

Тюрин И.В.

**Органическое вещество почв и его роль в
почвообразовании и плодородии**

Учение о почвенном гумусе

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 55
ББК 26.3
Т98

Т98 **Тюрин И.В.**
Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии: Учение о почвенном гумусе / Тюрин И.В. – М.: Книга по Требованию, 2024. – 290 с.

ISBN 978-5-458-60840-4

Данная книга проф. И. В. Тюрина знакомит читателей с современным состоянием, методикой и основными результатами изучения органического вещества почв (почвенного гумуса) - вопросами, имеющими большое практическое значение при установлении агротехнических приемов на различных по содержанию гумуса почвах.

Книга рассчитана на почвоведов, агрономов, лесоводов.

ISBN 978-5-458-60840-4

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ВВЕДЕНИЕ

Возникновение и развитие почв на земной поверхности неразрывно связано с процессами взаимодействия между корой выветривания, атмосферой и биологическими факторами, при участии солнечной энергии. Сущность этих процессов сводится к усвоению зелеными растениями солнечной энергии и минеральных веществ и к образованию органического вещества, которое частью используется животным миром и человеком, частью же, в виде отмирающих растительных и животных остатков, поступает в поверхностные слои коры выветривания, где подвергается процессам распада и окисления под влиянием микроорганизмов, в результате чего происходит выделение энергии и обратный переход органического вещества в форму минеральных соединений, используемых новыми поколениями растительности.

Иначе говоря, процессы почвообразования, связанные с деятельностью биологических факторов, имеют циклический характер и выражаются в круговороте питательных веществ и энергии между почвой, растительностью и атмосферой. Этот круговорот имеет громадное значение для развития и поддержания плодородия почвы, а тем самым и для жизни на земной поверхности.

Наблюдения в природе показывают, что этот круговорот только в исключительных случаях может быть выражен простой схемой, когда поступающее в почву органическое вещество полностью и без остатка подвергается процессам распада и минерализации. В подавляющем большинстве случаев этот круговорот усложняется тем, что некоторая часть поступающего в почву органического вещества, будучи относительно устойчивой к разложению микроорганизмами, на более или менее длительное время избегает минерализации и, подвергаясь различным изменениям под влиянием биохимических и физико-химических процессов, превращается в своеобразный комплекс органических соединений, получивший название гумуса или перегноя.

Как размеры, так и формы накопления гумуса в природе зависят от целого ряда условий, из которых для накопления гумуса решающее значение имеют условия, влияющие на интенсивность микробиологических процессов разложения и минерализации поступающих органических остатков и образующегося гумуса. При благоприятном сочетании этих условий наблюдается сравнительно незначительное накопление гумуса, которое имеет отчетливо выраженный динамический характер благодаря непре-

рывно идущим процессам распада и пополнения. Такое состояние является характерным для большинства почв. При менее благоприятных условиях для микробиологических процессов разложения, обратимость круговорота органических элементов делается далеко не полной, и в этих случаях, при достаточно большом притоке органических остатков, происходит значительное накопление органического вещества, которое в современную геологическую эпоху выражается в образовании торфа и сапропелей, а результатом подобного же накопления в минувшие эпохи являются залежи гумусовых углей и сапропелитов в толще осадочных пород.

Аккумуляция органического вещества в форме гумуса несомненно уменьшает количество органических элементов, находящихся в состоянии непрерывного круговорота между живой и мертвой природой, и прогрессивный характер этой аккумуляции можно рассматривать, как отрицательное явление, которое при широком распространении в конце концов могло бы привести к прекращению жизни. Но в тех размерах, в которых она наблюдается в природе, эта аккумуляция имеет и огромное положительное значение.

Мощные залежи углей, торфа, сапропелитов и нефти используются человеком в качестве важнейшего источника энергии и в качестве сырья для некоторых видов промышленности. Что же касается гумуса в почвах, то он является резервным запасом питательных веществ для растительности, медленное но непрерывное освобождение которых при процессах разложения гумуса можно рассматривать, как один из важных факторов устойчивости плодородия почв. Вместе с тем, присутствие гумуса в большинстве случаев оказывает благоприятное влияние на физические, физико-химические и биохимические свойства почв, создавая более устойчивую и более уравновешенную для развития растений среду. И, наконец, с присутствием гумуса связан целый ряд процессов взаимодействия его с минеральной частью почвы, и едва ли будет преувеличением сказать, что в генезисе значительной части почв земного шара процессы, связанные прямо или косвенно с присутствием гумуса, играют не только значительную, но часто и решающую роль.

Только что сказанное вполне оправдывает большое внимание и настойчивый интерес к изучению почвенного гумуса со стороны представителей различных отраслей знания. Начавшись более столетия тому назад, это изучение сделало крупные для своего времени успехи еще в первой половине прошлого века. Наступивший после этого довольно длительный период более медленного развития, вызванного необходимостью пересмотра установившихся взглядов в соответствии с данными новых отраслей знания, в особенности химии коллоидов и микробиологии, сменился за последние два-три десятилетия периодом интенсивных и плодотворных исследований, успеху которых в значительной степени способствовало быстрое развитие химии растительных веществ, микробиологии и химии угля (и торфа).

В результате этих исследований, учение о почвенном гумусе, составлявшее до последнего времени одну из глав в курсах почвоведения, получило более широкое содержание и приобрело до известной степени самостоятельное значение, при котором возникает необходимость в специальном изложении, подобно тому, как это уже сделано в отношении других разделов почвоведения, например, поглотительной способности почв, почвенных коллоидов и т. п., а в сопредельной отрасли знания, — в отношении химии торфа и угля.

Прекрасный во многих отношениях почин в этом направлении представляет недавно вышедший труд Ваксмана под названием „Humus“ (730), в котором автор, однако, ставит более широкие задачи, понимая под гумусом все формы накопления органического вещества в земной коре, возникающие при процессах разложения растительных и животных остатков, как современные — в виде гумуса в органических удобрениях, почвах, торфах и водных бассейнах, так и ископаемые — в виде углей и источников нефти.

Мы в настоящей книге ограничиваем нашу задачу рамками понятия о почвенном гумусе, как об органической части почв.

В основу предлагаемого изложения учения о почвенном гумусе нами положен принятый в почвоведении генетический принцип, в соответствии с которым первые главы посвящены вопросам происхождения и образования гумуса, а последующие — вопросам химического состава и роли гумуса в процессах почвообразования и плодородия почв.

Глава I

СОСТАВ ОРГАНИЧЕСКИХ ОСТАТКОВ, ПОСТУПАЮЩИХ В ПОЧВУ

Непосредственным материалом для образования гумуса в естественных почвах являются разнообразные органические остатки растительного, животного и микробного происхождения, которые поступают в почву при полном или частичном отмирании произрастающих на ней растений и населяющих ее животных и микроорганизмов.

Решающее значение в качестве главного и первичного источника органического вещества в почвах принадлежит остаткам зеленых хлорофиллоносных растений, начиная от высших сосудистых и кончая мхами; несравненно меньшую роль в этом отношении играют остатки водорослей и аутотрофных бактерий.

Что же касается остатков почвенных животных и гетеротрофных микроорганизмов, то поступление их в почву не сопровождается увеличением общего прихода органического вещества, так как развитие названных организмов происходит за счет готового органического материала, первоисточником которого являются только хлорофиллоносные растения и отчасти аутотрофные бактерии. Иначе говоря, остатки животного и микробного происхождения можно рассматривать, как материалы вторичного порядка, возникающие в почве в процессе превращения (метаморфоза) растительных остатков.

К таким же вторичным материалам, по сравнению с свежими растительными остатками, поступающими непосредственно в почву, относятся органические удобрения, в виде навоза и компостов. Основным источником при приготовлении этих удобрений также являются растительные материалы, которые, вместе с продуктами животного происхождения, подвергаются процессам превращения, сходным с процессами изменения органических остатков в почвах.

Таким образом, начальным звеном в сложной цепи процессов образования гумуса в почве являются растительные остатки. Поэтому, чтобы составить себе ясное представление о характере этих процессов и о составе и свойствах самого гумуса, необходимо прежде всего познакомиться с составом растительных остатков и со свойствами главнейших органических соединений растительного происхождения. Попутно при этом будет удобно

остановиться и на некоторых аналогичных соединениях животного и микробного происхождения.

Главными элементами, входящими в состав растительных остатков, являются С, О, Н и N. Кроме них растительные остатки содержат в незначительных количествах большое число других элементов, наличие которых легко обнаружить в золе после сжигания.

Из всех этих элементов построены разнообразные органические соединения, различающиеся по своей химической природе и по функциям, которые они выполняют в живых растениях. Часть этих соединений образует оболочки или стенки клеток, другая часть составляет плазму, третьи служат запасными или резервными веществами, четвертые являются конечными продуктами обмена и т. д.

Оболочки клеток состоят главным образом из углеводов-полисахаридов — целлюлозы и гемицеллюлез; в сосудистых растениях, и особенно в одревесневших тканях последних, наряду с ними в значительных количествах содержится лигнин. В покровных тканях в построении клеточных оболочек принимают участие кутин и пробковые вещества.

Плазма живых клеток состоит в основном из белковых веществ (протеинов). Запасные, или резервные вещества представлены жирами или маслами и углеводами (крахмал, гемицеллюлозы). Веществами, представляющими конечные продукты обмена, являются смолы, отчасти, может быть, дубильные вещества; как те, так и другие, вместе с тем, играют и защитную роль. Кроме того, в клеточном соке могут присутствовать различные растворимые соединения, как сахара и органические кислоты. Наряду с перечисленными соединениями, образующими главную массу растительных материалов, в них встречается обыкновенно в значительных количествах целый ряд соединений, имеющих очень важное значение в сложных реакциях обмена веществ в растениях, как, напр., хлорофилл, алкалоиды и различные ферменты. Присутствие последних играет известную роль в изменениях растительных остатков и после их поступления в почву.

Относительное содержание главных групп органических соединений в растительных остатках различного происхождения находится в тесной зависимости от соотношения между массой клеточных оболочек и содержимым клеток. У низко организованных растений на долю клеточных оболочек приходится значительно меньшая часть массы, чем у высокоорганизованных растений; поэтому у первых гораздо выше содержание веществ, образующих содержимое клеток, т. е. протеинов и жиров, тогда как у вторых преобладают углеводы клеточных стенок (целлюлоза и гемицеллюлозы) и лигнин, при незначительном содержании протеинов и жиров. Это можно видеть из табл. 1, в которой приведены приблизительные данные среднего состава различных растений по Фуксу (396). Аналогичные изменения состава наблюдаются у одного и того же растения с возрастом всего

растения в целом, или с возрастом отдельных его органов и тканей; по мере старения уменьшается содержание протеинов и жиров, и возрастает содержание углеводов клеточных стенок, обычно вместе с лигнином.

Таблица 1

Растения	Протеины %	Жиры, воска, смолы %	Целлюлоза и гемицел- люлозы %	Лигнин %
Водоросли	20—30	20—30	10—20	0
Лиственные мхи	15—20*	8—10	30—40	10
Папоротники	10—15	3—5	40—50	20—30
Хвоши				
Плауны	1—10	1—2**	>50	30
Хвойные				
Лиственные древесные породы	1—10	1—3**	>50	30
Травы	5—10	5—10	50	20—30

УГЛЕВОДЫ И БЛИЗКИЕ К НИМ ВЕЩЕСТВА

Углеводы составляют характерную группу веществ, количественно преобладающую над другими соединениями почти во всех растениях, за исключением водорослей. Главная масса их представлена углеводами, образующими клеточные стенки, т. е. целлюлозой и гемицеллюлозами и близкими к последним пектиновыми веществами; в меньших количествах в растительных остатках присутствуют углеводы, играющие роль запасных или транспортных веществ; сюда относятся растворимые сахара, крахмал и родственный ему инулин.

По составу углеводы делятся на три группы (56):

- 1) Моносахариды (монозы): гексозы $C_6H_{12}O_6$ и пентозы $C_5H_{10}O_5$
- 2) Дисахариды и трисахариды (сахароподобные полиозы): $C_{12}H_{22}O_{11}$ и $C_{18}H_{32}O_{16}$
- 3) Полисахариды (или несакхароподобные полиозы): $(C_6H_{10}O_5)_n$ — крахмал, инулин, целлюлоза, гексозаны
 $(C_5H_8O_4)_n$ — пентозаны

Моносахариды (56)

Моносахариды (монозы), или простые сахара, содержатся в растительных остатках обычно в незначительных количествах,

* Для гипновых мхов и сфагнома содержание протеинов значительно ниже (5—8%).

** Приводимые Фуксом цифры, повидимому, относятся к древесине; в хвое хвойных и в листьях лиственных пород содержание этой группы веществ значительно выше — в хвое около 20%, в листьях до 10%.

будучи представлены, главным образом, некоторыми гексозами (глюкозой и фруктозой).

Ознакомление с свойствами моноз представляет, однако, интерес в виду того, что монозы являются исходными соединениями при построении более сложных углеводов — полисахаридов, составляющих главную массу растительных остатков. Монозы (как гексозы, так и пентозы) представляют собою растворимые в воде многоатомные (пяти- и четырехатомные) спирты, содержащие одну карбонильную группу CO . Наличию этой группы обязана характерная реакция моноз — восстановление фелинговой жидкости, используемая для их количественного определения.

За счет этой группы происходят и реакции полимеризации моноз, ведущие к образованию в растениях полисахаридов. Наличие же спиртовых групп OH объясняет способность моноз давать простые и сложные эфиры, а также алкоголяты, называемые сахарами, напр., при действии $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и $\text{Sr}(\text{OH})_2$. Сахараты легко разлагаются действием CO_2 .

При кипячении с минеральными кислотами при известных условиях (напр., с 12% HCl) моносахариды подвергаются глубокому разложению. При этом пентозы дают гетероциклический спирт — фурфурол, тогда как гексозы распадаются на муравьиную и левулиновую кислоты. Образование левулиновой кислоты ($\text{CH}_3 \cdot \text{CO} \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{COOH}$) особенно легко происходит из фруктозы.

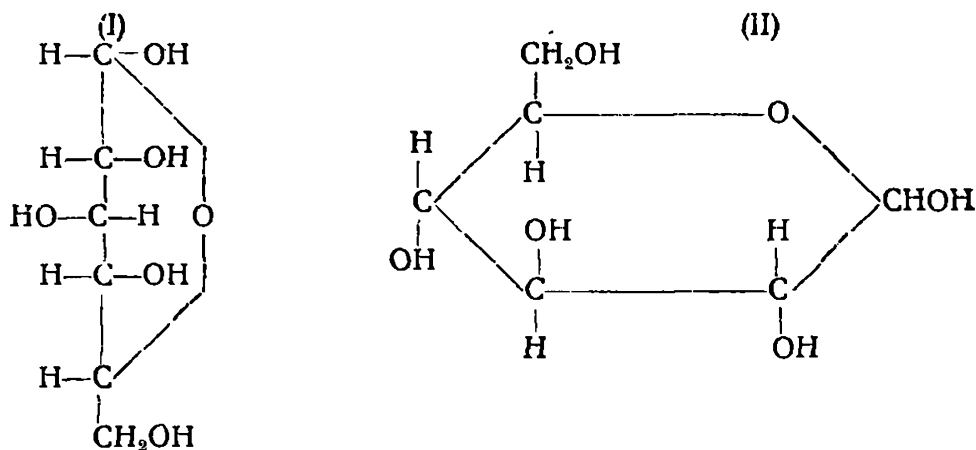
При продолжительном нагревании моноз с кислотами, а также с растворами щелочей, особенно при доступе воздуха, они превращаются постепенно в темные гуминоподобные вещества. Изучению этих искусственных гуминовых веществ уделялось одно время очень большое внимание, так как таким путем предполагалось возможным подойти к раскрытию природы естественных гуминовых веществ, выделение которых в чистом виде очень затруднительно (309, 320, 507, 539, 540). Впоследствии, однако, оказалось, что искусственные гуминовые вещества из сахара существенно отличаются по своим свойствам и составу от естественных (370). Гуминоподобные вещества получают также при реакции взаимодействия сахаров с аминокислотами, о которой более подробно будет сказано дальше.

Строение моноз первоначально предполагалось в форме открытой цепи



Дальнейшее изучение привело к циклической окисной формуле, согласно которой альдегидная группа присутствует не в свободной, а в скрытой форме.

Согласно этим современным представлениям, строение, например, наиболее распространенной в растительном мире d-глюкозы может быть изображено условно формулой (I) или перспективной формулой Хеуэрза (II):



Таким образом, монозы относятся в настоящее время к кислородным гетероциклическим соединениям. Это представление не находится в противоречии с фактом относительно малой устойчивости моноз в химическом и биохимическом отношениях. Как известно, наиболее прочными из кислородных гетероциклов являются циклы состава $(\text{CH}_2)_4\text{O}$ и $(\text{CH}_2)_5\text{O}$. Но по мере того, как в циклах происходит замена водорода на OH или кислород (или возникают двойные связи), прочность циклов уменьшается, и в монозах, имеющих вместо водорода гидроксилы, циклы легко размыкаются, переходя друг в друга или в альдегидные и кетонные формы (56).

Ди- и трисахариды (56)

Наиболее распространенным дисахаридом является тростниковый сахар $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$, молекула которого состоит из гексоз: d-глюкозы и d-фруктозы, соединенных друг с другом через кислородный мостик за счет карбонильных групп; поэтому тростниковый сахар не восстанавливает фелинговой жидкости. Другие дисахариды — мальтоза и целлобиоза получают в качестве продуктов неполного гидролиза крахмала и целлюлозы. В свободном состоянии в некоторых грибах встречается трегалоза (или микоза). Все три только что названных сахара дают при гидролизе d-глюкозу; различные их свойства объясняются различным положением кислородных мостиков между остатками глюкозы.

К трисахаридам относится раффиноза $\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_{16}$ — спутник тростникового сахара; при гидролизе дает глюкозу, фруктозу и галактозу. Все ди- и трисахариды легко растворимы в воде.

Полисахариды

Полисахариды, не участвующие в построении клеточных стенок (56)

Важнейшим из этих полисахаридов является крахмал — первый видимый продукт ассимиляции, встречающийся во всех растениях и накапливающийся в больших количествах в качестве запасного материала в плодах, корневищах и клубнях.

Крахмал нерастворим в холодной воде, в горячей воде (около 60°) сильно разбухает и дает густой коллоидальный раствор (крахмальный клейстер). При кипячении с разведенными кислотами нацело превращается в d-глюкозу. При действии энзимы диастаза гидролизуются в дисахарид мальтозу.

Строение крахмала представляют в виде молекул, состоящих из остатков глюкозы, соединенных кислородными мостиками. Молекулы соединены в мицеллы силами ассоциации. Следовательно, строение крахмала может быть изображено формулой $[(C_6H_{10}O_5)_x]_y$, где x является коэффициентом полимеризации основных структурных единиц, а y — коэффициентом ассоциации (или агрегации). В противоположность целлюлезе, мицеллы крахмала, повидимому, не ориентированы параллельно друг другу.

Близким к крахмалу полисахаридом является гликоген, распространенный в животном мире, но встречающийся также в растениях и грибах; при гидролизе он сполна превращается в глюкозу. Инулин, заменяющий крахмал во многих растениях, дает при гидролизе d-фруктозу, причем гидролиз идет легче, чем у крахмала. В холодной воде нерастворим, в горячей образует коллоидальный раствор. Диастаз на него не действует.

Полисахариды, образующие клеточные оболочки

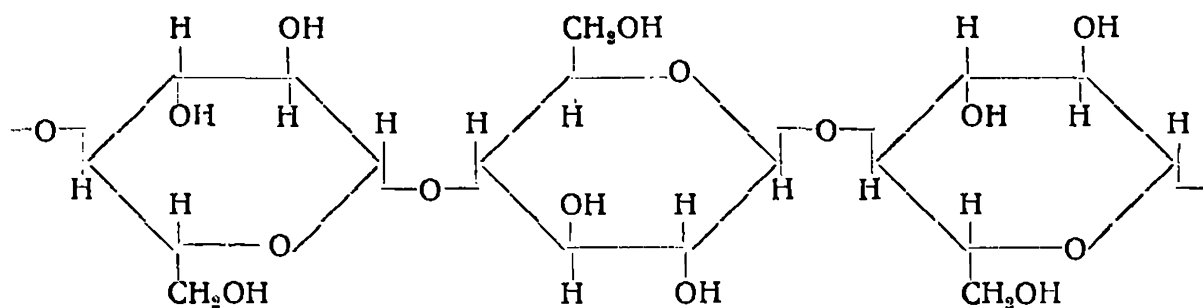
Эта группа, как уже сказано, является наиболее важной, так как составляет значительную и обычно преобладающую часть общей массы растительных остатков. Сюда относятся целлюлеза и гемицеллюлезы; близко к последним стоят пектиновые вещества.

Целлюлеза (56, 143, 144, 580). Целлюлеза, или клетчатка, является наиболее характерным и во многих случаях преобладающим веществом клеточных оболочек в растениях. Наиболее богата целлюлезой древесина хвойных и лиственных пород (60—50%); в листьях, хвое, остатках травянистых растений (солома, сено), а также мхах содержание целлюлезы колеблется в пределах 40—20%, редко снижаясь до 15—10%. По своей химической природе она представляет типичный полисахарид; элементарный состав ее, как и у крахмала, выражается формулой $(C_6H_{10}O_5)_n$. При полном гидролизе она дает почти 100% выход d-глюкозы, следовательно, является высокомолекулярным ангидридом последней. От сопровождающих ее гемицеллюлез она отличается устойчивостью к гидролизу разведенными кислотами и нерастворимостью в разведенных щелочах, а от лигнина — устойчивостью при действии таких окислителей, как хлор, сернистая кислота, спиртовой раствор азотной кислоты, и т. д. На этом основаны методы выделения и количественного определения целлюлезы, напр., метод Кросса и Бивена, метод Кюршнера и др. (95). В воде и обычных органических растворителях целлюлеза не растворима. Специфическим реактивом, растворяющим целлюлезу, является реактив Швейцера — аммиачный раствор окиси меди, с которым целлюлеза образует растворимое

комплексное соединение. При подкислении полученного раствора, или при осаждении спиртом, целлюлеза выпадает в виде хлопьевидного осадка. Кроме реактива Швейцера, целлюлеза растворяется в горячих концентрированных растворах хлористого цинка, роданистого калия, солей сурьмы, висмута, ртути.

При действии концентрированных кислот—42% HCl и 72—80% H_2SO_4 происходит сначала растворение (дезагрегация), а затем гидролиз, который при нагревании, после предварительного разведения кислоты, приводит к полному осахариванию целлюлезы, причем единственным конечным продуктом гидролиза является d-глюкоза. При неполном гидролизе в растворе обнаруживается дисахарид целлобиоза.

Характерным свойством целлюлезы является способность к образованию эфиров, напр., метил-целлюлезы, ацетилцеллюлезы, нитроцеллюлезы и т. д. Изучение этих эфиров приводит к выводу, что в целлюлезе имеется три свободных гидроксильных на каждую группу $C_6H_{10}O_5$. Отсутствие у неизменной целлюлезы свободных карбонильных групп (целлюлеза не восстанавливает фелинговой жидкости) приводит к представлению о цепевидном строении молекулы целлюлезы, которое изображается следующей схемой:



Рентгенографические исследования природной целлюлезы, произведенные целым рядом авторов, привели к выводу о кристаллическом строении ее. Размеры элементарных клеток кристаллита выражаются следующими величинами в ангстремах: а—8,3, b—10,3 и с—7,9. Емкость каждой элементарной клетки соответствует четырем группам $C_6H_{10}O_5$.

Длинные цепи целлюлезы, состоящие по Мейеру и Марку из 60—100 глюкозных остатков, соединены в мицеллы (кристаллиты), состоящие из 40—60 цепей; длина мицелл около 500 Å и ширина около 50 Å. По гипотезе Фрейденберга, мицеллы соединяются в ряды или пучки, а последние в фибриллы, имеющие диаметр 300—600 мк. При сцеплении мицеллярных пучков в фибриллы остаются промежутки величиной около 10 мк, которые заполняются лигнином и гемицеллюлезами (388,81).

При растворении целлюлезы и ее производных в различных растворителях происходит распад на мицеллы и, следовательно, образование коллоидных растворов. Химические реакции идут путем постепенного проникновения внутрь мицеллы; при непол-