

Деформация растяжения тонковолокнистого хлопка в зависимости от зрелости волокна

Кандидат технических наук *Е. С. ФРИДБУРГ*

(Ивановский текстильный институт)

Настоящая работа является продолжением работы (1), в которой изучению был подвергнут аналогичный вопрос, но в отношении средневолокнистого хлопка. В целях сравнимости результатов все условия, а также и методика испытаний сохранены без изменений. В основных чертах методика сводится к следующему:

а) Зрелость волокна определялась по величине отношения видимой ширины канала к толщине двойной стенки волокна. При этом была использована таблица проф. А. Н. Соловьева. Неоднородные по зрелости волокна (с колебаниями более 0,25) исключались.

б) Все испытания на растяжение были выполнены на балочном приборе типа Поляни при точности отсчета стрелы прогиба балочки 0,002 мм и скорости хода нижнего зажима 1 мм в минуту. Зажимная длина волокна была принята 10 мм. Атмосферные условия выдерживались в пределах стандартных отклонений.

в) Обратимые и необратимые деформации растяжения определялись при повторных нагрузках, равных половине разрывной, и при длительности отдыха, равной двум минутам. Необходимо отметить, что при такой длительности отдыха значительная часть эластических деформаций вошла в необратимые, так как обратный релаксационный процесс продолжается часами. Однако, во избежание чрезмерной трудоемкости опытов, мы принуждены были ограничиться длительностью отдыха в две минуты, при которой все же успевала проявиться наиболее ценная часть эластических деформаций.

г) Число повторных нагрузок или циклов нагрузки — отдыха нами принято не менее десяти. Предварительные испытания показали, что в подавляющем большинстве случаев к десятому циклу устанавливается почти полное постоянство отсчетов по шкале прогибов балочки и лимбу, т. е. величины циклической деформации волокна. В случаях, когда десяти циклов оказывалось недостаточно, повторные нагрузки продолжались до первого повторения указанных отсчетов.

Повторные испытания волокна проводились по схеме: нагружение — 2 минуты выстоя под нагрузкой — разгружение — 2 минуты отдыха при скорости хода нижнего зажима 1 мм/мин.

д) Во избежание деформирования волокна при заправке его в рамочку оно лишь слегка распрямлялось. Степень распрямленности волокна

отсчитывалась по лимбу в момент смещения волоска визирной трубы с нулевого деления шкалы прогибов балочки. Эти отсчеты вычитались из разности перемещения зажимов и, таким образом, мы получали чистые удлинения волокна. Отсчет перемещений верхнего зажима производился по истечении двухминутного выстоя волокна под нагрузкой.

1. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАЗРЫВНЫХ УДЛИНЕНИЙ

В таблицах 1 и 2 приведены средние по результатам определения разрывных удлинений и нагрузок, полученные нами по образцам тонковолокнистых хлопков разновидности 2 и 3 и разновидности 504-B. В таблице 3 приведены аналогичные результаты по образцу разновидности 108-Ф четвертого сорта, включенного дополнительно с целью более обстоятельного изучения растяжимости волокон низшей зрелости.

Средние разрывные нагрузки и разрывные удлинения для волокон, распределенных по градациям зрелости (разновидность 2 и 3).

Таблица 1.

Градация зрелости	Разрывное удлинение			Разрывная нагрузка			Число опытов
	среднее в мм	коэффициент вариации	гарантийная ошибка в %	средняя в г.	коэффициент вариации	гарантийная ошибка в %	
0,5—1,0	0,84	—	—	1,77	—	—	21
1,25—1,5	1,09	31,75	4,67	3,60	43,9	6,46	181
1,75—2,0	1,15	27,1	3,31	5,05	33,5	4,10	268
2,25—2,5	1,24	26,7	4,18	5,91	30,4	4,76	163
2,75—3,0	1,175	24,3	4,60	6,32	34,0	6,80	120

Средние разрывные нагрузки и разрывные удлинения для волокон, распределенных по градациям зрелости (разновидность 504-B).

Таблица 2.

Градация зрелости	Разрывное удлинение			Разрывная нагрузка			Число опытов
	среднее в мм	коэффициент вариации	Гарантийная ошибка в %	средняя в г.	коэффициент вариации	гарантийная ошибка в %	
0,5—1,0	0,85	32,8	6,55	1,73	42,5	8,50	100
1,25—1,5	0,96	31,2	5,52	3,02	42,2	7,55	128
1,75—2,0	1,135	28,1	4,91	5,04	41,0	7,32	123
2,25—2,5	1,15	26,0	5,45	6,39	35,0	7,10	122
2,75—3,0	1,125	29,0	6,85	7,33	33,3	7,65	77

Средние и разрывные нагрузки и разрывные удлинения для волокон, распределенных по градациям зрелости (разновидность 108-Ф 4-й сорт).

Таблица 3.

Градация зрелости	Удлинение при разрыве			Прочность при разрыве			Число опытов
	среднее в мм	коэффициент вариации	гарантийная ошибка в %	средняя в г.	коэффициент вариации	гарантийная ошибка в %	
0,5—1,0	1,14	34,7	6,35	1,78	4,96	9,10	120
1,25—1,5	1,19	32,5	5,20	4,95	41,0	6,50	157
1,75—2,0	1,05	26,4	8,05	4,15	29,1	8,90	43
2,25—2,5	1,13	27,0	6,70	5,40	31,9	7,85	66

Из таблиц 1, 2 и 3 видно, что величина гарантийной ошибки, выраженной в процентах от средней величины признака, не выходит за пределы 8—9%, что согласно характеристике академика А. В. Леонтовича, позволяет признать полученные нами результаты средними по качеству. Из таблиц видно также, что средние по градациям зрелости разрывные удлинения колеблются в незначительных пределах, не обнаруживая при этом какой-либо закономерности, в то время как соответственные величины разрывных нагрузок варьируют в больших пределах (в 3—4 раза), неуклонно возрастая с повышением зрелости волокна. Вместе с тем, работами ряда авторов (2, 3 и др.) установлено, что с повышением разрывной прочности хлопкового волокна в общем повышается также и его удлинение.

Прямая зависимость между удлинением и прочностью при разрыве подтверждается также данными настоящей работы, как это видно из рис. 1, на котором графически представлено изменение разрывного удлинения в зависимости от разрывной нагрузки для образца разновидности 2 и 3.

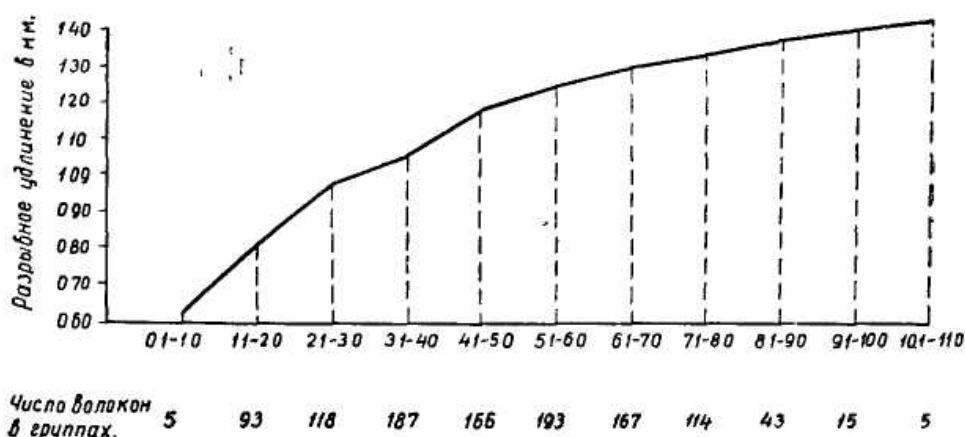


Рис. 1. График изменения разрывного удлинения в зависимости от разрывной нагрузки для образца разновидности 2 и 3

Еще более отчетливо эта зависимость обнаруживается в группах волокон равной зрелости. Для выявления этой зависимости волокна каждой из принятых в работе градаций зрелости были разбиты на классы по разрывной нагрузке с интервалом через один грамм. Средние разрывные удлинения волокон этих групп приведены в таблице 4 для образца разновидности 2 и 3 из отборного сорта.

Средние разрывные удлинения волокон с равной разрывной нагрузкой, вычисленные по градациям зрелости для разновидности 2 и 3 отборного сорта.

Таблица 4.

Градация зрелости	Классы по разрывной нагрузке (г)	Средние разрывные удлинения (мм)	Число испытаний
0,50—1,00 Средняя разрывная нагрузка в г 1,77	0,1—1,0	0,60	4
	1,1—2,0	0,84	47
	2,1—3,0	1,09	26
	3,1—4,0	1,36	6
	4,1—5,0	1,47	2
1,25—1,50 Средняя разрывная нагрузка в г 3,60 ± 0,23	0,1—1,0	0,70	1
	1,1—2,0	0,775	34
	2,1—3,0	0,975	51
	3,1—4,0	1,100	65
	4,1—5,0	1,260	33
	5,1—6,0	1,370	23
	6,1—7,0	1,380	19
	7,1—8,0	1,400	9
8,1—9,0	1,290	3	

Градации зрелости	Классы по разрывной нагрузке (г)	Средние разрывные удлинения (мм)	Число испытаний
1,75—2,00 Средняя разрывная нагрузка в г $505 \pm 0,21$	1,1—2,0	0,51	6
	2,1—3,0	0,85	25
	3,1—4,0	1,04	85
	4,1—5,0	1,195	69
	5,1—6,0	1,26	75
	6,1—7,0	1,31	53
	7,1—8,0	1,32	27
	8,1—9,0	1,35	12
	9,1—10,0	1,41	6
2,25—2,50 Средняя разрывная нагрузка в г $5,91 \pm 0,28$	1,1—2,0	0,77	1
	2,1—3,0	0,93	8
	3,1—4,0	0,96	21
	4,1—5,0	1,11	43
	5,1—6,0	1,20	69
	6,1—7,0	1,29	61
	7,1—8,0	1,32	35
	8,1—9,0	1,39	14
	9,1—10,0	1,48	4
	10,1—11,0	1,47	4
2,75—3,00 Средняя разрывная нагрузка в г $6,32 \pm 0,43$	1,1—2,0	1,05	5
	2,1—3,0	1,12	8
	3,1—4,0	0,92	10
	4,1—5,0	1,135	19
	5,1—6,0	1,20	26
	6,1—7,0	1,23	34
	7,1—8,0	1,325	43
	8,1—9,0	1,40	14
	9,1—10,0	1,30	5
	10,1—11,0	1,35	1

Аналогичные результаты получены по образцу разновидности 504-В.

Из таблицы 4 видно, что изменчивость волокон каждой градации зрелости значительна по удлинению и еще больше по разрывной нагрузке. Такую изменчивость волокон одинаковой зрелости можно объяснить лишь структурными дефектами, биологическими и механическими повреждениями стенки хлопковых волокон. Об этом свидетельствуют данные работ Ф. В. Хетагуровой и Е. А. Санкова (4) и М. А. Хаджиновой (5). Нами эти повреждения не определялись.

С уменьшением степени поврежденности волокна естественно возрастает разрывная нагрузка, и вместе с ней возрастает также и разрывное удлинение волокна. Зависимость удлинения от прочности обуславливается лишь разрывом волокна по самому слабому сечению. Разрывная нагрузка, которую могли бы дать более прочные участки, при этом совсем не учитывается. Удлинение же учитывается частично, так как к моменту разрушения слабого сечения и более прочные участки успевают частично удлиниться.

Таким образом, прочность лишь ограничивает предел возможного удлинения волокна. По этой причине волокна равной зрелости, но различной поврежденности варьируют по разрывным нагрузке и удлинению. Однако варьирование удлинений значительно меньше, так как к моменту разрыва волокна все его участки успевают удлиниться в той или иной степени. Прочность же, как отмечено выше учитывается лишь по самому слабому сечению.

При полном отсутствии повреждений стенки и дефектов ее структуры волокна различной зрелости удлиняются одинаково, так как предел возможного удлинения хлопковых волокон определяется структурой их пер-

вичной оболочки, обладающей высокой растяжимостью. Так, по А. Фрей-Вислингу (6), «молодые оболочки растительных клеток имеют трубчатую структуру с поперечно ориентированным целлюлозным скелетом; он то, вероятно, обуславливает большие возможности удлинения оболочки».

По В. Раздорскому (7), «образование вторичного слоя оболочки растительных клеток вызывает потерю оболочкой в целом способности к росту в длину». Необходимо отметить, что рост хлопкового волокна в длину осуществляется путем выпячивания первичной оболочки в продольном направлении.

Суммируя изложенное, можно предположить, что предел возможного удлинения неповрежденного хлопкового волокна определяется удлинением его первичной оболочки. Целлюлозные же слои более позднего отложения, с их убывающим к центру структурным углом, не способствуют повышению растяжимости волокна, а, наоборот, даже сдерживают ее. Именно этим, по нашему мнению, объясняется постоянство максимумов разрывных удлинений волокон различных градаций зрелости, как это видно из таблицы 5. По образцу разновидности 2 и 3 этот максимум близок к 1,35. С повышением прочности разрывные удлинения волокон каждой градации зрелости сначала заметно возрастают, а затем этот рост постепенно затухает.

Близкое совпадение максимумов удлинений волокон различных градаций зрелости еще убедительнее подтверждает отсутствие зависимости разрывных удлинений от зрелости волокна.

Аналогичные результаты получены нами по образцам разновидности 108-Ф (четвертого сорта) и разновидности 504-В.

Средние разрывные удлинения волокон с равной разрывной нагрузкой, вычисленные по градациям зрелости для разновидности 108-Ф (4 сорта).

Таблица 5

Градация зрелости	Классы по разрывной нагрузке (г)	Среднее разрывное удлинение (г)	Число опытов
05—10 Средняя разрывная нагрузка в г. $1,78 \pm 0,162$	0,1—1,0	0,63	20
	1,1—2,0	1,115	62
	2,1—3,0	1,35	26
	3,1—4,0	1,33	12
1,25—1,50 Средняя разрывная нагрузка в г. $2,95 \pm 0,192$	0,1—1,0	0,60	6
	1,1—2,0	0,95	27
	2,1—3,0	1,22	44
	3,1—4,0	1,32	52
	4,1—5,0	1,30	20
	5,1—6,0	1,08	8
1,75—2,00 Средняя разрывная нагрузка в г. $4,15 \pm 0,37$	1,1—2,0	0,91	3
	2,1—3,0	0,955	6
	3,1—4,0	1,04	10
	4,1—6,0	1,31	11
	5,1—6,0	1,08	10
	6,1—7,0	0,97	3
2,25—2,70 Средняя разрывная нагрузка в г. $5,40 \pm 0,424$	1,1—2,0	0,82	2
	2,1—3,0	0,90	6
	3,1—4,0	0,98	4
	4,1—5,0	1,10	9
	5,1—6,0	1,31	21
	6,1—7,0	1,28	10
	7,1—8,0	1,30	6

Средние разрывные удлинения волокон с равной разрывной нагрузкой, вычисленные по градациям зрелости для разновидности 504-В (1 сорта).

Таблица 6

Градация зрелости	Классы по разрывной нагрузке (г)	Среднее разрывное удлинение	Число опытов
0,5—1,0 Средняя разрывная нагрузка в г $1,73 \pm 0,147$	0,1—1,0	0,63	13
	1,1—2,0	0,795	61
	2,1—3,0	1,01	16
	3,1—4,0	1,06	13
1,25—1,50 Средняя разрывная нагрузка в г $3,02 \pm 0,228$	0,1—1,0	0,51	6
	1,1—2,0	0,715	24
	2,1—3,0	0,896	38
	3,1—4,0	1,025	35
	4,1—5,0	1,27	15
	5,1—6,0	1,29	6
1,75—2,00 Средняя разрывная нагрузка в г $5,04 \pm 0,369$	6,1—7,0	1,32	4
	0,1—1,0	0,42	2
	1,1—2,0	0,75	5
	2,1—3,0	0,81	7
	3,1—4,0	1,04	21
	4,1—5,0	1,164	20
	5,1—6,0	1,23	22
	6,1—7,0	1,28	14
	7,1—8,0	1,37	7
2,25—2,50 Средняя разрывная нагрузка в г $6,39 \pm 0,445$	8,1—9,0	1,32	3
	9,1—10,0	1,33	3
	1,1—2,0	0,47	4
	2,1—3,0	0,745	6
	3,1—4,0	1,07	5
	4,1—5,0	0,93	13
	5,1—6,0	1,02	11
	6,1—7,0	1,08	20
	7,1—8,0	1,225	13
2,75—3,00 Средняя разрывная нагрузка в г $7,33 \pm 0,560$	8,1—9,0	1,21	17
	9,1—10,0	1,36	10
	1,1—2,0	0,81	5
	2,1—3,0	0,74	3
	3,1—4,0	0,61	4
	4,1—5,0	1,08	2
	5,1—6,0	1,075	15
	6,1—7,0	1,115	19
	7,1—8,0	1,175	9
8,1—9,0	1,20	9	
9,1—10,0	1,25	6	
10,1—11,0	1,31	4	

Из сопоставления таблиц 4, 5, 6 легко заметить довольно близкое совпадение максимумов средних удлинений по всем испытанным нами образцам разновидностей 2 и 3, 504-В и 108-Ф. Этот максимум в среднем равен 1,30. Вероятно, таков предел возможного удлинения хлопка, свободного от повреждений волокна.

Заканчивая рассмотрение результатов разрывных характеристик, необходимо отметить некоторое понижение средних удлинений волокон нижней градации зрелости. Для образца разновидности 504-В это понижение даже выходит за пределы гарантийной ошибки. Это следует отнести

за счет особо глубокой дефектности незрелых волокон, встречающихся в хлопке, вегетировавшем в нормальных условиях, в то время когда основная масса соседних волокон развивалась нормально. Это уродливые волокна. Таких волокон ничтожно мало в хлопке нормального качества. Поэтому в выводах по работе эти волокна нами не учитывались.

В отношении образца разновидности 108-Ф (четвертого сорта) этого сказать нельзя, так как этот хлопок в целом незрелый, и наличие в нем незрелых волокон вполне закономерно. Средние разрывные удлинения волокон всех градаций зрелости этого образца колеблются, как это видно из таблицы 3, в весьма незначительных пределах, не обнаруживая при этом какой-либо закономерности.

2. АНАЛИЗ ОБРАТИМЫХ И НЕОБРАТИМЫХ УДЛИНЕНИЙ ПРИ ПОВТОРНЫХ НАГРУЗКАХ, РАВНЫХ 0,5 РАЗРЫВНОЙ

Обратимые и необратимые деформации растяжения (удлинения) зависят от величины повторной нагрузки, при которой эти виды деформаций определяются. В работе (1) этот вопрос подробно нами изучен на двух образцах хлопка разновидности 108-Ф двух урожаев.

В настоящей работе обратимые и необратимые удлинения определялись при нагрузке, равной половине разрывной. Результаты этих опытов приведены в таблицах 7 и 8.

Средние по градациям зрелости обратимые и необратимые удлинения для разновидности 2 и 3

Таблица 7.

Градация зрелости	Удлинение в (мм)		Коэффициент вариации		Повторная нагрузка (г)	Число опытов
	обратимый	необратимый	обратимый	необратимый		
0,5 — 1,0	0,201	0,350	15,10	39,5	0,90	57
1,25 — 1,50	0,208	0,514	12,35	39,5	1,85	53
1,75 — 2,00	0,216	0,560	12,30	31,8	2,35	51
2,25 — 2,50	0,228	0,685	12,10	29,0	2,90	51
2,75 — 3,00	0,232	0,710	12,50	31,0	3,16	50
Среднее без градации 0,5—1,0	0,221	0,617	12,31	33,0		

Средние по градациям зрелости обратимые и необратимые удлинения для разновидности 504-В.

Таблица 8.

Градация зрелости	Удлинение в (мм)		Коэффициент вариации		Повторная нагрузка (г)	Число опытов
	обратимые	необратимые	обратимые	необратимые		
0,5 — 1,0	0,200	0,407	20,0	47,3	0,90	45
1,25 — 1,50	0,213	0,525	14,5	42,5	1,50	50
1,75 — 2,00	0,233	0,608	17,0	41,6	2,50	51
2,25 — 2,50	0,230	0,590	16,9	35,3	3,20	54
2,75 — 3,00	0,225	0,574	13,0	30,5	3,30	41
Среднее без градации 0,5—1,0	0,225	0,572	15,35	37,4		

Из таблиц 7 и 8 видно, что обратимые и необратимые удлинения варьируют в незначительных пределах, не выходящих за пределы ошибки выборки. В данном случае неизбежны также неточности другого порядка, обуславливаемые несоответствием между повторной нагрузкой и разрывной прочностью каждого индивидуального волокна данной градации зрелости.

Результаты для низшей градации зрелости (0,5—1,0) исключены нами из обсуждения по причине, указанной в предыдущей части работы.

Ничтожно малая амплитуда колебаний необратимых удлинений и особенно, обратимых, при наличии почти полного совпадения разрывных удлинений позволяет заключить, что эти виды деформации растяжения также зависят от зрелости волокна.

Из таблиц 1, 2, 7 и 8 видно, что обратимая часть удлинения волокна определенная при половине разрывной нагрузки, в 2,5 раза меньше необратимой части и в 5 раз меньше разрывного удлинения. Необходимо также отметить, что хлопок обладает большим постоянством обратимых удлинений сравнительно с необратимыми.

ВЫВОДЫ

1. Предел возможной растяжимости хлопковых волокон определяется их растяжимостью их первичной оболочки, наделенной поперечно-ориентированным целлюлозным скелетом. Целлюлозные слои более позднего отложения не способствуют повышению этого предела по причине постепенного уменьшения структурного угла в глубинных слоях волокна и большей плотности упаковки целлюлозных молекул.

Поэтому средние разрывные удлинения волокон всех градаций зрелости, кроме минимальной (0,5—1,0), о которой будет сказано ниже, варьируют в пределах гарантийных ошибок, выборки, не обнаруживая при этом какой-либо закономерности. Соответственные же величины средних разрывных нагрузок колеблются в больших пределах (в 3—4 раза).

2. Разбивка волокон каждой градации зрелости на классы волокон равной прочности обнаруживает большую изменчивость разрывных характеристик волокон одинаковой зрелости. Такая изменчивость может быть объяснена лишь значительной поврежденностью стенок хлопковых волокон.

Наличие повреждений ведет к снижению разрывного удлинения волокна и еще большему понижению его разрывной прочности, так как волокна рвутся по самому слабому сечению. Прочность крепких участков при этом, вовсе не учитывается, а их удлинения учитываются лишь частично. Поэтому хлопок и другие виды волокон менее изменчивы по разрывному удлинению, чем по разрывной нагрузке.

При отсутствии повреждений волокно обнаруживает предельно возможные удлинения, лимитируемые строением его оболочки раннего отложения. Такие волокна мы наблюдали во всех градациях зрелости.

Суммируя изложенное, можно заключить, что разрывные удлинения хлопковых волокон не зависят от их зрелости. Прочность же волокна возрастает по мере его вызревания.

3. Обратимая часть удлинений обладает большим постоянством, чем необратимая.

4. Незначительность колебаний средних по градациям зрелости величин обратимых и необратимых удлинений (при нагрузке равной половине разрывной) при почти полном постоянстве соответственных разрывных удлинений позволяет заключить, что эти составные части полных удлинений также не зависят от зрелости волокна.

5. Значительное понижение разрывных удлинений волокон минимальной зрелости (0,5—1,0) следует отнести за счет глубокой дефектности незрелых волокон, встречающихся в хлопке нормальной зрелости, т. е. вызревавшем в нормальных условиях вегетации. Эти волокна прекратили свое развитие на ранних этапах, когда остальная масса соседних волокон продолжала нормально развиваться. Содержание таких волокон в хлопке нормальной зрелости ничтожно мало. Результаты по этим волокнам мы исключили из общих выводов по работе.

Необходимо отметить, что разрывные удлинения волокон этой градации зрелости в образце разновидности 108-Ф четвертого сорта получены такие же, как у волокон других градаций зрелости.

Л и т е р а т у р а

1. Е. С. Ф р и д б у р г, Обратимые и необратимые деформации растяжения волокон средневолокнистого хлопка. Сборник научно-исследовательских работ ИВТИ № 7, 1955.
2. Е. С. Ф р и д б у р г, Некоторые факторы, определяющие крепость хлопкового волокна в штапеле. Диссертация. Московский текстильный институт, 1945.
3. В. Е. З о т и к о в, Сопротивление хлопкового волокна растяжению. Сборник трудов НИТИ, 1933.
4. Ф. В. Х е т а г у р о в а, Е. А. Санков, Биологические повреждения хлопковых волокон, «Текстильная промышленность» № 9, 1951.
5. М. А. Х а д ж и н о в а, Исследование повреждений хлопковых волокон. Сборник работ Ташкентского текстильного института, 1956 (выпуск третий).
6. А. Ф р е й-В и с л и н г, Субмикроскопическое строение протоплазмы и ее производных, Москва, 1950.
7. В. Р а з д о р с к и й Анатомия растений, Москва, 1949