

54  
A-90

С/К/М

АКАДЕМИЯ НАУК ЛАТВИЙСКОЙ ССР  
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ИНСТИТУТ ХИМИИ ДРЕВЕСИНЫ

На правах рукописи

Ю.Ю. КАТКЕВИЧ

ДЕЙСТВИЕ ГАММА-ЛУЧЕЙ НА ОБРАЗОВАНИЕ  
ДРЕВЕСИНЫ ХВОИНЫХ ПОРОД

075. Химия высокомолекулярных  
соединений

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата химических наук

15

Рига, 1969 год

54  
A90

СК

Работа выполнена в Институте химии древесины Академии наук Латвийской ССР.

Научный руководитель: академик АН Латв. ССР, доктор химических наук, профессор  
**ОДИНЦОВ П.Н.**

Официальные оппоненты: доктор биологических наук,  
профессор МАУРИНЯ Х.А.

кандидат химических наук  
КРЕЙЦБЕРГ Э.Н.

Ведущее предприятие: Ленинградская ордена Ленина лесотехническая академия им. С.М. Кирова

Автореферат представлен "30." *мая* ..... 1969 г.

Защита диссертации состоится "3." *июня* .. 1969 г.  
на заседании Ученого Совета Института химии древесины АН  
Латв. ССР, г. Рига, ул. Академис, 27, конференц-зал.

Ваши замечания и отзывы на автореферат в двух экземплярах  
просим направлять по адресу: г. Рига-6, ул. Академис,  
27.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института.

Ученый секретарь совета *Толшова*  
кандидат химических наук

/Г.М. Толшова/

Центральная научная  
библиотека  
Академии наук Киргизской ССР

Исследования в области химии древесины стимулируются широко использованием древесины в качестве материала для различных отраслей промышленности, а также изобретением наиболее эффективных технологических процессов при ее переработке. За последние 10 лет достигнуты определенные успехи в изучении химического строения древесины и ее компонентов. Но несмотря на это, существует ряд важных вопросов, в решении которых заинтересованы как химики-технологи, преследующие цель совершенствования процессов химической переработки древесины, так и биологи, изучающие вопросы организации жизни. К кругу этих вопросов относятся исследования процессов образования клеточной стенки и ее химического и субмикроскопического строения.

В Институте химии древесины АН Латв. ССР на протяжении ряда лет под руководством академика АН Латв. ССР, проф. П.И. Одинова и члена-корреспондента АН Латв. ССР В.И. Сергеева ведутся исследования процессов образования компонентов клеточной стенки растений в зависимости от различных внешних условий, в том числе и ионизирующего излучения.

Исследования действия ионизирующего излучения имеют двустороннее значение. Теоретический интерес их определяется возможностью вызывать сдвиги в физиологических и биохимических процессах облученных растений, позволяющие уточнить нормальный характер их протекания и взаимосвязь с образованием высокополимерных компонентов клеточных стенок. С другой стороны, данные об изменениях в древесине, образованной под воздействием гамма-лучей, имеют и определенное значение при оценке качества древесины, образованной при повышенной дозе ионизирующего излучения в отдельных местах лесонасаждений и при решении задач диагностического характера, например, для установления фазы кратко-временного облучения деревьев в прошлом.

Задачей данной работы являлось изучение изменений в процессе формирования клеточных стенок сосны и ели и изменений в их химическом составе под воздействием облучения гамма-лучами.

Значительное внимание было уделено анатомической характеристике и субмикроскопическому строению образованных под облучением клеточных стенок.

Действие гамма-лучей изучалось как при облучении всего растения целиком, так и при облучении отдельно вторичного камбия и прилегающих к нему образованных, но не дифференцированных клеток, что дало возможность исключить влияние ионизирующего излучения фотосинтезирующего аппарата растения на процесс образования клеточных стенок.

#### Материал и методика облучения

Влияние гамма-лучей на формирование древесины изучалось на 3-5-летних саженцах ели (*Picea abies* L.) и 40-летних соснах (*Pinus silvestris* L.). Облучение саженцев ели проводилось на гамма-поле Института биологии АН Латв. ССР, а облучение сосен - на территории Атомного реактора Института физики АН Латв. ССР. Источником гамма-лучей в обоих случаях служил изотоп  $Co^{60}$ . В вегетационные периоды 1961-1963 годов проводили облучение саженцев ели, а в вегетационные периоды 1964-1965 годов проводили облучение стволов сосен во время их роста гамма-лучами различной интенсивностью и интегральной дозой облучения (см. табл. I). В каждом варианте облучали по 15-20 саженцев ели и по 1-3 сосны. Для микроскопических и химических исследований материал собирался в юнцы вегетационного периода, а в отдельных случаях сразу после облучения и фиксировался 96% этанолом.

Изменение морфологического и анатомического строения древесины побегов ели и стволов сосен, образованных под воздействием гамма-лучей

Благодаря многочисленным работам (П.И. Киньэ, М.В. Кулинов 1967; Р.Т. Карабень, Ф.А. Тихомиров 1967; Sparrow et al 1961, 1963, 1965; Sparrow & Woodwell 1962, 1963 и др.), проведенным на гамма-полях как в Советском Союзе, так и в США, и



Таблица I.

Время и дозы облучения гамма-лучами саженцев ели  
и стволов сосен в вегетационные периоды  
1961-1965 годов

Год облучения	Вариант опыта	Продолжительность облучения	Интенсивность облучения, р/час	Интегральная доза облучения, р
<u>Облучение саженцев ели</u>				
1961 г.	Контроль	-	-	-
"	D <sub>1</sub>	27/IV-9/V	0,5	100
"	D <sub>2</sub>	"-	4,6	1020
"	D <sub>3</sub>	"-	7,2	1600
1962 г.	Контроль	-	-	-
"	D <sub>4</sub>	6/VI-25/VI	2,3	550
"	D <sub>5</sub>	"-	4,8	1100
"	D <sub>6</sub>	6/VI-30/VII	2,4	1200
"	D <sub>7</sub>	"-	5,1	2500
1963 г.	Контроль	-	-	-
"	D <sub>8</sub>	6/VI-30/VII	5,1	2400
<u>Облучение стволов сосен</u>				
1964 г.	Годичное кольцо 1963 г.	Контроль	-	-
"	D <sub>9</sub>	26/V-22/IX	0,11	310
"	D <sub>10</sub>	"-	0,75	2150
"	D <sub>11</sub>	"-	8,89	25400
1965 г.	Годичное кольцо 1964 г.	Контроль	-	-
"	D <sub>12</sub>	10/V-10/IX	0,02	60
"	D <sub>13</sub>	"-	0,33	970
"	D <sub>14</sub>	"-	5,00	14700

наиболее время известно, что наиболее радиочувствительными видами древесных растений является сосна и ель. Нашими 3-летними исследованиями по действию гамма-лучей на саженцы ели показано, что наиболее сильно задерживается удлинение побегов саженцев ели при облучении в начале вегетационного периода, а при облучении в середине вегетации для достижения такого же эффекта необходима доза в 2 раза больше. При достижении доз гамма-лучей 1000 р и выше в древесине побегов ели образуются трахеиды меньшего размера и с меньшей толщиной оболочек по сравнению с необлученной древесиной. При образовании вторичных побегов (D<sub>2</sub> - 1020 р и D<sub>3</sub> - 1600 р), т.е. при наличии активных точек роста, быстрее ликвидируются радиационные повреждения в камбии, и размер и число трахид приближаются к размеру и числу трахид у контрольных елочек.

Чтобы исключить дополнительное влияние облученного фотосинтезирующего аппарата растений при действии гамма-лучей на деятельность вторичного камбия и формирование клеточных оболочек древесины, нами проведены опыты по хроническому облучению стволов сосен 5 см поясным излучателем. Влияние гамма-лучей на деятельность камбия зависит как от интенсивности облучения, так и от интегральной дозы облучения. В частности, при интенсивности облучения 0,2 р/час и ниже и интегральной дозе облучения 600 р и ниже никакого торможения деления камбия не наблюдалось, при интенсивности облучения 0,8 р/час и дозе облучения 2150 р наблюдалась задержка деления камбия, а при интенсивности 5 р/час и дозе облучения 2000 р имеет место полное подавление деятельности камбия. Эти данные согласуются с работой Sparrow & Woodwell (1962). Как видно из табл. 2, ширина и длина трахид и толщина вторичных оболочек как в ранних, так и в поздних слоях годовичных колец, образованных под воздействием гамма-лучей, уменьшена, а толщина сложной срединной пластинки как у трахид, образованных под облучением, так и у необлученных почти одинакова. При дозе D<sub>13</sub> - 970 р в год облучения в позднем слое годовичного кольца на следующий год вегетации во всем годовичном кольце наблюдается присутствие не-

Таблица 4.  
Характеристики и радиус годичных колец у сосен вегетации и облученной Д<sub>145</sub> года

Вариант опыта и дозы облучения, Р	Объемный вес, г/см <sup>3</sup>	Ширина трахеид	Радиальный размер, мк				Длина трахеид, мм
			толщина двух оболочек	толщина средней пластинки	толщина двух вторичных оболочек		
					равный	слон	
Контроль	0,22	46,7	7,3	-	-	1,66	
Д <sub>12</sub> -60 Р	0,23	41,4	7,6	0,9	6,5	1,81	
Д <sub>13</sub> -970Р	0,30	36,8	7,4	0,8	6,4	1,69	
Д <sub>14</sub> -14700Р	-	39,5	6,4	0,8	5,5	1,34	
Контроль	0,58	25,5	10,3	-	-	1,60	
Д <sub>12</sub> -60 Р	0,54	30,5	8,2	1,2	7,0	1,49	
Д <sub>13</sub> -970Р	0,41	22,0	5,8	1,1	4,7	1,29	

\* При дозе облучения Д<sub>14</sub>-14700 Р ширина трахеиды не образовалась

которого числа закрученных трахейд, значительно уменьшается на третий год вегетации. Однако, при дозе облучения Д<sub>14</sub> - 14700 Р закрученные трахеиды обнаруживаются в большом количестве даже на третий год вегетации. Причем в новообразующемся годичном кольце при этой дозе облучения имеется большое количество паренхимных клеток. О нерегулярности клеток древесины побегов толела, выросших из облученных гамма-лучами черенков, сообщалось также в работе В.Н. Сергеевой и Э.Н. Крейнберг (1968). По-видимому, радиационные изменения, вызванные в камбии, не ликвидируются даже на третий год вегетации. В конце третьего года вегетации две сосны из пяти погибли.

Электронно-микроскопические исследования распределения пектина в оболочках необлученных побегов ели, проведенные с применением реакции на сложно-эфирные связи урановых кислот, показывают, что, кроме сложной срединной пластинки, реакция на пектин обнаруживается также во внешней части среднего слоя  $K_2$  оболочек. При дозе облучения Д<sub>7</sub> - 2500 Р интенсивно окрашивается на сложные эфиры урановых кислот как сложная срединная пластинка, так и вся вторичная оболочка.

Изменение химического состава древесины ели и сосны, образованной под воздействием гамма-лучей

Изменение углеродного состава древесины побегов ели

Для определения химического состава древесины побегов ели, образованной под воздействием гамма-лучей, проведено последовательное разделение древесины на фракции, содержащие отдельные группы химических соединений. Обессмоленную древесину подвергали эфирной экстракции горячей водой для выделения полимеров, слабо связанных в клеточной стенке и очень легко гидролизующихся. Состав глицеролизной фракции определен после гидролиза материалов I и H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Трудногидролизуемые полисахариды определялись гидролизом целлюлозином 72%-ной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> с последующей инверсией. После описанных обработок остается не-



Таблица 3.

Изменение химического состава древесины побегов ели в зависимости от дозы облучения гамма-лучами (в % к абсолютно сухому обесмоленному образцу)

Показатели	Контроль 1962 г.	D <sub>6</sub> - 1200 p	D <sub>7</sub> - 2500 p	Контроль 1963 г.	D <sub>8</sub> - 2400 p
Вещества, растворимые в горячей воде	4,0	8,0	9,7	8,8	12,5
В том числе:					
глюкиан	0,44	0,64	0,69	0,41	0,98
маннан	0,13	0,42	0,44	1,02	1,23
галактан	0,31	1,00	1,13	0,31	0,50
арабан	0,70	1,45	1,56	1,00	1,36
ксилян	0,04	0,07	0,06	0,30	0,15
Вещества, гидролизующиеся I и H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	24,6	27,6	28,7	Не определялись, выключены в вещества гидролизующиеся 72%-ной H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
В том числе:					
глюкиан	1,8	2,3	2,5		
маннан	6,8	6,6	6,1		
галактан	3,1	3,1	3,6		
арабан	2,1	3,1	3,3		
ксилян	6,8	5,1	4,4		
Вещества, гидролизующиеся 72%-ной H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	43,6	38,0	33,7	60,8	57,3
В том числе:					
глюкиан	35,0	27,7	24,1	-	-
маннан	3,4	2,7	2,1	-	-
ксилян	2,8	1,7	1,5	-	-
Лигнины Класона	27,7	26,6	27,7	30,4	30,2
Метоксилы в лигнине	-	-	-	11,68	12,46
Балковые вещества в лигнине	0,5	-	1,3	0,9	1,4

растворимый остаток - лигнин. Методом бумажной хроматографии проводилось определение содержания моносахаридов в гидролизатах, на основании чего производился условный подсчет содержания полисахаридов по фракциям.

Из данных, приведенных в таблице 3, видно, что древесина побегов ели, обработанная под воздействием гамма-лучей, содержит больше веществ, растворимых в горячей воде, больше легкогидролизуемых, меньше трудногидролизуемых веществ и почти одинаковое количество лигнина по сравнению с необлученной древесиной.

В составе веществ, растворимых в горячей воде, у облученных древесины увеличено количество глюкиана, маннана, галактана и арабана, а количество ксилана находится на том же уровне, как и у необлученной древесины. Под воздействием гамма-лучей в древесине происходит нахождение полиуронидов, растворимых в горячей воде. В горячую воду из контрольной древесины, взятой в августе месяце, переходит 10% общего количества урновых кислот, определяемых в древесине, а у соответствующего образца облученной древесины (D<sub>8</sub> - 2400 p) в горячую воду переходит 3% от общего содержания урновых кислот. Урновые кислоты определялись до и после обработки горячей водой методом декарбокислирования с 19%-ной HCl.

В составе легкогидролизуемых веществ у облученных древесины уменьшается количество легкогидролизуемого ксилана, маннана и увеличивается количество глюкиана и арабана. В раствор I и H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, так же, как и при экстракции горячей водой, кроме нейтральных сахаров переходит часть урновых кислот, небольшое количество балковых веществ и растворимого лигнина, причем их количество больше у облученных образцов. Отношение глюкиан к маннозе в легкогидролизуемой фракции древесины побегов необлученных саженцев ели составляет 1:3,8, а в древесинах, образованных под воздействием гамма-лучей, это отношение уменьшается с повышением интегральной дозы облучения (для D<sub>6</sub> - 1200 p - 1:2,9, для D<sub>7</sub> - 2500 p - 1:2,4). Поскольку не вся глюкиза, определяемая в легкогидролизуемой

Таблица 4.

Соотношение полисахаридов в древесине побегов ели, образованной под воздействием различных доз гамма-лучей (в % к содержанию в необлученной древесине)

Вариант дозы и дозы облучения, р	Глюкан	Маннан	Галактан	Арабан	Ксилан
Контроль	100	100	100	100	100
D <sub>γ</sub> -1300 р	82	94	120	163	71
D <sub>γ</sub> -2500 р	73	84	139	173	62

фракции, связана с маннозой в один полимер, ясно, что под воздействием гамма-лучей в древесине образуется меньшее количество глюкоманнана.

Обнаружено, что в трудногидролизуемой части облученных древесины уменьшается количество глюкана, маннана и ксилана и увеличивается количество веществ, которые при гидролизе серной кислотой не дают сахаров. Если принять суммарное количество отдельных полисахаридов в древесине необлученных побегов ели за 100%, то, как видно из таблицы 4, в древесине побегов ели, образованной под воздействием гамма-лучей, глюкана, маннана и ксилана гораздо меньше, а галактана и арабана — больше, чем в необлученной древесине. Очевидно, под воздействием гамма-лучей в древесине побегов ели происходит задержка образования ксилана, целлюлозы и глюкоманнана.

Изменения углеводного состава  
древесины стволов сосны

Для определения химического состава древесины стволов сосны, образованной под воздействием различных доз гамма-лучей, так же, как и для определения химического состава древесины побегов ели, проведено последовательное разделение древесины на фракции, содержащие отдельные группы химических компонентов. Из данных, приведенных в табл. 5, видно, что количество веществ, растворимых в горячей воде как в ранней, так и в поздней слое годичного юльца древесины, сформировавшейся под облучением, увеличено по сравнению с количеством этих веществ в древесине, образованной без облучения. Об увеличении содержания водорастворимых веществ в древесине тополя, выросшей из облученных черенков, отмечается также в работе В.Н. Саргеевой и Э.Н. Крейнберг (1968).

Общее количество полиуроновых кислот в облученной древесине сосны увеличивается как в процентном расчете на абсолютный образец, так и в г/см<sup>3</sup> образца, очевидно, как за счет увеличения водорастворимой полигалактуроновой кислоты (количество ее у облученных древесины по сравнению с необлученной увеличено в 1,5-3 раза), так и за счет уронинов, гидролизующихся в I и H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Во фракции легкогидролизуемых гемицеллюлоз позднего слоя древесины сосны, образованной под воздействием гамма-лучей, содержится пониженное количество глюкана и галактана как при расчете в процентах (см. табл. 6), так и в г/см<sup>3</sup> образца. Количество маннана и ксилана в облученной древесине увеличено при процентном расчете, а при расчете в г/см<sup>3</sup> уменьшено по сравнению с необлученной древесиной. Исключение составляют арабы, количество которого в г/см<sup>3</sup> практически не меняется.

Тяжелое образование галактана в стволе по сравнению с побегами является нормальным процессом, протекающим в растении при обычных условиях роста, а гамма-излучение вызывает дополнительное торможение образования галактана в древесине стволов сосны и стимулирует образование его в побегах.



Таблица 5.

Изменение химического состава древесины сосны в зависимости от дозы облучения (в % на абс. сух. обесмоленный образец)

Показатели	Поздний слой		Ранний слой		Д <sub>14</sub> - р 14700 г	
	Контроль	Д <sub>12</sub> - 60 р	Д <sub>13</sub> - 970 р	Контроль		Д <sub>12</sub> - 60 р
Общее количество полиуронидов	3,1	3,7	5,2	4,7	5,0	5,2
Общее количество игольских веществ, растворимые в воде	4,56	4,23	5,18	4,68	4,69	4,77
Водорастворимая полигалактуроновая кислота	3,5	4,1	4,8	2,7	3,3	3,6
Вещества, гидролизующиеся I и H <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,2	0,2	0,9	0,9	1,0	0,9
Питери полиуронидов при обработке I и H <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	13,7	19,0	19,0	17,7	17,4	19,5
Полиурониды в целлюлознике	2,1	2,8	3,1	-	2,2	2,3
Вещества, гидролизующиеся 72%-ной H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,6	0,8	1,2	-	1,6	2,0
Длинны целюлозы	53,5	52,6	49,4	52,5	52,0	48,8
Метоксилы в длинине	24,4	24,2	26,7	27,1	27,5	28,0
Белковые вещества в длинине	3,59	3,57	4,02	4,10	4,14	4,34
Белковые вещества в ширине	0,6	0,8	1,0	1,4	1,3	2,5

Таблица 6.

Остаток полисахаридов легко- и трудногидролизуемой фракции позднего слоя древесины сосны в зависимости от дозы облучения гамма-лучами (в % на абс. сухой обесмоленный образец древесины)

Полисахариды	Контроль	Д <sub>12</sub> -60 р	Д <sub>13</sub> -970 р
Легкогидролизуемая фракция:			
глюкоза	1,7	1,6	1,4
маннан	5,0	5,5	5,5
ксилян	2,2	2,0	2,6
арабины	1,0	1,0	1,5
галактаны	2,1	1,6	1,4
Трудногидролизуемая фракция:			
глюканы	42,4	36,6	27,4
маннан	5,6	4,5	4,0
ксилян	1,2	1,3	1,9

Общее количество трудногидролизуемых веществ в древесине сосны позднего и раннего слоя, образованных под воздействием гамма-лучей, снижается (см. табл. 5). Во фракции трудногидролизуемых полисахаридов позднего слоя облученных древесины резко снижено количество глюкозы и маннана как в процентном, так и в г/см<sup>3</sup> образца. Отношение общего количества глюкозы к маннану в легко- и трудногидролизуемой фракции позднего слоя необлученных древесины сосны составляет 4:1, в облученной древесиной дозой Д<sub>13</sub> - 970 р - 3:1, это свидетельствует о том, что облучение гамма-лучами задерживает процесс



образования целлюлозы в большей мере, чем процесс образования глюкоманнана.

Обнаруженные изменения в химическом составе древесины сосны, облученных во время роста гамма-лучами, по сравнению с необлученными древесинами тесно связаны с различиями в анатомическом строении трахид, направлением и продолжительностью процессов синтеза полимерных компонентов клеточных стенок.

Изменения в строении целлюлозы

Выше было показано, что под воздействием гамма-лучей в древесине сосны и ели происходит задержка образования целлюлозы в большей мере, чем остальных полисахаридов древесины. Для характеристики субмикроскопического строения целлюлозы облученных древесины нами были проведены рентгенографические и электронно-микроскопические исследования этих древесины и выделенных из них холоцеллюлоз и целлюлоз.

Если количество целлюлозы в расчете на абсолютно сухую обесцелюленную древесину с увеличением дозы облучения снижается, то количество ее в выделенных холоцеллюлозах из древесины сосны во всех вариантах облучения почти одинаково и составляет около 72%. В таблице 7 показаны индексы упорядоченности целлюлозы в древесине, в выделенной из нее холоцеллюлозе и целлюлозе в зависимости от дозы облучения гамма-лучами. Как видно из таблицы, индексы упорядоченности целлюлозы в древесных образцах с увеличением дозы облучения снижаются. В холоцеллюлозных образцах, выделенных из позднего слоя древесины, индексы упорядоченности целлюлозы возрастают по сравнению с древесными образцами, но не сглаживаются их различия по дозам облучения. Исключение составят холоцеллюлозы, выделенные из образцов раннего слоя древесины, у которых индексы упорядоченности целлюлозы одинаковы и не зависят от дозы облучения гамма-лучами. Гамма-лучи при облучении древесины во время ее роста не вызывают изменений размеров кристаллитов, а под их влиянием обнаруживается меньше кристаллических участков в микрофо-

Таблица 7.  
Изменение индексов упорядоченности древесины сосны и выделенных из нее холоцеллюлоз и целлюлоз, образованных под воздействием различных доз гамма-лучей

Вариант облучения	Древесина	Холоцеллюлоза	Целлюлоза
<u>Р а н н и й с л о й</u>			
Контроль	0,21	0,29	0,53
D <sub>12</sub> - 60 p	0,18	0,30	-
A <sub>13</sub> - 970 p	0,13	0,30	-
A <sub>14</sub> - 14700 p	0,04	0,27	0,48
<u>П о з д н и й с л о й</u>			
Контроль	0,34	0,32	0,62
D <sub>12</sub> - 60 p	0,27	0,30	0,61
A <sub>13</sub> - 970 p	0,16	0,22	0,55

риллах целлюлозы, так как ширина пика (002) в кривых интенсивности у холоцеллюлоз, полученных из древесины как раннего, так и позднего слоев, образованных под воздействием различных доз облучения, не изменяется и равна 0,049 ± 0,001 радиана. Снижение упорядоченности целлюлозы связано с большей перепутанностью микромолекул и наличием в микрофибриллах целлюлозы полисахаридов, обуславливающих стericкое препятствие упорядочению целлюлозных молекул.

Электронно-микроскопическими исследованиями ультратонких срезов холоцеллюлозных образцов, полученных из необлученных и облученных древесины дозой D<sub>12</sub> - 2500 p, показано, что под воздействием гамма-лучей изменяется строение вторичных оболочек трахеид. Наблюдается более дисперсное, разрозненное расположение целлюлозных микрофибрилл у облученного образца, в противоположность пластинчатому строению в необлученных образцах.

Институт химической физики  
АН СССР  
Москва

Повышение индексов упорядоченности у целлюлоз, по сравнению с хилоцеллюлозами, в определенной степени связано с рекристаллизацией целлюлозы при гидролизе гемицеллюлоз I и  $H_2SO_4$ . Судя по индексам упорядоченности, рекристаллизация наиболее сильна у целлюлозы, выделенной из поздней древесины, облученной дозой  $D_{13-970}$  p, по сравнению с необлученной. Это связано в первую очередь и со степенью полимеризации (СП) целлюлозы. Средняя СП целлюлозы, полученной из облученной древесины  $D_{13-970}$  p равна 730, а из необлученной древесины - 920.

#### Изменение лигнина

В древесине побегов ели, а также в древесине стволов осеи, образованных под воздействием различных доз гамма-лучей, имеет место незначительное изменение в общем количестве лигнина, определяемого после последовательных обработок образцов горячей водой и I и  $H_2SO_4$ , хотя и имеется тенденция к его увеличению с повышением дозы облучения (см. табл. 3, 5). В лигнине Класона, полученном из облученной древесины побегов ели или в конце, так и в середине вегетации, а также и в лигнине, полученном из облученной древесины стволов осеи, содержится больше белковых веществ и наблюдается тенденция к увеличению метоксилиновых групп, по сравнению с лигнином Класона, полученным из соответствующих необлученных древесины. При расчете в  $г/см^3$  у позднего слоя древесины, облученной дозой  $D_{13-970}$  p, количество лигнина уменьшается на 25%, а у облученного раннего слоя древесины  $D_{14-14700}$  p - увеличивается на 30% по сравнению с соответствующими необлученными древесиными. Так как под воздействием гамма-лучей резко снижена толщина вторичных оболочек у поздних трехид образца  $D_{13-970}$  p, а толщина сложной срединной пластинки у облученных и необлученных образцов одинакова, то уменьшение количества лигнина в  $г/см^3$  на 25% в основном зависит от уменьшения его содержания во вторичных оболочках.

Электронно-микроскопические исследования показали, что в сложной срединной пластинке оболочек трехид размер лигниновых частиц в скелетах сернозольного лигнина, полученных из образцов древесины побегов ели, образованных

гамма-лучей дозой  $D_7-2500$  p, меньше, чем размер лигниновых частиц в сложной срединной пластинке сернозольных лигниновых скелетов, полученных из необлученной древесины побегов ели, а площадь занимаемая пустотами у обоих образцов одинакова и равняется 20% от всей площади поперечного сечения сложной срединной пластинки. Это свидетельствует о том, что количество лигнина в сложной срединной пластинке оболочек трехид мало меняется от дозы облучения гамма-лучами.

Древесина побегов ели, образованная под воздействием гамма-лучей  $D_6-2400$  p содержит в 1,5 раза больше лигнанов, чем необлученная. Показано, что в горячей воде и в I и  $H_2SO_4$  из древесины облученных дозами  $D_6-1200$  p,  $D_7-2500$  p,  $D_{13-970}$  p растворено в 1,5-2 раза больше веществ, дающих поглощение при длине волны 270-280 мкм 40-света. Имеет место также снижение поглощения в ИК-спектрах полосы  $1595\text{ см}^{-1}$  у образца древесины осеи, облученной дозой  $D_{13-970}$  p, по сравнению с необлученной древесиной. На основании этих данных делается предположение о том, что под воздействием гамма-лучей в древесине увеличивается содержание мало конденсированного лигнина.

#### Выводы

Из проведенного экспериментальной работы по изучению действия гамма-лучей на образование древесины в побегах саженцев ели и в стволах осеи можно сделать следующие основные выводы:

1. Гамма-лучи оказывают тормозящее действие на интенсивность деления как первичных, так и вторичных меристем и числовых тканей, что выражается в снижении скорости и удлинения побегов ели и уменьшении толщины образованного годичного кольца древесины ели и осеи при облучении как в начале, так и в середине вегетации. Поддерживающее действие возрастает с увеличением интенсивности облучения и более выражено при облучении в начале вегетационного периода.

2. При хроническом облучении гамма-лучами дозами около  $1200$  p (интенсивность облучения 2,4 p/час) саженцев ели и дозой облучения около  $900$  p (интенсивность облучения 0,3



р/час) сосны в образованной древесине обнаруживаются изменения анатомического строения трахеид и их оболочек. При этих и более высоких дозах облучения трахеиды имеют меньшие размеры и меньшую толщину оболочек. При этом резко снижена толщина вторичных оболочек, в то время, как толщина сложной срединной пластинки мало изменяется от дозы облучения.

3. При интенсивности облучения гамма-лучами 5 р/час и выше для ели и 3 р/час и выше для сосны, при интегральной дозе 2000-3000 р, полностью приостанавливается деление камбиальных клеток, т.е. камбий находится в состоянии физиологического покоя.

4. Радиационные поражения, вызванные в камбии сосны общей дозой около 15000 р (интенсивность облучения 5 р/час), не задерживают возобновления деятельности камбия на следующий вегетационный период. Однако в новообразующемся годичном слое наблюдается усиленное образование паретехим.

5. При хроническом облучении гамма-лучами дозами выше 200 р в образованной древесине наблюдается изменения соотношения химических компонентов древесины. Под воздействием облучения в древесине побегов ели и в древесине стволов сосны увеличивается количество водорастворимых и легкогидролизуемых веществ и уменьшаются количества трудногидролизуемых веществ.

6. Характерным изменением в древесине, вызванным гамма-лучами, является возрастание количества полиуронидов. Это определяется увеличением доли внешних слоев оболочек, в которых концентрируется основное количество полигалактуроновой кислоты, а также увеличением количества полиуронидов гемиполлелозной фракции.

7. Хроматографический анализ продуктов гидролиза гемиполлелозы и целлюлозы до моносахаридов показал, что при облучении резко снижается количество образующейся целлюлозы, значительно снижается количество глюкоманнана, а количество глюкуроноарабиксилана находится на таком же уровне, как и у необлученной древесины. Из этого, следует, что синтез

целлюлозы при облучении гамма-лучами является наиболее радиочувствительным процессом, в то время как синтез глюкуроноарабиксилана мало изменяется под воздействием гамма-лучей.

8. С увеличением дозы облучения наблюдается позначительное возрастание в древесине общего количества лигнина и содержания в нем боковых и метоксилильных групп, а также увеличивается количество лигнинов. Электронно-микроскопические исследования показали уменьшение агрегатов лигнина в клеточных стенках, образованных под облучением.

9. Электронно-микроскопическими исследованиями целлюллозных образцов показано, что ионизирующее излучение вызывает изменения в строении целлюлозы во вторичных оболочках клеточной стенки. Наблюдается более дисперсное, разрозненное расположение целлюлозных микрофибрилл у облученных образцов, в противоположность пластинчатому строению в необлученных образцах.

10. При дозах облучения около 2000 р в древесине сосны образуется целлюлоза с меньшей степенью упорядоченности, чем в необлученной древесине. Предполагается, что при хроническом облучении гамма-лучами, когда происходит задержка синтеза целлюлозы, гемиполлелозы (ксилан, маннан) наиболее глубоко проникает в целлюлозные микрофибриллы и тем самым препятствует кристаллизации целлюлозы.



Основное содержание диссертационной работы описано в следующих статьях:

1. П.Н.Одинцов, Ю.Ю.Каткевич.  
"Изменения в формировании оболочек трахеид побегов ели, вызванные гамма-излучением". Изв.АН Латв.ССР, сер.хим., 1963, №2, 228.
2. П.Н.Одинцов, Ю.Ю.Каткевич, Р.Г.Каткевич.  
"Изменение химического состава древесной части побегов ели, выращенных под воздействием гамма-излучения". Изв.АН Латв.ССР, сер.хим., 1966, №1, 107.
3. П.Н.Одинцов, Ю.Ю.Каткевич.  
"Воздействие облучения гамма-лучами на субмикроскопическое строение оболочек трахеид ели". Сб.ст. Материалы по второму Всесоюзному симпозиуму по применению электронной микроскопии в ботанических исследованиях. Издат. "Наука в думка", Киев, 1967, 24.
4. П.Н.Одинцов, Ю.Ю.Каткевич.  
"Субмикроскопическое строение оболочек трахеид ели, образующихся под воздействием облучения гамма-лучами". Изв.АН Латв.ССР, 1967, №7, 70.
5. Ю.Ю.Каткевич, П.Н.Одинцов.  
"Изменение лигнина древесины, облученной во время роста гамма-лучами". Сб.ст. Химия древесины I, Рига 1968, 121.
6. Ю.Ю.Каткевич, П.Н.Одинцов, М.К.Пендерс.  
"Изменения анатомического строения и химического состава древесины сосны, вызванные гамма-излучением". Сб.ст.Химия древесины в печати.
7. Ю.Ю.Каткевич, П.Н.Одинцов, Г.П.Веверис.  
"Изменение упорядоченности целлюлозы сосны, образованной под воздействием гамма-лучей". Сб.ст. Химия древесины в печати.

Результаты диссертационной работы доложены:

1. Ю.Ю.Каткевич, П.Н.Одинцов.  
"Изменение лигнина древесины, облученной во время роста гамма-лучами. Доклад на Всесоюзном совещании по химии лигнина и его использованию. Рига, 1966, октябрь.

2. П.Н.Одинцов, Ю.Ю.Каткевич.  
"Воздействие облучения гамма-лучами на субмикроскопическое строение оболочек трахеид ели". Доклад на втором Всесоюзном симпозиуме по применению электронной микроскопии в ботанических исследованиях. Киев, 1967, июль.
3. П.Н.Одинцов, Р.Г.Каткевич, Ю.Ю.Каткевич.  
"Образование полиуронидов и сопутствующих углеводов в хвойной древесине". Доклад на советско-финском симпозиуме по химии древесины. Ленинград, 1968, июль.
4. Ю.Ю.Каткевич, П.Н.Одинцов.  
"Некоторые методы электронно-микроскопического исследования лигнина". Доклад на Всесоюзном семинаре "Современные методы исследования в химии лигнина". Архангельск, 1968, июль.

ЕКМР Главлитба СМ Лата.С.Г.  
Подписано к печати 27 мая 1969 г. ЯТ-26280.  
Заказ № 401/69. Тираж 256 экз.