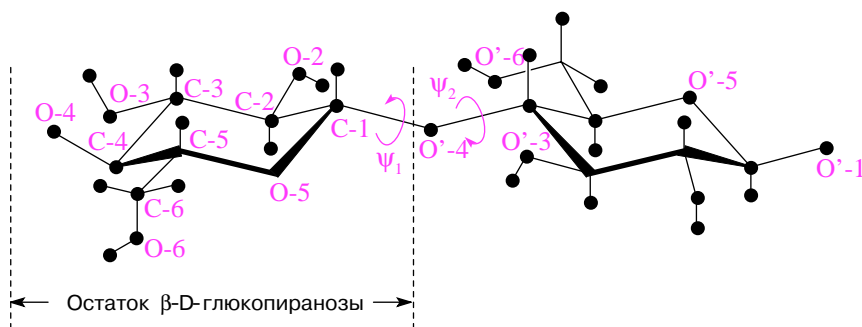


Рис. 1. Химическое строение макромолекулы целлюлозы.

Однако роль гидроксильных групп в формировании комплекса свойств целлюлозы не ограничивается возможностью их участия в химических реакциях. Не говоря уже о том, что их наличие обуславливает высокую гидрофильность целлюлозных волокон, весьма существенным моментом является их участие в образовании системы внутри- и межмолекулярных водородных связей, определяющих конформацию макромолекулы целлюлозы. Предпочтительной является спиральная конформация с числом звеньев в витке спирали, равным двум, шагом 0,515 нм и углами внутреннего вращения относительно гликозидной связи $\psi_1 = -210^\circ$ и $\psi_2 = -150^\circ$. При такой конформации принципиально возможными оказываются две системы водородных связей: $O'-3-H \dots O-5$ и $O-2-H \dots O'-6$ либо $O'-3-H \dots O-5$, $O'-6-H \dots O-2$ ($O'-6-H \dots O'-4$) – с большей вероятностью образования первого варианта связывания. При этом протоны гидроксильных групп $O-6-H$ могут одновременно участвовать в межмолекулярных водородных связях.

Одна из наиболее важных характеристик целлюлозы – размеры макромолекулы, от которых зависят такие свойства целлюлозных материалов, как, например, вязкость растворов целлюлозы и ее производных, механические свойства волокон и пленок. Степень полимеризации (СП) целлюлозы (количество элементарных звеньев¹ в цепи) является показателем, имеющим определенную видовую специфичность: для целлюлозы волокон семян хлопчатника этот показатель составляет от 2–6 тыс. (первичная клеточная стенка) до 13–14 тыс. (вторичная клеточная стенка), для целлюлозы лубяных растений – около 9,5 тыс., целлюлозы древесины покрыто- и голосеменных растений – 8–8,5 тыс. В ходе фотосинтеза происходит постепенное формирование оболочки клетки растений – сначала образуется первичная, а затем вторичная клеточная стенка. При этом увеличение длины цепей происходит только в период формирования первичной клеточной стенки.

Как известно, для большинства полимеров молекулярная масса (степень полимеризации) является величиной среднестатистической, связанной с молекулярно-массовым распределением (ММР), характеризующим содержание фракций с определенной молекулярной массой. Кривые ММР целлюлозы, выделенной из природного целлюлозосодержащего сырья, имеют один максимум (древесная целлюлоза лиственных пород) или два-три максимума (хлопковая целлюлоза, древесная целлюлоза хвойных пород) (рис. 2). Однако такое распределение является результатом деструкции (частичного разрушения полимерных цепей) целлюлозы в достаточно жестких условиях ее выделения. Для нативной целлюлозы (целлюлозы в тканях растений)

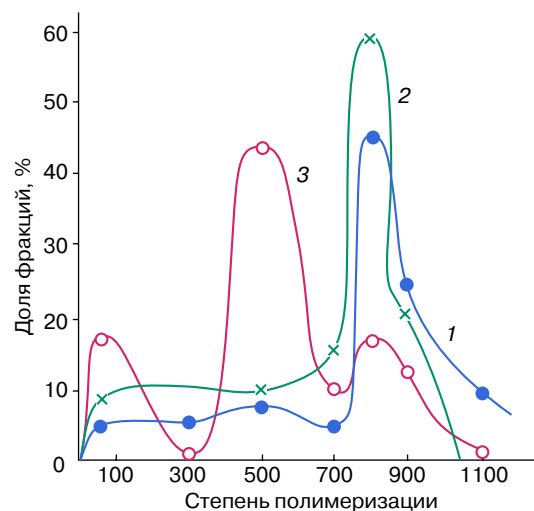


Рис. 2. Молекулярно-массовое распределение древесной целлюлозы: 1–3 – образцы разных партий целлюлозы.

характерно наличие на кривой ММР одного узкого максимума при больших значениях СП (14 тыс. для хлопковой целлюлозы).

Макромолекулы целлюлозы в целлюлозных волокнах, например в хлопковом волокне, имеющем длину 25–35 мм, или в волокнах, выделенных из древесины, длиной 1–3 мм, существуют не в изолированном друг от друга состоянии, а образуют агрегаты, являющиеся элементами надмолекулярной структуры.

Представление о надмолекулярных структурах как областях в объеме полимера с различной степенью упорядоченности, размеры которых существенно превышают размер макромолекул данного полимера, относится к числу фундаментальных понятий физики полимеров. Целлюлоза имеет сложную надмолекулярную структуру, простейшим элементом которой являются элементарные фибриллы – ассоциаты макромолекул диаметром до 3,5 нм, содержащие от 600 до 1500 макромолекул. Элементарные фибриллы, в свою очередь, образуют более крупные ассоциаты с поперечным сечением от 4 до 10–20 нм – микрофибриллы, своеобразную матрицу структуры целлюлозы, располагающуюся в областях со значительно менее упорядоченной структурой. В продольном направлении молекулярные цепи целлюлозы, являющейся с точки зрения фазового состояния аморфно-кристаллическим полимером, проходят через большое число кристаллических и аморфных областей. Длина кристаллитов², по данным электронной микроскопии, составляет от 20–85 нм

¹ Элементарным звеном макромолекулы целлюлозы является остаток β-D-глюкозы.

² Кристаллиты – высокоупорядоченные элементы структуры, характеризующиеся наличием трехмерного порядка расположения элементарных звеньев.

(у различных типов искусственных целлюлозных волокон) до 65–220 нм (у природной целлюлозы). При этом заметно различается и форма кристаллитов: кристаллиты природной целлюлозы имеют резко выраженную анизодиаметричную форму (отношение длины к ширине 5 : 16), у вискозного волокна форма кристаллитов почти сферическая (отношение длины к ширине 1 : 3).

Для целлюлозы как кристаллизующегося полимера характерно явление полиморфизма, то есть способность образовывать кристаллиты с различными параметрами элементарной ячейки. Согласно принятым представлениям, нативная целлюлоза относится к структурной модификации “целлюлоза I” (рис. 3). Другой важнейшей структурной модификацией целлюлозы является “целлюлоза II” (гидратцеллюлоза), образующаяся в процессе регенерации целлюлозы из ее производных (например, сложных эфиров), при обработке природной целлюлозы концентрированными растворами гидроксидов щелочных металлов с последующей отмыжкой щелочи и сушкой. Именно поэтому искусственные целлюлозные волокна (вискозное, медно-аммиачное), технологический процесс получения которых включает одну или несколько подобных операций, часто называют гидратцеллюлозными.

Для основных областей применения собственно целлюлозных материалов (бумажная и текстильная промышленность) большое значение имеют процессы, связанные с взаимодействием целлюлозы с водой, — процессы сорбции и набухания. Именно с этими процессами связаны прекрасные гигиенические характеристики целлюлозных материалов. Действительно, среди волокнистых материалов нет материала со столь значительными, как у целлюлозы, величинами сорбции (8–14% при относительной влажности воздуха 65%) и набухания (60–130%).

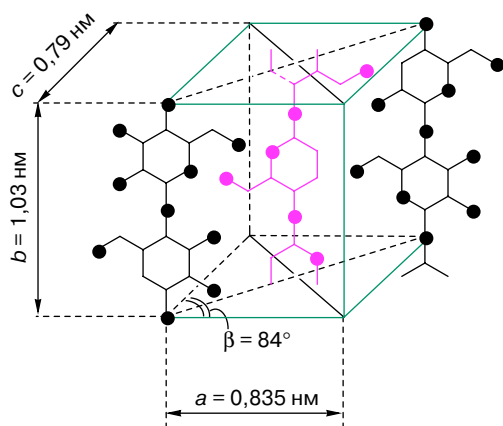


Рис. 3. Модель кристаллической ячейки природной целлюлозы.

Хотя основным фактором, определяющим сорбционную способность целлюлозы, бесспорно, является наличие ОН-групп, существенную роль играет и физическая структура целлюлозы. Развитая капиллярно-пористая система, включающая внутрифибриллярные нерегулярности упаковки размером менее 1,5 нм, межфибриллярные пустоты (поры) размером 1,5–10 нм, поры, возникающие в результате набухания гидратцеллюлозных (в частности, вискозных) волокон размером несколько десятков нанометров, а также каналы и макропоры в волокнах природной целлюлозы диаметром несколько микрометров обуславливают протекание не только истинной сорбции (адсорбции), но и капиллярного поглощения воды.

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Широта и разнообразие областей применения материалов на основе целлюлозы и ее производных связаны с возможностью направленного изменения их свойств прежде всего за счет использования химических реакций с участием функциональных групп и связей полимерной цепи. Дальнейшее изложение посвящено некоторым наиболее интересным и важным химическим реакциям целлюлозы.

Характеризуя в целом химические свойства целлюлозы, можно сказать, что они определяются наличием гликозидных связей между элементарными звеньями (реакции деструкции) и гидроксильных групп (реакции окисления, этерификации — синтеза сложных эфиров и О-алкилирования — синтеза простых эфиров). Наиболее характерный пример реакции деструкции целлюлозы — реакция кислотного гидролиза, конечным продуктом которого является глюкоза. Именно эта реакция лежит в основе одного из промышленных методов получения этилового спирта (гидролиз целлюлозосодержащих отходов с последующим спиртовым брожением гидролизата). Следует вместе с тем отметить необычное течение процесса гидролиза целлюлозы при проведении его в гетерогенной среде, то есть без предварительного перевода ее в раствор, в мягких условиях (например, водными 1–2,5 н. растворами НСl). В этом случае реакция деструкции идет не до конца. Наблюдаются две резко отличающиеся по скорости стадии гидролитической реакции: первая, на которой происходит гидролиз аморфных участков структуры, и вторая, со значительно более низкой скоростью, на которой реакция идет за счет расщепления гликозидных связей, находящихся на концах кристаллитов.

Фрагменты структуры, образующиеся по окончании первой стадии гидролиза, — микрокристаллическая целлюлоза — представляют собой иглоподобные частицы, длина которых зависит от типа исходной целлюлозы и обусловлена размером ее кристаллитов. Так, для хлопковой целлюлозы величина степени полимеризации этих фрагментов (так

называемая предельная СП после гидролиза, Level-off-DP) равна 200–300, древесной — 120–280, целлюлозы вискозных волокон — 30–50.

Микрокристаллическую целлюлозу в виде белого сыпучего порошка применяют в качестве наполнителя при приготовлении таблеток лекарственных препаратов, добавок в формовочную массу в производстве керамических и фарфоровых изделий, для стабилизации вододисперсионных красок. При диспергировании микрокристаллической целлюлозы в воде сначала образуется молокоподобная взвесь, постепенно приобретающая консистенцию крема. В таком виде микрокристаллическую целлюлозу используют в косметической и фармацевтической промышленности, в виде добавок в пищевые продукты (мороженое, соусы).

Реакции взаимодействия целлюлозы с различными окислителями (NaClO , KMnO_4 , NO_2 , HIO_4 , H_2O_2) приводят к образованию производных, содержащих карбонильные и карбоксильные группы. При этом наибольший интерес представляет действие соединений, обеспечивающих преимущественное окисление определенных гидроксильных групп элементарного звена. К таким окислителям относится иодная кислота (метапериодат натрия) HIO_4 , при взаимодействии целлюлозы с которой происхо-

дит окисление вторичных гидроксильных групп элементарного звена до альдегидных, сопровождающееся разрывом связи между вторым и третьим атомами углерода элементарного звена (схема 1).

Образующееся диальдегидное звено I может находиться в конфигурациях II и III, одна из альдегидных групп в которых реагирует с неокисленной первичной гидроксильной группой этого звена с образованием термодинамически устойчивых пяти- или шестичленных циклических ацеталей IV и V, в то время как вторая альдегидная группа в результате гидратации образует структуры VI и VII. Именно эти различия обуславливают разницу в поведении окисленной иодной кислотой целлюлозы (так называемый диальдегидцеллюлозы) при ее взаимодействии с сильными нуклеофильными реагентами (гидроксиламин, гидразин), когда реакция идет с участием обеих альдегидных групп структуры I, и реагентами с меньшей нуклеофильностью (бисульфит натрия), в реакцию с которыми вступает только одна альдегидная группа структур IV и V.

К окислителям преимущественно избирательного действия относится также оксид азота (IV), под действием которого происходит окисление в основном первичных гидроксильных групп элементарного звена до карбоксильных, приводящее к

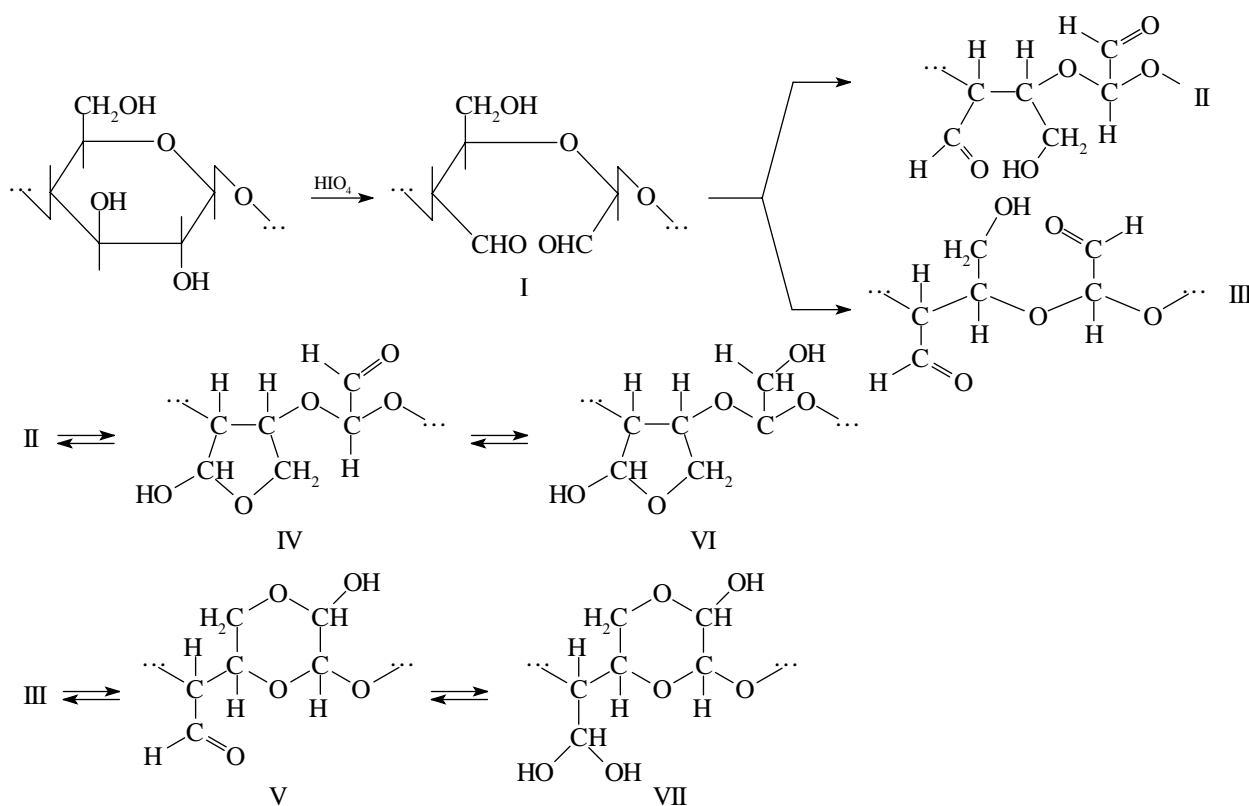
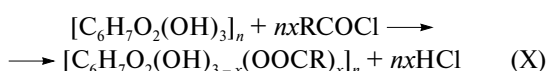
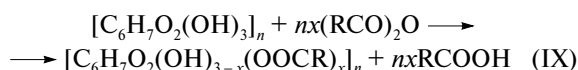
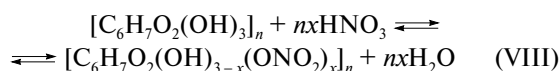


Схема 1.

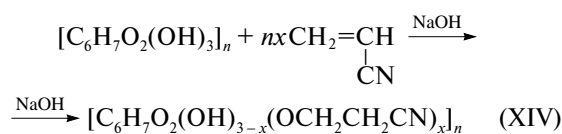
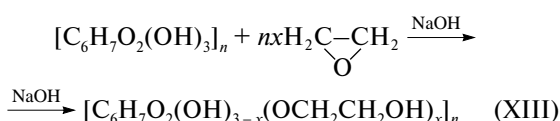
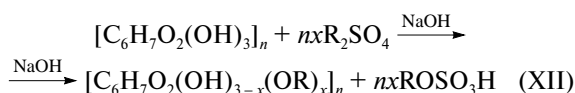
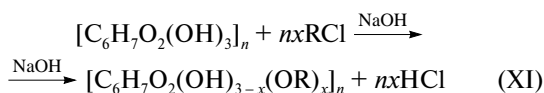
образованию так называемой монокарбоксилцеллюлозы. Степень окисления целлюлозы оксидом азота (IV) зависит от природы окислителя; процесс катализируется алканами, нафтеновыми углеводородами, ингибиторами его являются тетралин, нитробензол. При этом следует подчеркнуть, что 15–20% общего количества окисленных гидроксильных групп приходится на долю вторичных OH-групп, окисляющихся до карбонильных; параллельно протекает также, хотя и в незначительной степени, процесс образования нитрата целлюлозы (сложного эфира целлюлозы и азотной кислоты).

Невысокая устойчивость диальдегидцеллюлозы к действию щелочных реагентов и даже воды ограничивает области ее практического применения. Так, диальдегидцеллюлозу можно использовать в медицине в качестве полимерной матрицы для иммобилизации ферментов. Более перспективно применение в этой же области монокарбоксилцеллюлозы, являющейся эффективным гемостатическим материалом, обеспечивающим быстрое прекращение кровотечения из капиллярных сосудов. Важным свойством монокарбоксилцеллюлозы для применения в медицине является ее способность практически полностью рассасываться в тканях живого организма.

К важнейшим классам производных целлюлозы, широко применяемым в различных отраслях промышленности, относятся ее сложные и простые эфиры. Для получения сложных эфиров в качестве этерифицирующих реагентов используют сильные кислоты (VIII), ангидриды (IX) и хлорангидриды кислот (X).



При синтезе простых эфиров целлюлозы в качестве O-алкилирующих реагентов могут выступать алкилгалогениды (XI), диалкилсульфаты (XII) и соединения, содержащие напряженные гетероциклы (XIII) или поляризованную двойную связь (XIV).



Свойства сложных и простых эфиров целлюлозы, во многом определяющие области их применения, зависят от большого числа факторов, из которых к числу основных следует отнести сравнительную реакционную способность гидроксильных групп и связанное с ней распределение заместителей между OH-группами элементарного звена, влияние структуры целлюлозы на степень замещения¹ эфиров, характер распределения заместителей вдоль цепи, растворимость эфиров и другие их свойства.

Одной из важных характеристик эфиров целлюлозы, с которой связаны способы их переработки в изделия и области практического применения, является их растворимость (табл. 1). Именно путем переработки растворов ксантогената целлюлозы формируют вязкие волокна и пленку (целлофан), переработкой растворов ацетатов целлюлозы — ацетатные и триацетатные волокна и пленку для кино- и фотопромышленности. Переработка композиций на основе эфиров целлюлозы (ацетатов, ацетобутиратов и нитратов целлюлозы, этилцеллюлозы), содержащих небольшое количество высококипящих растворителей (пластификаторов), используется в технологии получения эфирцеллюлозных пластмасс (этролов). Водорастворимые простые эфиры целлюлозы (метил-, карбоксиметилцеллюлоза, а также смешанные эфиры — метилгидроксиэтил-, метилгидроксипропилцеллюлоза) используются в качестве веществ, регулирующих вязкость водных растворов и дисперсий — буровых растворов в нефте- и газодобывающей промышленности, дисперсий красителей в текстильной промышленности, строительной индустрии, в медицине и пищевой промышленности — при приготовлении мазей, кремов, зубной пасты, мороженого, фруктовых соков, в промышленности синтетических моющих средств.

Интересна с практической точки зрения зависимость растворимости некоторых эфиров целлюлозы, например ацетилфталилцеллюлозы², от кислотности (щелочности) растворителя. Это свойство успешно используется в фармацевтической практике для создания покрытий для таблеток. Легкая растворимость этого эфира целлюлозы в ацетоне позволяет получить прозрачную достаточно прочную пленку, нерастворимую в кислой среде, но растворимую в

¹ Степень замещения (СЗ) — среднее количество заместителей в элементарном звене макромолекулы производного целлюлозы (максимальная СЗ = 3,0).

² Ацетилфталилцеллюлоза — смешанный сложный эфир целлюлозы, уксусной и фталевой кислот общей формулы $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x-y}(OOCCH_3)_x(OOCC_6H_4COOH)_y]_n$, где x и y — степень замещения по ацетильным и фталильным группам соответственно.

Таблица 1. Характеристика состава и некоторых свойств эфиров целлюлозы

Тип эфира, суммарная формула	Наименование эфира	Строение радикала	СЗ	Растворители	Область применения
Сложные эфиры целлюлозы $[C_6H_7O_2(OR)_x(OH)_{3-x}]_n$	Ксантогенат	$\begin{array}{c} -C-SNa \\ \\ S \end{array}$	0,25–0,5	Вода, водный раствор NaOH	Получение гидратцеллюлозных (вискозных) волокон и пленок
	Нитрат	$-NO_2$	1,8–2,7	Этанол-эфир, ацетон, этилацетат и др.	Пластмассы (целлюлоид), лаки, пленки, бездымный порох
	Ацетат	$\begin{array}{c} -C-CH_3 \\ \\ O \end{array}$	2,5–2,9	Ацетон, метилхлорид, хлороформ	Получение искусственных волокон, пленки, пластмасс
Простые эфиры целлюлозы $[C_6H_7O_2(OR)_x(OH)_{3-x}]_n$	Метилцеллюлоза	$-CH_3$	1,6–2,0	Вода	Загуститель водных растворов и дисперсий
	Карбоксиметилцеллюлоза	$-CH_2COONa$	0,5–1,2	То же	То же
	Этилцеллюлоза	$-C_2H_5$	2,5–2,6	Этанол, ацетон, хлорированные углеводороды и др.	Пластмассы, пленочные покрытия таблеток и т.п.

водных растворах с $pH > 7$. Эта пленка обеспечивает сохранение активности неустойчивых в кислой среде (в желудочном соке) лекарств и хорошее всасывание их в кишечнике, где поддерживается щелочная среда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенная информация позволяет, я надеюсь, создать достаточно целостное представление об особенностях строения и структуры целлюлозы, основных типах ее химических превращений, месте целлюлозы и материалов на ее основе в практической деятельности человека. Особое внимание к целлюлозе как представителю класса природных высокомолекулярных соединений привлекают возможность ее воспроизводства в природных условиях в процессе фотосинтеза и разнообразие свойств и соответственно областей применения многочисленных производных целлюлозы, часть из которых была рассмотрена выше.

Однако сложившийся на протяжении длительного периода времени ассортимент производных целлюлозы не исчерпывает всех возможностей, которые принципиально заложены в строении этого полимера. Только за последние десятилетия появилась большая группа материалов, при получении которых были реализованы различные подходы: термические превращения, синтез привитых сополимеров¹, образование пространственной структуры, что позволило создать углеродные и другие сорбционно-активные материалы, материалы медицинского назначения с пролонгированным эффек-

том действия лекарственных препаратов, волокна-биокатализаторы, содержащие иммобилизованные ферменты, повысить эластические характеристики текстильных материалов из целлюлозных волокон. На более отдаленную перспективу целлюлозу можно рассматривать как источник экологически чистого возобновляемого сырья для создания новых технологических процессов получения мономеров для синтетических полимеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Роговин З.А. Химия целлюлозы. М.: Химия, 1972.
2. Петропавловский Г.А. Гидрофильные частично замещенные эфиры целлюлозы и их модификация путем химического сшивания. Л.: Наука, 1988.
3. Роговин З.А., Гальбрайт Л.С. Химические превращения и модификация целлюлозы. М.: Химия, 1979.
4. Капуцкий Ф.Н., Юркинович Т.Л. Лекарственные препараты на основе производных целлюлозы. Минск, 1989.
5. Панов В.П., Жбанков Р.Г. Внутри- и межмолекулярные взаимодействия в углеводах. Минск: Наука и техника, 1988.

* * *

Леонид Семенович Гальбрайт, доктор химических наук, профессор, заслуженный деятель науки России, зав. кафедрой технологии химических волокон Московской государственной текстильной академии, соавтор четырех монографий и свыше 300 публикаций в отечественных и зарубежных научных журналах, посвященных химическим превращениям целлюлозы и других полисахаридов, проблемам модифицирования природных и химических волокон.

¹ Привитыми сополимерами называют разветвленные полимеры, основная и боковые цепи которых отличаются по химическому строению.