

# Экология льняной текстильной продукции и производства

УДК 677.11+681.513.2

## Критерии оценки экологической чистоты льняной текстильной продукции

О. М. Ольшанская, В. В. Котин, А. В. Артёмов

*ВЛАДИМИР ВЛАДИМИРОВИЧ КОТИН — кандидат физико-математических наук, доцент Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Область научных интересов: математическое моделирование химических и биосферных процессов.*

*АРСЕНИЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ АРТЁМОВ — доктор химических наук, профессор Московского государственного университета дизайна и технологий. Область научных интересов: промышленная экология.*

117049 Москва, ул. Шаболовка, д. 26, ФГУП ЦНИИЛКА, тел./факс (095)237-04-08, (095)237-01-01  
E-mail nauka@tsniilka.ru

Одной из актуальных задач в настоящее время является оценка гигиенических и экологических свойств тканей, в частности льняных и льносмесовых, на основании данных о свойствах исходных волокон. Решению этих задач посвящен ряд работ [1–9].

В настоящей работе рассматриваются критерии оценки допустимого содержания экотоксикантов неорганической природы в льняных изделиях и разработке системы САПР для оценки экологической чистоты текстильной продукции.

В основе этой оценки лежит международный стандарт ЕКО-ТЕХ-100, регламентирующий содержание в текстильной продукции неорганических и органических соединений.

В соответствии с указанным стандартом текстильная продукция делится на четыре вида:

I — продукция детского ассортимента;

II — продукция взрослого ассортимента при условии прямого контакта с кожей;

III — то же при условии непрямого контакта с кожей;

IV — текстильные отделочные материалы.

В соответствии с этим стандартом текстильные изделия должны иметь уровень рН 4,0–7,5 (I, II) и 4,0–9,0 (III, IV). Для тех текстильных изделий, которые в процессе эксплуатации могут намочить, допускается более широкий интервал изменения рН — от 4,0 до 10,5.

Допустимое содержание формальдегида в текстильном изделии не должно превышать (ppm) 20 (I), 75 (II) и 300 (III, IV).

Стандарт ЕКО-ТЕХ-100 регламентирует содержание в ткани следующих элементов, в том числе и тяжелых металлов (ppm): мышьяк — 0,2 (I) и 1,0 (II–IV); свинец — 0,2 (I) и 1,0 (II–IV); кадмий — 0,1 (I–IV); хром (общий) — 1,0 (I) и 2,0 (II–IV); хром(VI) — 0,5 (I–IV); кобальт — 1,0 (I) и 4,0 (II–IV); медь — 25,0 (I) и 50,0 (II–IV); никель — 1,0 (I) и 4,0 (II–IV); ртуть — 0,02 (I–IV).

Суммарное количество пестицидов в текстильных изделиях из натуральных волокон не должно превышать 0,5 (I) и 1,0 ppm (II–IV). К числу пестицидов, присутствию которых наиболее вероятно в текстильной продукции, относятся алдрин, карбарил, дилдрин, эндосульфат, эндрин, гептахлор, гептахлорэпоксид, гексахлорбензол, гексахлорциклогексан, линдан, метоксихлор, мирекс, токсафен, трифлураин, DDD, DDE, DDT и др.

Содержание хлорированных фенолов не должно превышать 0,05 (I) и 0,5 ppm (II–IV). К этим соединениям прежде всего относятся пентахлорфенол и 2,3,5,6-тетрахлорфенол. Содержание других хлорированных органических соединений (дихлорбензол, трихлорбензол, тетрахлорбензол, пентахлорбензол, гексахлорбензол, хлортолуол, дихлортолуол, трихлортолуол, тетрахлортолуол, пентахлортолуол) не должно превышать 1,0 ppm (I–IV).

Существенное внимание следует уделять анализу в текстильном изделии экстрагируемых красителей и продуктов их превращений. Содержание аллергенных красителей, таких как дисперсные синие, дисперсные желтые, дисперсные красные, дисперсные оранжевые, не должно превышать 0,006 % (мас.), а применение кан-

церогенных красителей, таких как основной красный 9, дисперсный синий 1, кислотный красный 26, настоящим стандартом не рекомендуется.

Вещества, образующиеся в результате превращений красителей, в основном относятся к группе ариламинов; их содержание в соответствии со стандартом не должно превышать 20 ppm. К числу таких продуктов превращения красителей относятся 4-аминобифенил, бензидин, 4-хлор-*o*-толуидин, *o*-аминоазотолуол, 2-амино-4-нитротолуол, *n*-хлоранилин, 2,4-диаминоанизол, 4,4'-диаминодифенилметан, 3,3'-дихлорбензидин, 3,3'-диметоксибензидин, 3,3'-диметилбензидин, 3,3'-диметил-4,4'-диаминодифенилметан, 4,4'-оксидианилин, 4,4'-тиодианилин, 2,4-толуилендиамин, 2,4,5-триметиланилин, *o*-анизидин.

Среди других органических веществ стандарт ограничивает содержание (ppm) в текстильном материале толуола — не выше 0,1 (I-IV), стирола — не выше 0,005 (I-IV), винилциклогексена — не выше 0,002 (I-IV), 4-фенилциклогексена — не выше 0,03 (I-IV), бутадиена — не выше 0,002 (I-IV), винилхлорида — не выше 0,002 (I-IV), ароматических углеводородов — не выше 0,3 (I-IV), других летучих органических соединений — не выше 0,5 (I-IV).

Необходимость обязательной экологической сертификации текстильной продукции обусловлена двумя основными причинами:

1) желанием покупателя быть уверенным не только в качестве, но и в экологической чистоте приобретаемой им текстильной продукции. Покупатель, должен знать, что эта продукция не содержит токсических веществ (или содержание этих веществ не превышает установленной нормы) и не представляет угрозы для здоровья. Особенно это касается товаров детского ассортимента. Соответствие текстильной продукции этим нормам в странах Западной Европы подтверждается так называемой «эко-этикеткой», наличие которой на упаковке и свидетельствует об экологической чистоте продукции [10];

2) выходом в самом ближайшем будущем российской текстильной продукции на западно-европейский и мировой рынок. Отсутствие экологического сертификата, соответствующего международным нормам, на отечественную текстильную продукцию может существенно (если не полностью) ограничить ее поступление на этот рынок и не будет способствовать подъему российской текстильной промышленности.

Для определения содержания в текстильных материалах металлов нами был использован метод масс-спектрометрии с ионизацией в индуктивно связанной плазме (ИСПМС). Исследования проводили на приборе VG PLASMA QUAD PQ 2-TURBO. Подробное описание методики испытаний и пробоподготовки образцов приведено в работах [2–4]. Там же оценена воспроизводимость применяемых методик.

Для выработки критерия оценки допустимого содержания экотоксикантов в текстильных изделиях необходимо установить, какие экотоксиканты кроме указанных в стандарте ЕКО-ТЕКС-100 необходимо принять во внимание и учесть (помимо основного условия — не превышения содержания элементов ( $b_i$ ) установленным нормам (ПДК $_i$ ), т.е.  $b_i \leq$  ПДК $_i$ ) совместное влияние загрязнителей-поллютантов, например, по так называемому «индексу токсичности»:

	Li	Rb	Cu	Zn	Cd	B	Al	Si	Pb	V	As	Se	Cr	Mo	W	Mn	Fe	Co	Ni
Li																			
Rb	–																		
Cu					±	–							–		–				
Zn	(–)	(?)	–		+											–	–		
Cd				–															
B		–						–											
Al					–														
Si						–													
Pb				(–)	+														
V																			
As				(–)	(?)														
Se		–	–	–						+					–				
Cr		(–)			(–)					(?)						–	–		
Mo		–			±		+								–	–	–		
W													(–)						
Mn	+	–	±	–	±	(–)	±				–	–	–	±			–	–	–
Fe	+		–	–	±	±							–	–			–		–
Co																	–		–
Ni			±	±	±												(–)		

Рис. 1. Взаимодействие микроэлементов в самих растениях и в среде, окружающей корни растений

– антагонизм, + синергизм, ± антагонизм и/или синергизм, (–) возможный антагонизм

$$\sum_i \frac{b_i}{\text{ПДК}_i} \leq 1,$$

имея в виду возможность усиления или ослабления действия поллютантов при их совместном присутствии.

Особенно необходимо учитывать усиление (синергизм) или ослабление (антагонизм) действия поллютантов в текстильной продукции из волокон растительного происхождения. Так, для растений антагонизм означает, что совместное физиологическое действие нескольких элементов меньше суммы действия отдельных элементов, а синергизм — что совместное действие больше [11, 12]. Такие взаимодействия можно связать со способностью одного элемента ингибировать или стимулировать действие других элементов растения (рис. 1). Все эти взаимодействия весьма переменчивы. Они могут происходить внутри клеток, на поверхности мембран, а также в среде, окружающей корни растений. Процессы взаимодействия контролируются многими факторами [13–15], и их механизмы изучены еще недостаточно.

Взаимодействия между элементами, приведенные в табл. 1, показывают, что Ca, P, Mg — основные антагонистические элементы в отношении поглощения и метаболизма многих микроэлементов. Однако и у антагонистических пар элементов наблюдали синергические эффекты, что связано, вероятно, со специфическими реакциями отдельных генотипов или видов растений.

Антагонистические эффекты чаще всего реализуются двумя путями: макрокомпонент может ингибировать действие (поглощение) микроэлемента или, наоборот, микроэлемент ингибирует действие макроэлемента. Эти реакции наблюдаются особенно часто для фосфатов,

Таблица 1

**Взаимодействие между макро- и микроэлементами в растениях**

Макро-элемент	Антагонизм с микроэлементами	Синергизм
Ca	Al, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, F, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn	Cu, Mn, Zn
Mg	Al, Be, Ba, Cr, Mn, F, Zn, Ni*, Co*, Cu*, Fe*	Al, Zn
P	Al, As, B, Be, Cd, Cr, Cu, F, Fe, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Rb, Se, Si, Sr, Zn	Al, B, Cu, F, Fe, Mo, Mn, Zn
K	Al, B, Hg, Cd, Cr, F, Mo, Mn, Rb	—
S	As, Ba, Fe, Mo, Pb, Se	F**, Fe
N	B, F, Cu	B, Cu, Fe, Mo
Cl	Br, I	

\* Данные для микроорганизмов.

\*\* Совместное присутствие вызывает существенное повреждение растения.

но были обнаружены и для других макрокомпонентов питания [16, 17].

Для практического применения наиболее важно антагонистическое действие Ca и P на такие опасные для здоровья человека элементы как Be и тяжелые металлы: Cd, Pb, Ni.

Наибольшее число антагонистических реакций наблюдалось для F, Mn, Cu и Zn, которые, являются ключевыми элементами в физиологии растений. Функции этих микроэлементов связаны с процессами поглощения и с ферментативными реакциями. Среди остальных микроэлементов в антагонистических отношениях к этой четверке часто оказываются Cr, Mo и Se.

Синергическое взаимодействие между микроэлементами обычно не наблюдается. Синергизм Cd с такими микроэлементами, как Pb, Fe и Ni, скорее всего артефакт, возникающий вследствие разрушения физиологических барьеров под действием стресса, вызванного избыточными концентрациями тяжелых металлов. Кроме того, некоторые реакции, происходящие в среде, окружающей корни, и влияющие на потребление микроэлементов корнями, по-видимому, не связаны непосредственно с метаболическими взаимодействиями, однако эти два типа реакций нелегко различить.

Для определения общего числа экотоксикантов, которое необходимо учитывать при выработке критерия оценки допустимого содержания экотоксикантов в текстильных изделиях, воспользуемся в качестве примера данными элементного состава льняных тканей (рис. 2,а) и льняной продукции на стадиях переработки льна (рис. 2,б). Оценку будем проводить для интервала  $lgb_i < 1$ , для которого, как было нами установлено ранее [4], наблюдается хорошая воспроизводимость результатов анализа. Как видно из рис. 2, помимо As, Pb, Cd, Cr, Co, Cu, Ni и Hg, обязательный анализ которых предписывает стандарт ЕКО-ТЕХ-100, в исходном льняном волокне

Таблица 2

**Средние значения ПДК<sub>В</sub> наиболее распространенных соединений (хлориды, оксиды, сульфаты, карбонаты) некоторых элементов, ppb**

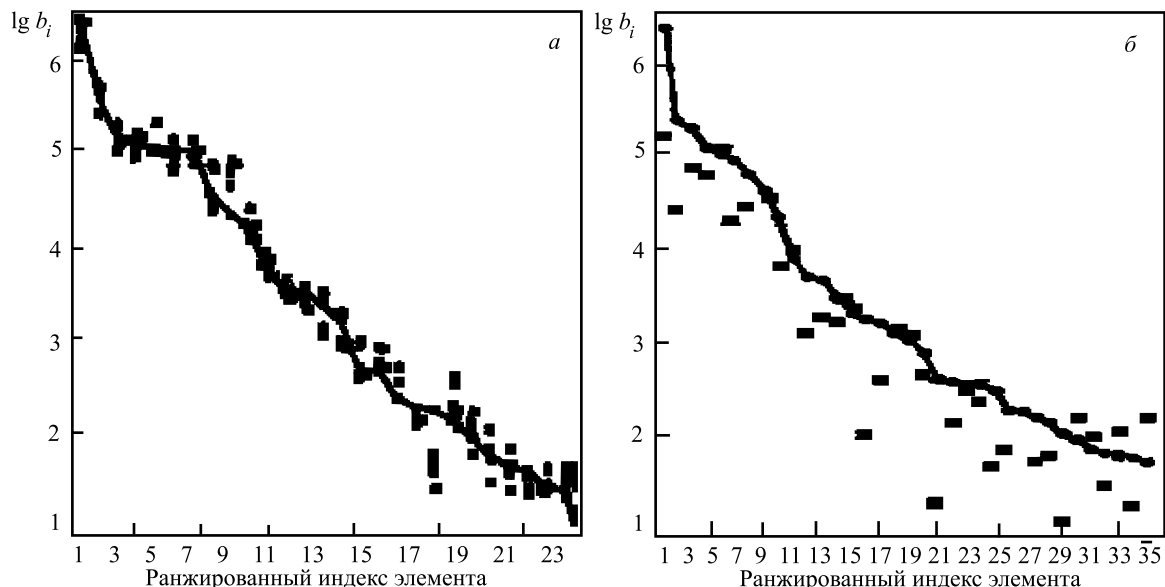
Элемент	ПДК <sub>В</sub>	Элемент	ПДК <sub>В</sub>
Калий	50000	Натрий	120000
Барий	4000	Титан	100
Молибден	250	Литий	30
Кальций	180000	Железо	500
Бор	400	Висмут	500
Ванадий	100	Сурьма	50
Магний	15000	Стронций	200
Марганец	5500	Цинк	3000
Германий	100000	Олово	2000

Таблица 3

**Значения ПДК<sub>і</sub> по стандарту ЕКО-ТЕХ-100 и ПДК<sub>В</sub>, ppb (10<sup>-9</sup> г/г)**

Элемент	ПДК <sub>і</sub>	Элемент или его соединения	ПДК <sub>В</sub>
As	1000	As	30
		As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50
		As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10
			(30)
Pb	1000	Pb	30
		Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	100
			(65)
Cd	100	Cd	1
		CdO, CdCl <sub>2</sub>	10
			(7)
Co	4000	Co	100
		Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CoSO <sub>4</sub> , CoCl <sub>2</sub>	1000
			(775)
Cu	50000	Cu, Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , CuO	1000
		CuSO <sub>4</sub>	100
			(775)
Cr	2000	Cr(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	500
		CrO <sub>3</sub>	100
			(300)
Ni	4000	Ni, NiSO <sub>4</sub> , NiCl <sub>2</sub>	100
			(100)
Hg	20	Hg,	0,5
		Hg <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , Hg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ,	5
		HgO, HgCl <sub>2</sub>	
			(4)

Примечание. В скобках приведены средние значения ПДК<sub>В</sub>.



**Рис. 2.** Содержание ( $b_i$ ) элементов в пяти образцах льняных тканей (а) и в образцах чесаного льна (базовая кривая) и льняной пряжи (б)

а: 1-Ca, 2-P, 3-Mg, 4-K, 5-Si, 6-Sr, 7-Na, 8-S, 9-Al, 10-Fe, 11-Mn, 12-Ba, 13-Ti, 14-Zn, 15-Zr, 16-Cu, 17-Pb, 18-B, 19-Cd, 20-Ni, 21-Sn, 22-Cr, 23-Sc, 24-Co, 25-Rb, 26-As, 27-Se.

б: 1-K, 2-P, 3-Ca, 4-Mg, 5-Na, 6-S, 7-Al, 8-Fe, 9-Sr, 10-Si, 11-Ba, 12-Mn, 13-Ti, 14-Bi, 15-B, 16-Rb, 17-Pb, 18-Cu, 19-Sc, 20-Zr, 21-Zn, 22-Ni, 23-Cr, 24-Ga, 25-Co, 26-Mo, 27-V, 28-Ge, 29-La, 30-Cd, 31-As, 32-Li, 33-Sb, 34-Cs, 35-Sn.

и льняной пряже присутствуют и другие элементы. Данные о токсичности этих элементов приведены в табл. 2. В качестве критерия токсичности соединений того или иного элемента нами был выбран показатель ПДК<sub>В</sub> — «предельно допустимая концентрация химического вещества в воде водоема, которая не оказывает прямое или косвенное влияние на организм человека в течение всей его жизни и на здоровье последующих поколений и не ухудшающая гигиенические условия водопользования».

Как видно, наибольшее внимание необходимо уделять присутствию соединений таких элементов, как Fe, Sr, В, Ti, Bi, Мо, V, Li, Sb, которые имеют низкие значения ПДК<sub>В</sub>, а следовательно, наиболее токсичны.

Между величинами ПДК<sub>В</sub> и ПДК<sub>г</sub> (стандарт ЕКО-ТЕХ-100) для As, Pb, Cd, Co, Cu, Cr, Ni, и Hg (табл. 3) наблюдается линейная корреляция  $ПДК_{г_i} = 419,8 + 4,7 (ПДК_{В})_{ср}$ .

Исключение составляли только Cu и Ni, для которых нормы стандарта ЕКО-ТЕХ-100, по нашему мнению, существенно занижены по сравнению с известными значениями ПДК<sub>В</sub> этих металлов и их соединений (см. табл. 3). Это видно, например, из сравнения Cu и Co — значения  $(ПДК_{В})_{ср}$  для этих элементов одинаковы, а нормы ЕКО-ТЕХ-100 отличаются более чем на порядок. В последующих корреляциях мы не учитывали ПДК<sub>г</sub> для Cu и Ni.

С помощью приведенной выше зависимости были скоррелированы значения ПДК<sub>г</sub> для Cu и Ni и рассчитаны значения ПДК<sub>г</sub> для Fe, Sr, В, Ti, Bi, Мо, V, Li и Sb (расчет проводили для элементов, у которых ПДК<sub>В</sub> < 775). Данные этих расчетов приведены в табл. 4.

В табл. 5 приведены данные о содержании в пяти образцах отбеленных льняных тканей тех элементов, определение которых является обязательным в соответствии

Таблица 4

**Расчетные и рекомендуемые значения ПДК<sub>г</sub> для некоторых элементов стандарта ЕКО-ТЕХ-100**

Элемент	ПДК <sub>В</sub>	Значения ПДК <sub>г</sub>	
		Расчетное	Рекомендуемое
Обязательно определяемые элементы в соответствии со стандартом			
As	30	561	1000*
Pb	65	725	1000*
Cd	7	453	100*
Co	775	4062	4000*
Cu	775	4062	4000
Cr	300	1830	2000*
Ni	100	890	4000
Hg	4	439	20*
Элементы, определяемые дополнительно к стандарту			
Fe	500	2770	4000
Sr	200	1360	2000
B	400	2300	3000
Ti	100	890	1000
Bi	500	2770	4000
Mo	250	1595	2000
V	100	890	2000
Li	30	561	1000
Sb	50	655	1000

\* Стандарт ЕКО-ТЕХ-100.

Таблица 5

Содержание элементов в льняных тканях (среднее из трех измерений), ppb

Элемент	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 3	Обр. 4	Обр. 5
Обязательно определяемые элементы в соответствии со стандартом					
Мышьяк	31	53	33	31	32
Свинец	596	966	634	634	999
Кадмий	241	54	174	156	173
Хром	110	217	150	71	120
Кобальт	54	90	57	27	48
Медь	608	1032	1138	448	559
Никель	225	70	39	58	46
Ртуть	0,07	0,03	0,09	0,01	0,01
Элементы, определяемые дополнительно к стандарту					
Железо	19702	31651	19952	14912	14283
Стронций	139978	171797	118951	97651	81978
Бор	293	616	445	175	194
Титан	3941	4444	2635	2593	3232
Висмут	0,5	0,7	0,8	0,5	0,4
Молибден	0,5	21	8	0,04	0,8
Ванадий	0,6	1	0,5	0,04	0,05
Литий	0,5	0,5	0,8	0,08	0,2
Сурьма	4	8	6	0,2	0,8

Таблица 6

Значения  $b_i / ПДК_i$  для детского (числитель) и взрослого (знаменатель) ассортимента изделий из пяти образцов льняных тканей для элементов, предусмотренных стандартом ЕКО-ТЕХ-100

Элемент	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 3	Обр. 4	Обр. 5
Мышьяк	$\frac{0,1558}{0,0312}$	$\frac{0,2632}{0,0526}$	$\frac{0,1632}{0,0330}$	$\frac{0,1537}{0,0307}$	$\frac{0,1582}{0,0316}$
	$\frac{2,9785}{0,5957}$	$\frac{4,8286}{0,9657}$	$\frac{3,1680}{0,6336}$	$\frac{3,1713}{0,6343}$	$\frac{4,9930}{0,9986}$
Свинец	$\frac{2,4084}{2,4084}$	$\frac{0,5405}{0,5405}$	$\frac{1,7350}{1,7350}$	$\frac{1,5572}{1,5572}$	$\frac{1,7280}{1,7288}$
	$\frac{0,1101}{0,0551}$	$\frac{0,2172}{0,1086}$	$\frac{0,1501}{0,0751}$	$\frac{0,0706}{0,0353}$	$\frac{0,1199}{0,0600}$
Хром	$\frac{0,0537}{0,0134}$	$\frac{0,0900}{0,0225}$	$\frac{0,0571}{0,0143}$	$\frac{0,0275}{0,0069}$	$\frac{0,0479}{0,0120}$
	$\frac{0,0243}{0,0122}$	$\frac{0,0413}{0,0206}$	$\frac{0,0455}{0,0227}$	$\frac{0,0179}{0,0089}$	$\frac{0,0224}{0,0112}$
Медь	$\frac{0,2250}{0,0563}$	$\frac{0,0700}{0,0175}$	$\frac{0,0299}{0,0075}$	$\frac{0,0583}{0,0146}$	$\frac{0,0457}{0,0114}$
	$\frac{0,0035}{0,0035}$	$\frac{0,0015}{0,0015}$	$\frac{0,0045}{0,0045}$	$\frac{0,0005}{0,0005}$	$\frac{0,0005}{0,0005}$
Никель	$\frac{0,0035}{0,0035}$	$\frac{0,0015}{0,0015}$	$\frac{0,0045}{0,0045}$	$\frac{0,0005}{0,0005}$	$\frac{0,0005}{0,0005}$
	$R = \sum \left( \frac{b_i}{ПДК_i} \right)$	$\frac{5,9593}{3,1758}$	$\frac{6,0523}{1,7295}$	$\frac{5,3553}{2,5257}$	$\frac{5,0570}{2,2884}$

Таблица 7

Значения  $b_i / \text{ПДК}_i$  и обобщенного критерия  $R$  для взрослого ассортимента изделий из пяти образцов льняных тканей

Элемент	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 3	Обр. 4	Обр. 5
Мышьак	0,0312	0,0526	0,0330	0,0307	0,0316
Свинец	0,5957	0,9657	0,6336	0,6343	0,9986
Кадмий	2,4084	0,5405	1,7350	1,5572	1,7288
Хром	0,0551	0,1086	0,0751	0,0353	0,0600
Кобальт	0,0134	0,0225	0,0143	0,0069	0,0120
Медь	0,0122	0,0206	0,0227	0,0089	0,0112
Никель	0,0563	0,0175	0,0075	0,0146	0,0114
Ртуть	0,0035	0,0015	0,0045	0,0005	0,0005
Железо	4,9255	7,9128	4,9880	3,7280	3,5708
Стронций	69,9890	85,8995	59,4755	48,8255	40,9890
Бор	0,0977	0,2053	0,1483	0,0583	0,0647
Титан	3,9410	4,4440	2,6350	2,5930	3,2320
Висмут	0,0001	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001
Молибден	0,0002	0,0155	0,0040	0,0000	0,0004
Ванадий	0,0003	0,0005	0,0003	0,0000	0,0000
Литий	0,0005	0,0005	0,0008	0,0001	0,0002
Сурьма	0,0040	0,0080	0,0060	0,0002	0,0008
$R = \sum \left( \frac{b_i}{\text{ПДК}_i} \right)$	84,9176	104,5376	72,6134	60,2622	54,9744

со стандартом ЕКО-ТЕХ-100. Там же приведены данные о других элементах, определением содержания которых, по нашему мнению, должен быть дополнен стандарт ЕКО-ТЕХ-100.

Располагая данными об элементном составе льняных тканей и льна на стадиях его переработки, а также о предлагаемых нормах содержания поллютантов в текстильной продукции, попытаемся теперь оценить степень загрязненности этой продукции.

С позиций условия  $b_i < \text{ПДК}_i$  все исследованные образцы льняных тканей (см. табл. 5) не соответствуют международным нормам по содержанию в них свинца (для детского ассортимента). Образцы 1, 3, 4 и 5 не удовлетворяют международным нормам по содержанию кадмия. Содержание свинца в образцах 2 и 5 приближается к границе нормы для обычного ассортимента текстильных изделий.

Ситуация становится еще более сложной, если принимать во внимание содержание элементов, учитывать которые предлагается дополнительно к стандарту ЕКО-ТЕХ-100 (см. табл. 5). Содержание в льняных тканях таких элементов, как железо, стронций и титан существенно превышает все рекомендованные нормы (см. табл. 3). Особенно настораживает anomalно высокое содержание стронция в образцах льняных тканей.

Еще хуже обстоит дело при рассмотрении результатов элементного анализа льняных тканей с использованием обобщенного экологического критерия  $R$ :

$$R = \sum_i \frac{b_i}{\text{ПДК}_i} \leq 1.$$

Как видно из табл. 6, для всех исследованных образцов льняных тканей значение  $R$  существенно больше

единицы, при этом основной «вклад» в значение  $R$  вносят свинец и кадмий. Средние значения обобщенного экологического критерия  $R$  для льняных тканей оказались равными:

- для детского ассортимента 5,9081
- для обычного ассортимента 2,5147.

Очевидно, что если в сумму  $\sum_i (b_i / \text{ПДК}_i)$  включить слагаемые для других токсичных элементов, присутствующих в льне и не учтенных международным стандартом ЕКО-ТЕХ-100, то обобщенный критерий  $R$  возрастает еще больше. В этом случае основной вклад в  $R$  будут вносить железо, стронций и титан (см. табл. 6).

Значения  $b_i / \text{ПДК}_i$  для взрослого ассортимента изделий из льняных тканей, учитывающих как элементы предусмотренные стандартом ЕКО-ТЕХ-100, так и дополнительные токсические элементы, присутствующие в льне, приведены в табл. 7.

В отличие от данных табл. 6, в случае учета других поллютантов, значение обобщенного экологического критерия  $R$  существенно возрастает, причем, это возрастание определяется в основном Fe, Sr и Ti. При этом большее значение  $R$  связано с anomalно высоким содержанием стронция в образцах. Среднее значение обобщенного экологического критерия  $R$  оказалось равным  $R_{\text{ср}} = 75,4610$ . Оно в 30 раз превосходит  $R_{\text{ср}}$  для тех элементов, которые учтены стандартом ЕКО-ТЕХ-100. Все это свидетельствует о необходимости коррекции самого стандарта ЕКО-ТЕХ-100 в части перечня обязательно определяемых элементов и их допустимого содержания.

Аналогичные расчеты экологического критерия были проведены для льняной продукции на различных стадиях переработки льна. В основу этих расчетов были положены результаты элементного анализа (табл. 8).

Содержание некоторых элементов в льняной продукции (ppb)

№ п/п	Элемент	Чесаный лен	Эмульсированный лен	Суровая ровница	Беленая ровница	Льняная пряжа
1	Мышьяк	14	17	23	28	20
2	Свинец	421	199	368	216	423
3	Кадмий	19	30	25	21	31
4	Хром	91	72	53	58	54
5	Кобальт	43	38	52	26	15
6	Медь	331	641	432	128	359
7	Никель	93	54	62	61	73
8	Ртуть	0,010	0,007	0,003	0,027	0,002
9	Железо	27676	26641	25607	29358	20453
10	Стронций	12440	16652	12911	4138	2785
11	Бор	627	1053	636	73	25
12	Титан	1133	914	1421	1060	579
13	Висмут	785	187	961	1116	883
14	Молибден	43	131	52	0,4	1
15	Ванадий	36	27	32	26	10
16	Литий	13	12	17	9	5
17	Сурьма	13	14	11	8	25

Как видно, содержание всех предусмотренных стандартом ЕКО-ТЕХ-100 элементов (табл. 8, № 1–8) в льняной продукции на стадиях переработки соответствует международным нормам. Исключение составляет лишь свинец, содержание которого в исходном чесаном льне и на последующих стадиях его переработки превосходит международные нормы для детского ассортимента. Такое высокое содержание свинца в исходном льне объясняется, по-видимому, антропогенным фактором.

Помимо этого (см. табл. 8, № 9–17), в исходном льне содержится аномально высокое количество железа, стронция и титана, которое, в случае железа и стронция, иногда существенно превосходит рекомендуемую норму.

Анализируя данные табл. 8, необходимо отметить следующие тенденции в изменении содержания анализируемых элементов на стадиях переработки льна:

- практически неизменным и высоким (превышающим существующие нормы) остается содержание железа на всех стадиях;

- в результате пероксидной отбелки суровой ровницы существенно снижается содержание в льне стронция, бора и молибдена;

- незначительное снижение содержания элементов в ходе пероксидной отбелки наблюдается для хрома, кобальта, лития, ванадия;

- изменения содержания других элементов в льне по стадиям либо не происходит, либо эти изменения носят случайный характер.

Разумеется, элементарный состав льняной продукции зависит от исходного льна. Так, приведенные выше данные по анализу пяти образцов льняных тканей относятся к голландскому льну. По сравнению с российским голландский лен содержит большее количество тяжелых

металлов. Приведенные ниже данные для льняной текстильной продукции по стадиям ее переработки относятся к отечественному льну, т. е. элементарный состав льна и льняных изделий для этих двух исследований в значительной степени различаются.

В табл. 9 приведены значения обобщенного экологического критерия  $R$  (для элементов в соответствии с международным стандартом ЕКО-ТЕХ-100) для льняной продукции по стадиям ее переработки. Данные расчета обобщенного критерия  $R$  для элементов в соответствии со стандартом ЕКО-ТЕХ-100 приведены также и на рис. 3. Как видно из этих данных, лен на всех стадиях его переработки укладывается в норму, а при переходе от стадий переработки льна к конечному продукту (льняной ткани) значение критерия  $R$  снижается. Данные об учете других поллютантов, а не только тех, которые предусмотрены стандартом ЕКО-ТЕХ-100, приведены в табл. 10.

Как видно, в случае учета большего числа поллютантов, значение обобщенного экологического критерия  $R$  существенно возрастает и значительно превышает допустимую норму ( $R \leq 1$ ). Основной вклад в это высокое значение  $R$  вносят железо, стронций, титан, свинец, кадмий, бор, висмут. Процессы пероксидного отбеливания с последующей промывкой горячей и холодной водой и использование технологии мокрого прядения приводят к снижению критерия  $R$  почти в 2 раза, однако этого недостаточно для полного соответствия льняной продукции экологическим нормам ( $R \leq 1$ ). Последнее можно достичь лишь при использовании на соответствующих стадиях дополнительных реагентов, позволяющих эффективно извлекать тяжелые металлы и другие поллютанты из льняной продукции.

Таблица 9

Значения  $b_i$  / ПДК $_i$  и критерия  $R$  льняной продукции на стадиях переработки льна по стандарту ЕКО-ТЕХ-100

Элемент	Стадии переработки льна							
	A1 Чесаный лен	A2 Эмульси- рован- ный лен	A3 Суровая ровница	A4 Беленая ровница	A5 Льняная пряжа	A6 Ошлихто- ванная пряжа*	A7 Суровая ткань**	A8 Беленая ткань***
As	0,014	0,017	0,023	0,028	0,020	0,005	0,015	0,019
Pb	0,421	0,199	0,368	0,216	0,423	0,002	0,046	0,102
Cd	0,190	0,300	0,250	0,210	0,310	0,093	0,259	0,005
Cr	0,046	0,036	0,027	0,029	0,027	0,014	0,008	0,055
Co	0,011	0,010	0,013	0,007	0,004	0,001	0,001	0,020
Cu	0,007	0,013	0,009	0,003	0,007	0,001	0,003	0,002
Ni	0,023	0,014	0,016	0,015	0,018	0,027	0,034	0,018
Hg	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,010	0,001
Критерий $R$	0,712	0,588	0,705	0,509	0,429	0,142	0,375	0,221

\* Среднее из двух образцов.

\*\* Среднее из трех образцов.

\*\*\* Среднее из пяти образцов.

Таблица 10

Значения  $b_i$  / ПДК $_i$  и критерия  $R$  для ассортимента изделий из льняных тканей

Элемент	Стадии переработки**							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
As*	0,014	0,017	0,023	0,028	0,020	0,005	0,015	0,019
Pb*	0,421	0,199	0,368	0,216	0,423	0,002	0,046	0,102
Cd*	0,190	0,300	0,250	0,210	0,310	0,093	0,259	0,005
Cr*	0,046	0,036	0,027	0,029	0,027	0,014	0,008	0,055
Co*	0,011	0,010	0,013	0,007	0,004	0,001	0,001	0,020
Cu*	0,007	0,013	0,009	0,003	0,007	0,001	0,003	0,002
Ni*	0,023	0,014	0,016	0,015	0,018	0,027	0,034	0,018
Hg*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,010	0,001
Fe	6,919	6,660	6,402	7,340	5,113	1,876	1,292	4,037
Sr	6,220	8,326	6,456	2,069	1,393	3,180	2,469	1,293
B	0,209	0,351	0,212	0,024	0,008	0,190	0,129	0,147
Ti	1,133	0,914	1,421	1,060	0,579	0,019	0,045	0,012
Bi	0,196	0,047	0,240	0,279	0,221	0,001	0,001	0,001
Mo	0,022	0,066	0,026	0,001	0,001	0,003	0,002	0,001
V	0,018	0,014	0,016	0,013	0,005	0,010	0,006	0,020
Li	0,013	0,012	0,017	0,009	0,005	0,010	0,007	0,011
Sb	0,013	0,014	0,011	0,008	0,025	0,001	0,059	0,002
$R = \sum b_i / \text{ПДК}_i$	17,349	17,973	17,190	12,384	10,031	5,431	4,385	5,744

\* Элементы, упомянутые в стандарте ЕКО-ТЕХ-100.

\*\* A1–A8 см. табл. 9



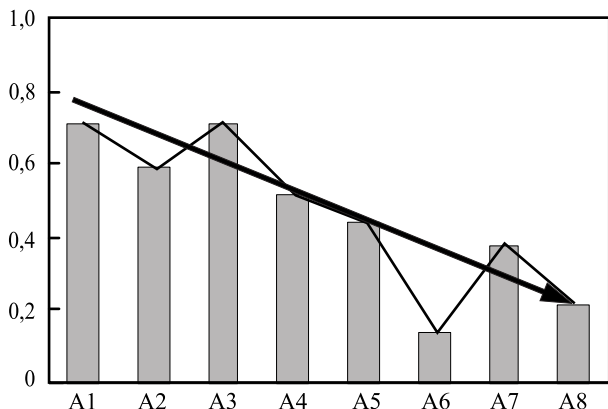


Рис. 3. Значения обобщенного критерия  $R$  для льняной продукции различных стадий переработки льна (A1–A8 см. табл. 9)

На основании экспериментальных результатов были разработаны критерии оценки допустимого содержания экотоксикантов в льняных изделиях. При выработке их учитывалось взаимное влияние экотоксикантов друг на друга. Возможны три варианта поведения поллютантов.

1. **Аддитивность.** Взаимного влияния поллютантов друг на друга не происходит. ПДК поллютантов при их совместном присутствии не изменяются и суммарное действие описывается выражением

$$\frac{b_1}{\text{ПДК}_1^0} + \frac{b_2}{\text{ПДК}_2^0} + \dots + \frac{b_n}{\text{ПДК}_n^0} = \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{\text{ПДК}_i^0} \leq 1$$

где  $b_i$  — содержание  $i$ -го поллютанта в исследуемом образце;  $\text{ПДК}_i^0$  — предельно допустимая концентрация  $i$ -го поллютанта в отсутствие других загрязнителей.

2. **Антагонизм.** Взаимодействие поллютантов приводит либо к взаимному ослаблению действия всех или большинства поллютантов, либо к ослаблению действия по крайней мере одного из поллютантов. В результате значение ПДК повышается:

$$\text{ПДК}_i > \text{ПДК}_i^0$$

3. **Синергизм.** Взаимодействие поллютантов приводит либо к взаимному усилению действия всех (либо большинства) поллютантов, либо к усилению действия по крайней мере одного из поллютантов. В результате происходит снижение ПДК, т. е. повышается уровень опасного действия поллютантов:

$$\text{ПДК}_i < \text{ПДК}_i^0$$

С практической точки зрения синергизм представляет больший интерес, поскольку именно в этом случае происходит снижение ПДК<sub>*i*</sub> по сравнению с исходным ПДК<sub>*i*</sub><sup>0</sup>, т. е. уровень экологической опасности возрастает.

В случае антагонизма и синергизма значение ПДК<sub>*i*</sub> можно рассчитать двумя способами:

- 1) если ПДК<sub>*i*</sub> зависит от  $b_j$  и не связано с  $b_i$ , то:

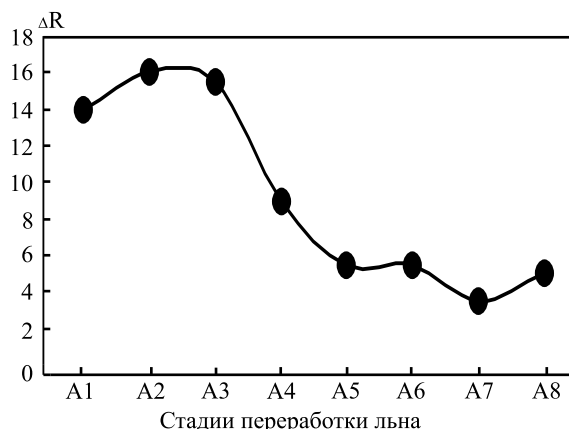


Рис. 4. Изменение величины  $\Delta R = R(\text{ПДК}_i^0) - R(\text{ПДК}_i^*)$  по стадиям переработки льна при  $m_{ij} = -1$

$$\frac{d\text{ПДК}_i}{db_j} = m_{ij} \left( \frac{\text{ПДК}_i}{\text{ПДК}_j^0} \right) \quad (i, j = \overline{1, n}; i \neq j) \quad (\text{I})$$

2) если ПДК<sub>*i*</sub> зависит и от  $b_j$  и от  $b_i$ , причем с ростом  $b_i$  слабеет влияние  $b_j$  то:

$$\frac{d\text{ПДК}_i}{db_j} = m_{ij} \left( \frac{\text{ПДК}_j}{\text{ПДК}_j^0} \right) \cdot \left( \frac{\text{ПДК}_i}{\text{ПДК}_i^0} \right) \quad (\text{II})$$

где  $m_{ij}$  — характеристический коэффициент, принимающий значения 0, -1, +1.

Для экологической системы, включающей  $n$ -поллютантов, в случае (I) имеем:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d\text{ПДК}_1}{db_2} &= m_{12} \text{ПДК} \left( \frac{1}{\text{ПДК}_2^0} \right) \\ \frac{d\text{ПДК}_1}{db_3} &= m_{13} \text{ПДК} \left( \frac{1}{\text{ПДК}_3^0} \right) \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{d\text{ПДК}_1}{db_n} &= m_{1n} \text{ПДК} \left( \frac{1}{\text{ПДК}_n^0} \right) \end{aligned} \right. \quad (\text{III-1})$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d\text{ПДК}_2}{db_1} &= m_{21} \text{ПДК} \left( \frac{1}{\text{ПДК}_1^0} \right) \\ \frac{d\text{ПДК}_2}{db_3} &= m_{23} \text{ПДК} \left( \frac{1}{\text{ПДК}_3^0} \right) \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{d\text{ПДК}_2}{db_n} &= m_{2n} \text{ПДК} \left( \frac{1}{\text{ПДК}_n^0} \right) \end{aligned} \right. \quad (\text{III-2})$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d\text{ПДК}_n}{db_1} &= m_{n1} \text{ПДК} \left( \frac{1}{\text{ПДК}_1^0} \right) \\ \frac{d\text{ПДК}_n}{db_2} &= m_{n2} \text{ПДК} \left( \frac{1}{\text{ПДК}_2^0} \right) \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{d\text{ПДК}_n}{db_{n-1}} &= m_{n(n-1)} \text{ПДК} \left( \frac{1}{\text{ПДК}_{n-1}^0} \right) \end{aligned} \right. \quad (\text{III-n})$$

т. е. в данном случае мы имеем  $n$  систем, каждая из которых включает  $(n - 1)$  дифференциальных уравнений 1-го порядка.

Для случая  $m_{ij} = -1$  ( $i, j = \overline{1, n}; i \neq j$ ) решением систем (III-1)–(III- $n$ ) являются следующие системы алгебраических уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ПДК}_1 = \text{ПДК}_1^0 \exp\left(\frac{b_2}{\text{ПДК}_2^0}\right) \\ \text{ПДК}_1 = \text{ПДК}_1^0 \exp\left(\frac{b_3}{\text{ПДК}_3^0}\right) \\ \dots \\ \text{ПДК}_1 = \text{ПДК}_1^0 \exp\left(\frac{b_n}{\text{ПДК}_n^0}\right) \end{array} \right. \quad (\text{IV-1})$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ПДК}_2 = \text{ПДК}_2^0 \exp\left(\frac{b_1}{\text{ПДК}_1^0}\right) \\ \text{ПДК}_2 = \text{ПДК}_2^0 \exp\left(\frac{b_3}{\text{ПДК}_3^0}\right) \\ \dots \\ \text{ПДК}_2 = \text{ПДК}_2^0 \exp\left(\frac{b_n}{\text{ПДК}_n^0}\right) \end{array} \right. \quad (\text{IV-2})$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ПДК}_n = \text{ПДК}_n^0 \exp\left(\frac{b_1}{\text{ПДК}_1^0}\right) \\ \text{ПДК}_n = \text{ПДК}_n^0 \exp\left(\frac{b_2}{\text{ПДК}_2^0}\right) \\ \dots \\ \text{ПДК}_n = \text{ПДК}_n^0 \exp\left(\frac{b_{n-1}}{\text{ПДК}_{n-1}^0}\right) \end{array} \right. \quad (\text{IV-}n)$$

Зная  $\text{ПДК}_j^0$  (справочные данные или в нашем конкретном случае – стандарт ЕКО-ТЕХ-100 или скорректированные с применением описанных выше методов) и  $b_j$  (экспериментальные данные) для каждой из систем (IV-1)–(IV- $n$ ) находят минимальное значение величины  $\text{ПДК}_j$ :

$$\text{ПДК}_j^* = \min(\text{ПДК}_j), \quad j = \overline{1, n}$$

Очевидно, что для каждой из систем (IV-1)–(IV- $n$ )  $\text{ПДК}_j^*$  будет соответствовать минимальное значение соотношения  $b_i / \text{ПДК}_i^0$ :

$$\text{ПДК}_j^* \rightarrow \min\left(\frac{b_i}{\text{ПДК}_i^0}\right) \quad (i \neq j)$$

Последнее обстоятельство существенно упрощает процесс нахождения значений  $\text{ПДК}_j$  с использованием данного алгоритма и позволяет скорректировать значение  $R$  (рис. 4).

Стирание различий между  $R(\text{ПДК}_i^0)$  и  $R(\text{ПДК}_i^*)$  с ростом глубины переработки льна связано, по-видимому, с вымыванием подвижных (биолабильных) форм токсиантов и, как следствие, снижением синергетического и антагонистического эффектов.

Если характеристический коэффициент  $m_{ij} = +1$  ( $i, j = \overline{1, n}$ ), решением систем (III-1)–(III- $n$ ) будут системы алгебраических уравнений:

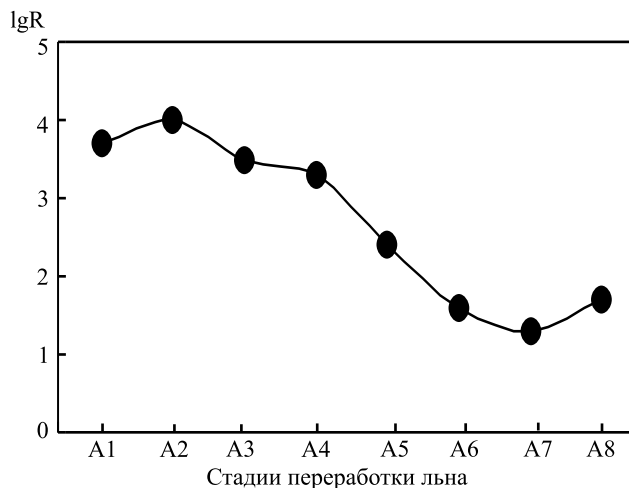


Рис. 5. Изменение величины  $R = \sum b_i / \text{ПДК}_i^*$  по стадиям процесса переработки льна при  $m_{ij} = +1$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ПДК}_1 = \text{ПДК}_1^0 \exp\left(\frac{-b_2}{\text{ПДК}_2^0}\right) \\ \text{ПДК}_1 = \text{ПДК}_1^0 \exp\left(\frac{-b_3}{\text{ПДК}_3^0}\right) \\ \dots \\ \text{ПДК}_1 = \text{ПДК}_1^0 \exp\left(\frac{-b_n}{\text{ПДК}_n^0}\right) \end{array} \right. \quad (\text{V-1})$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ПДК}_2 = \text{ПДК}_2^0 \exp\left(\frac{-b_1}{\text{ПДК}_1^0}\right) \\ \text{ПДК}_2 = \text{ПДК}_2^0 \exp\left(\frac{-b_3}{\text{ПДК}_3^0}\right) \\ \dots \\ \text{ПДК}_2 = \text{ПДК}_2^0 \exp\left(\frac{-b_n}{\text{ПДК}_n^0}\right) \end{array} \right. \quad (\text{V-2})$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ПДК}_n = \text{ПДК}_n^0 \exp\left(\frac{-b_1}{\text{ПДК}_1^0}\right) \\ \text{ПДК}_n = \text{ПДК}_n^0 \exp\left(\frac{-b_2}{\text{ПДК}_2^0}\right) \\ \dots \\ \text{ПДК}_n = \text{ПДК}_n^0 \exp\left(\frac{-b_{n-1}}{\text{ПДК}_{n-1}^0}\right) \end{array} \right. \quad (\text{V-}n)$$

Как и в предыдущем случае, в качестве решения каждой из систем (V-1)–(V- $n$ ) нас интересовало минимальное значение  $\text{ПДК}_j$ , которое должно обеспечивать наиболее жесткие экологические требования. Это достигается при максимальном значении  $b_i / \text{ПДК}_i^0$ , т. е.

$$\min(\text{ПДК}_j) \rightarrow \max\left(\frac{b_i}{\text{ПДК}_i^0}\right).$$

Результаты расчета  $R$  для случая  $m_{ij} = +1$  приведены на рис. 5.

Полученные данные позволяют сделать важные предположения о том, что как антагонистическое, так и синергическое действие совокупности поллютантов происходит лишь в период онтогенеза льна и на ранних стадиях его переработки. На более поздних стадиях переработки льна и в готовой льняной продукции взаимодействие поллютантов выражено значительно слабее. Именно поэтому, видимо, следует отказаться от учета взаимодействия поллютантов при проведении сертификации льняной текстильной продукции.

Для второго случая, когда влияние поллютантов друг на друга описывается уравнением (II), имеем

$$\frac{d\Pi_{DK_i}}{db_j} = m_{ij} \left( \frac{b_j}{\Pi_{DK_j^0}} \right) \cdot \left( \frac{\Pi_{DK_i}}{b_i} \right)$$

Исходные системы дифференциальных уравнений будут иметь вид

$$\begin{cases} \frac{d\Pi_{DK_1}}{db_2} = m_{12} \frac{b_2}{b_1} \Pi_{DK_1} \left( \frac{1}{\Pi_{DK_2^0}} \right) \\ \frac{d\Pi_{DK_1}}{db_3} = m_{13} \frac{b_3}{b_1} \Pi_{DK_1} \left( \frac{1}{\Pi_{DK_3^0}} \right) \\ \dots \\ \frac{d\Pi_{DK_1}}{db_n} = m_{1n} \frac{b_n}{b_1} \Pi_{DK_1} \left( \frac{1}{\Pi_{DK_n^0}} \right) \end{cases} \quad (VI-1)$$

$$\begin{cases} \frac{d\Pi_{DK_2}}{db_1} = m_{21} \frac{b_1}{b_2} \Pi_{DK_2} \left( \frac{1}{\Pi_{DK_1^0}} \right) \\ \frac{d\Pi_{DK_2}}{db_3} = m_{23} \frac{b_3}{b_2} \Pi_{DK_2} \left( \frac{1}{\Pi_{DK_3^0}} \right) \\ \dots \\ \frac{d\Pi_{DK_2}}{db_n} = m_{2n} \frac{b_n}{b_2} \Pi_{DK_2} \left( \frac{1}{\Pi_{DK_n^0}} \right) \end{cases} \quad (VI-2)$$

$$\begin{cases} \frac{d\Pi_{DK_n}}{db_1} = m_{n1} \frac{b_1}{b_n} \Pi_{DK_n} \left( \frac{1}{\Pi_{DK_1^0}} \right) \\ \frac{d\Pi_{DK_n}}{db_2} = m_{n2} \frac{b_2}{b_n} \Pi_{DK_n} \left( \frac{1}{\Pi_{DK_2^0}} \right) \\ \dots \\ \frac{d\Pi_{DK_n}}{db_{n-1}} = m_{n(n-1)} \frac{b_{n-1}}{b_n} \Pi_{DK_n} \left( \frac{1}{\Pi_{DK_{n-1}^0}} \right) \end{cases} \quad (VI-n)$$

В рамках настоящей работы при анализе возможных вариантов взаимного влияния поллютантов друг на друга с использованием уравнений (I) и (II) полагали, что все коэффициенты  $m_{ij}$  могут принимать значения либо +1, либо -1 (если  $m_i = 0$ , взаимное влияние поллютантов отсутствует), т. е. значения  $m_{ij}$  задавались двумя матрицами:

либо

$$m_{ij} = \begin{vmatrix} \Delta & -1 & -1 & -1 & \dots & -1 \\ -1 & \Delta & -1 & -1 & \dots & -1 \\ -1 & -1 & \Delta & -1 & \dots & -1 \\ -1 & -1 & -1 & \Delta & \dots & -1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -1 & -1 & -1 & -1 & \dots & \Delta \end{vmatrix}$$

либо

$$m_{ij} = \begin{vmatrix} \Delta & +1 & +1 & +1 & \dots & +1 \\ +1 & \Delta & +1 & +1 & \dots & +1 \\ +1 & +1 & \Delta & +1 & \dots & +1 \\ +1 & +1 & +1 & \Delta & \dots & +1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ +1 & +1 & +1 & +1 & \dots & \Delta \end{vmatrix}$$

В действительности же матрица  $m_{ij}$  может содержать в себе как элементы -1, так и элементы +1, а в еще более общем случае помимо этих значений также значения  $\alpha_{ij}$  ( $+1 > \alpha_{ij} > -1$ ) и 0. Матрица  $m_{ij}$  не может быть разреженной — в ней все места за исключением диагональных элементов должны быть определены.

Полученные в настоящей работе результаты могут явиться основой для разработки системы САПР по оценке экологической чистоты льняной текстильной продукции. Используемую в работе методологию можно применить для разработки аналогичных технических решений для других видов текстильной продукции.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ольшанская О. М., Грищенкова В. А., Артёмов А. В. // Экология и промышленность России. 2000. № 9. С. 19–21.
2. Ольшанская О. М., Артёмов А. В., Грищенкова В. А. // Легпромбизнес—Директор. 2000. № 10. С. 22–23.
3. Артёмов А. В., Фролов С. В., Ярош Е. В. // Экология и промышленность России. 2000. № 6. С. 21–24.
4. Ольшанская О. М., Артёмов А. В. //Текстильная химия. 2000. № 1. С. 98–106.
5. Ольшанская О. М., Артёмов А. В. //Легпромбизнес— Директор. 2000. № 11. С. 32–33; 2000. № 12. С. 40–41.
6. Ольшанская О. М., Грищенкова В. А., Артёмов А. В. //Русская мануфактура. 2000. № 3. С. 30–31.
7. Артёмов А. В., Фролов С. В., Ярош Е. В. //Химия в России. 2000. № 10. С. 9–10.
8. Артёмов А. В. //Легпромбизнес—Директор. 2001. № 4. С. 16–17; 2001. № 5. С. 18–20.
9. Ольшанская О. М., Грищенкова В. А., Артёмов А. В. //Легпромбизнес—газета. 2001. № 9. С. 11.
10. Экологические этикетки и декларации. Основные принципы. ГОСТ ИСО-14020-99.
11. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, USA, 1986.
12. Алексеев Ю. В. Тяжёлые металлы в почвах и растениях. М.: Агропромиздат, 1987. 142 с.
13. Foy C. D., Chaney R. L., White M. C. //Ann. Rev. Physiol. 1978. V. 29. P. 511.
14. Olsen S. R. //In: Micronutrients in Agriculture. Eds. J. J. Mortvedt, P. M. Giordano, W. L. Lindsey. Soil Science Society of America, Madison. 1972. P. 243.
15. Wallace A. Regulation of the Micronutrient Status of Plants by Chelating Agents and Other Factors. Ed. A. Wallace, Los Angeles. 1971. 309 p.
16. Khalid B. Y., Tinsley J. //Plant Soil. 1980. V. 55. P. 139.
17. Leal A., Gomez M., Sanchez - Raya J. A., Yanez J. Recaldel. Effect of boron Absorption on Accumulation and Distribution of Phosphate. Paper presented at 3-rd Coil. Le Controle de l'adimentation des Plantes Cultivees, Budapest, Sept. 4, 1972. P. 763.