

## ТОВАРОВЕДЕНИЕ И ЭКСПЕРТИЗА ТОВАРОВ

**В. В. САДОВСКИЙ, Т. А. ГАПОНОВА,  
А. М. БРАЙКОВА, А. В. СЕНЬКОВЕЦ**

---

### ИССЛЕДОВАНИЕ МИГРАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ТЕКСТИЛЬНЫХ ВОЛОКОН В МОДЕЛЬНЫЕ СРЕДЫ

---

Авторами статьи проведено исследование миграции таких тяжелых металлов, как цинк, кадмий, свинец и медь, из текстильных волокон, применяемых для пошива широкого ассортимента одежды, в воду и модельную среду, имитирующую человеческий пот. Для этого были созданы условия, воспроизводящие ношение одежды в течение дня. Концентрация миграции тяжелых металлов из текстильных волокон в воду и модельную среду («пот») определялась на анализаторе вольтамперметрическом АВА-3 с использованием метода добавок стандартных растворов. В результате было выявлено, что из всех исследуемых образцов волокон больше всего мигрировало цинка, меньше всего — кадмия; наибольшее количество всех определяемых металлов мигрировало из шерстяного волокна; наибольшее количество всех тяжелых металлов мигрировало из окрашенных волокон.

**Ключевые слова:** безопасность текстильных материалов; тяжелые металлы; миграция.

**УДК 677.07**

Производство текстильных материалов должно быть экологично для окружающей среды, а одежда, полученная из этих материалов, безопасна для человека. Одним из основных препятствий для достижения требований безопасности и экологичности является миграция тяжелых металлов из текстильных материалов в сточные воды в ходе производственного процесса (начиная от изготовления волокон и заканчивая готовой тканью), а также при эксплуатации одежды, контактирующей с кожей человека в течение длительного времени.

---

*Виктор Васильевич САДОВСКИЙ (Sadovski\_v@bseu.by), доктор технических наук, профессор кафедры товароведения и экспертизы товаров Белорусского государственного экономического университета (г. Минск, Беларусь);*

*Татьяна Андреевна ГАПОНОВА (tanushkin93@gmail.com), кандидат технических наук, ассистент кафедры физикохимии материалов и производственных технологий Белорусского государственного экономического университета (г. Минск, Беларусь);*

*Алла Мечиславовна БРАЙКОВА (Alina-tsynkel@yandex.by), кандидат химических наук, доцент, зав. кафедрой физикохимии материалов и производственных технологий Белорусского государственного экономического университета (г. Минск, Беларусь);*

*Анна Вячеславовна СЕНЬКОВЕЦ (anna.senkovets54321@gmail.com), студентка факультета коммерции и туристической индустрии Белорусского государственного экономического университета (г. Минск, Беларусь);*

Цель работы — определить концентрацию миграции тяжелых металлов, таких как цинк (Zn), кадмий (Cd), свинец (Pb) и медь (Cu), из текстильных волокон в воду, а также в модельную среду, имитирующую человеческий пот. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: были отобраны образцы текстильных волокон, используемые для изготовления широкого ассортимента одежды; приготовлены модельные среды и воспроизведены условия, имитирующие ношение одежды в течение дня; подготовлены пробы для определения миграции тяжелых металлов из текстильных волокон в модельные среды.

Для проведения исследования миграции тяжелых металлов из текстильных волокон были взяты образцы волокон различного природного происхождения и окраски, применяемые на ОАО «Камволь» в производстве полшерстяных тканей для пошива одежды различного ассортимента, в том числе для детской школьной формы. Характеристика образцов волокон, а также масса навески волокон, отобранная для проведения опыта, представлены в табл. 1.

**Таблица 1. Характеристика исследуемых образцов волокон**

№ образца	Название волокна	Природное происхождение	Цвет волокна	Масса навески волокна (мг), отобранная для опыта в воде	Масса навески волокна (мг), отобранная для опыта в «поту»
1.	Шерсть	Натуральное	Не окрашено	220	249
2.	Шерсть	Натуральное	Голубой	230	250
3.	Шерсть	Натуральное	Красный	224	245
4.	Полиэфир	Синтетическое	Розовый	222	245
5.	Полиэфир	Синтетическое	Не окрашено	225	245
6.	Вискоза	Искусственное	Бордовый	222	253
7.	Вискоза	Искусственное	Не окрашено	220	255
8.	Вискоза	Искусственное	Синий	231	250

Имитация ношения одежды в течение дня проводилась согласно МУК 4.1./4.3.1485-03 [1]: образцы волокон массой, представленной в табл. 1, помещались в стеклянные стаканы с деионизированной водой («потом») объемом 50 мл, устанавливались на водяную баню [2] и выдерживались в течение шести часов при температуре  $37 \pm 1$  °С.

Модельная среда, имитирующая человеческий пот, была приготовлена согласно ГОСТу 9733.6–83. Материалы текстильные. Методы испытаний устойчивости окрасок к «поту» [3]: раствор, содержащий 5 г/л поваренной соли и 6 мл/л 25 %-го раствора аммиака.

После проведения опыта из водной вытяжки объемом 50 мл отбиралась проба объемом 10 мл для ее подготовки к выполнению анализа миграции тяжелых металлов из волокон. Пробоподготовка проходила в программируемой двухкамерной печи марки ПДП-18М по методике, описанной в работе [4].

Концентрация миграции цинка (Zn), кадмия (Cd), свинца (Pb) и меди (Cu) из текстильных волокон в воду и модельную среду («пот») определялась на анализаторе вольтамперметрическом АВА-3 с использованием метода добавок стандартных растворов, содержащих по 2 мг/л Cd, Pb и Cu и 3 мг/л Zn [5; 6]. Концентрация тяжелых металлов, мигрировавших из волокон, рассчитывалась с помощью специальной программы, совмещенной с анализатором АВА-3, по разности вольтамперных кривых пробы и фона, а также пробы с добавкой стандартного раствора и фона.

Определение концентрации тяжелых металлов, мигрировавших из волокон в водную и модельную среды, повторялось три раза. Полученные результаты были обработаны методом математической статистики: рассчитывались

относительные стандартные отклонения ( $S$ ) и интервальные значения при доверительной вероятности 95 %. Погрешность измерений не превысила 5 %.

Для определения концентрации миграции тяжелых металлов из волокон в водную и модельную среды, были получены кривые разности вольтамперных кривых пробы и фона, а также пробы с добавкой стандартного раствора и фона всех образцов волокон. На рис. 1 в качестве примера представлены вольтамперные кривые, зарегистрированные при анализе вытяжки из образца № 1 в модельную среду, имитирующую пот. Аналогичный вид имеют вольтамперные кривые, зарегистрированные для всех исследованных образцов волокон.

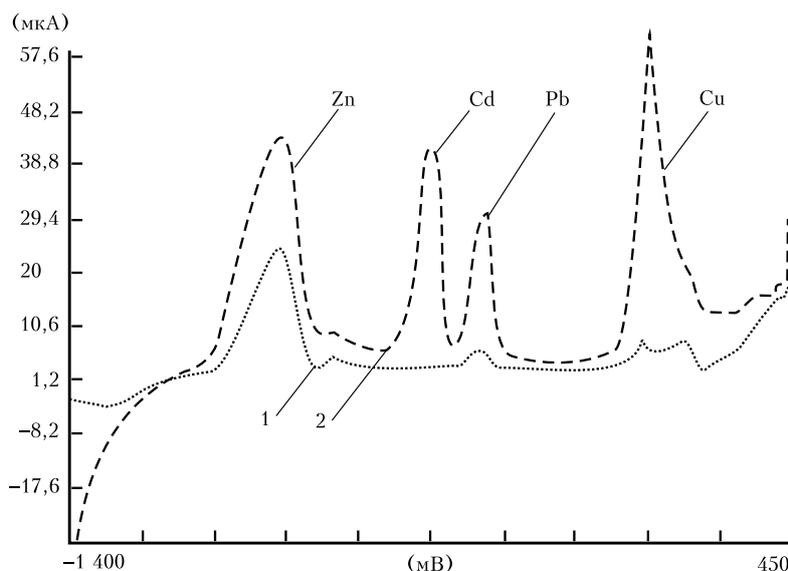


Рис. 1. Кривые разности: 1 — анодных вольтамперных кривых пробы и фонового электролита; 2 — анодных вольтамперных кривых пробы с добавкой стандартного раствора Zn, Cd, Pb и Cu и фонового электролита

Из рис. 1 видно, что на кривой разности анодных вольтамперных кривых пробы и фонового электролита (кривая 1) имеется хорошо выраженный максимум тока окисления цинка. Максимумы тока окисления свинца и меди выражены существенно меньше, однако визуально идентифицируются.

По относительному изменению значений токов окисления металлов при анализе пробы (рис. 1, кривая 1) и пробы с добавкой стандартного раствора (рис. 1, кривая 2) были получены значения концентраций Zn, Cd, Pb и Cu, мигрировавших из исследуемых образцов волокон в водную среду и «пот». Средние значения концентраций миграции тяжелых металлов из 10 г образцов волокон в 1 л воды представлены в табл. 2 и средние значения концентраций миграции тяжелых металлов из 10 г образцов волокон в 1 л «пота» — в табл. 3.

Таблица 2. Результаты определения концентрации Zn, Cd, Pb, Cu, мигрировавших из образцов волокон в водную среду

№ образца	Вид волокна	Концентрация, мг/л			
		Zn	Cd	Pb	Cu
1	2	3	4	5	6
1.	Шерсть (не окрашено)	9,5	$1,20 \cdot 10^{-2}$	0,17	0,09
2.	Шерсть (голубой)	25,4	$5,3 \cdot 10^{-4}$	0,25	0,67

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6
3.	Шерсть (красный)	16,4	$1,40 \cdot 10^{-3}$	0,27	0,13
4.	Полиэфир (розовый)	8,2	$3,50 \cdot 10^{-3}$	0,23	0,23
5.	Полиэфир (не окрашено)	3,6	$9,6 \cdot 10^{-4}$	0,14	0,06
6.	Вискоза (не окрашено)	2,7	$4,6 \cdot 10^{-3}$	0,19	0,06
7.	Вискоза (бордовый)	3,1	$1,20 \cdot 10^{-2}$	0,22	0,09
8.	Вискоза (синий)	5,0	$6,9 \cdot 10^{-3}$	0,20	0,11
	ПДК, мг/л	—	—	1,0	50,0

Таблица 3. Результаты определения концентрации Zn, Cd, Pb, Cu, мигрировавших из образцов волокон в «пот»

№ образца	Вид волокна	Концентрация, мг/л			
		Zn	Cd	Pb	Cu
1.	Шерсть (не окрашено)	4,8	$6,4 \cdot 10^{-3}$	0,22	0,29
2.	Шерсть (голубой)	5,9	$3,8 \cdot 10^{-3}$	0,44	0,81
3.	Шерсть (красный)	11,4	$3,5 \cdot 10^{-3}$	0,40	0,44
4.	Полиэфир (розовый)	7,1	$5,8 \cdot 10^{-3}$	0,36	0,31
5.	Полиэфир (не окрашено)	1,0	$1,5 \cdot 10^{-3}$	0,22	0,14
6.	Вискоза (не окрашено)	19,4	$6,8 \cdot 10^{-6}$	0,23	0,07
7.	Вискоза (бордовый)	4,3	$6,2 \cdot 10^{-3}$	0,34	0,15
8.	Вискоза (синий)	8,9	$2,3 \cdot 10^{-3}$	0,44	0,23

Для удобства анализа полученных концентраций тяжелых металлов, мигрировавших из текстильных волокон в воду и «пот» построены гистограммы, представленные на рис. 2–5, сгруппированные по мигрировавшему металлу (рис. 2 – миграция цинка, рис. 3 – миграция кадмия, рис. 4 – миграция свинца, рис. 5 – миграция меди).

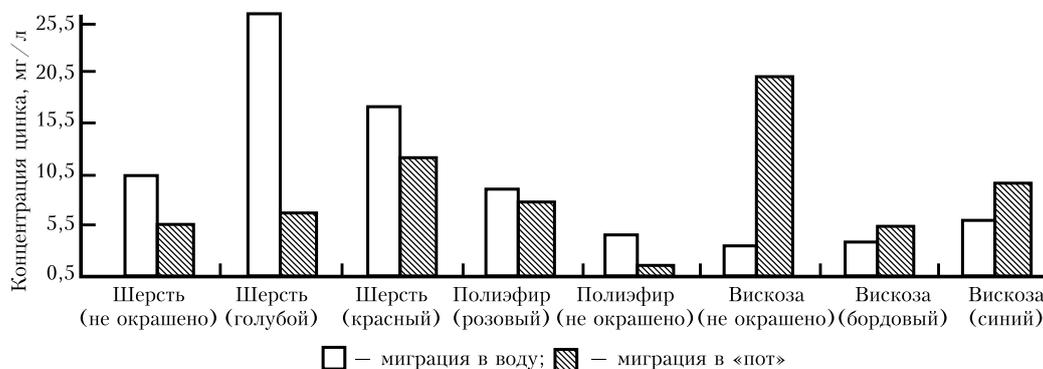


Рис. 2. Миграция цинка из текстильных волокон в воду и «пот»

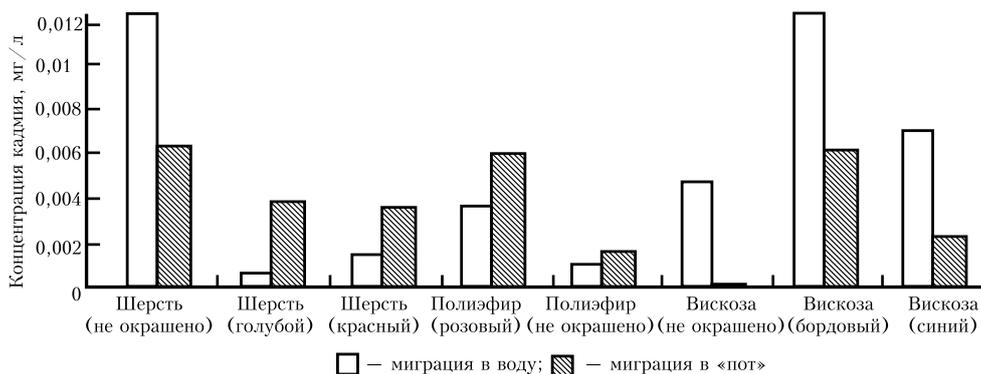


Рис. 3. Миграция кадмия из текстильных волокон в воду и «пот»

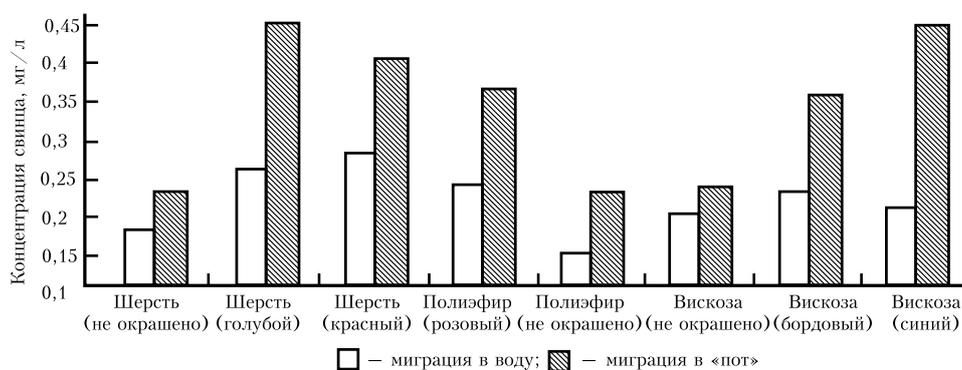


Рис. 4. Миграция свинца из текстильных волокон в воду и «пот»

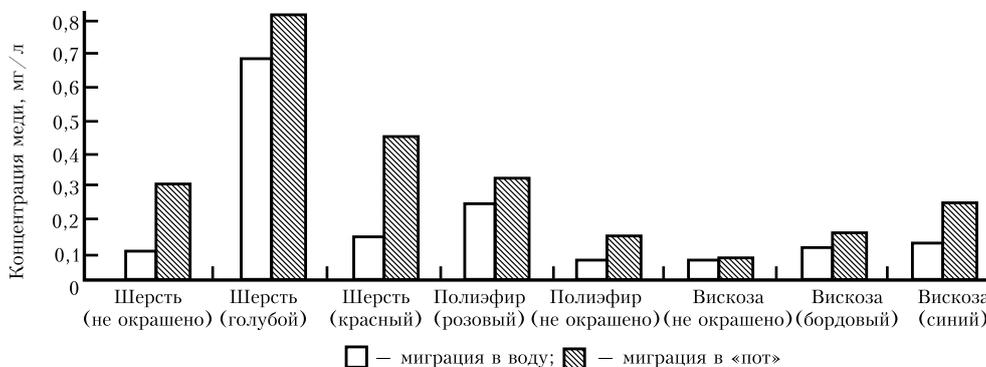


Рис. 5. Миграция меди из текстильных волокон в воду и «пот»

Из табл. 2 и 3 и рис. 2–5 видно, что из всех исследуемых образцов волокон больше всего мигрировало цинка как в воду, так и в «пот» (1,0–25,4 мг/л), меньше всего – кадмия ( $6,8 \cdot 10^{-6}$  –  $1,2 \cdot 10^{-2}$  мг/л).

**Анализ миграции тяжелых металлов из шерстяных волокон.** Наибольшее количество цинка мигрировало из окрашенного волокна в воду (25,4 мг/л), наименьшее – из неокрашенного волокна в «пот» (4,8 мг/л). Наибольшее количество кадмия мигрировало из неокрашенного волокна в воду ( $1,2 \cdot 10^{-2}$  мг/л), наименьшее – из окрашенного волокна в воду (4,8 мг/л). Наибольшее количество свинца и меди мигрировало из окрашенного волокна в «пот» ( $C(Pb) = 0,44$  и  $C(Cu) = 0,81$  мг/л), а наименьшее – из неокрашенного в воду ( $C(Pb) = 0,17$  и  $C(Cu) = 0,13$  мг/л).

**Анализ миграции тяжелых металлов из полиэфирных волокон.** Наименьшее количество всех определяемых тяжелых металлов мигрировало из неокрашенного волокна: кадмия, свинца и меди — в воду ( $C(\text{Cd}) = 9,6 \cdot 10^{-4}$  мг/л,  $C(\text{Pb}) = 0,14$  мг/л,  $C(\text{Cu}) = 0,06$  мг/л), цинка — в «пот» (1,0 мг/л). Наибольшее количество — из окрашенного волокна: кадмия, свинца и меди — в «пот» ( $C(\text{Cd}) = 5,8 \cdot 10^{-3}$  мг/л,  $C(\text{Pb}) = 0,36$  мг/л,  $C(\text{Cu}) = 0,31$  мг/л), цинка — в воду (8,2 мг/л).

**Анализ миграции тяжелых металлов из вискозных волокон.** Цинка больше всего мигрировало из неокрашенного волокна в «пот» (19,4 мг/л), кадмия — из окрашенного волокна в воду ( $1,2 \cdot 10^{-2}$  мг/л), свинца и меди — из окрашенного волокна в «пот» ( $C(\text{Pb}) = 0,44$  мг/л,  $C(\text{Cu}) = 0,23$  мг/л). Наименьшее количество цинка, свинца и меди мигрировало из неокрашенного волокна в воду ( $C(\text{Zn}) = 2,7$  мг/л,  $C(\text{Pb}) = 0,19$  мг/л,  $C(\text{Cu}) = 0,06$  мг/л), кадмия — из неокрашенного волокна в «пот» ( $6,8 \cdot 10^{-6}$  мг/л).

Наибольшее количество всех определяемых металлов мигрировало из шерстяного волокна как в воду, так и в «пот»; наименьшее количество свинца и меди мигрировало из полиэфирного волокна в воду.

Наибольшее количество всех тяжелых металлов мигрировало из окрашенных волокон (за исключением количества концентрации мигрировавшего цинка из вискозного волокна и кадмия, мигрировавшего из шерстяного волокна). Вероятней всего это связано с составом красителей, используемых при крашении волокон.

**Выводы.** 1. Из всех исследуемых образцов волокон больше всего мигрировало цинка как в воду, так и в «пот», меньше всего — кадмия.

2. Наибольшее количество всех определяемых металлов мигрировало из шерстяного волокна как в воду, так и в «пот».

3. Наибольшее количество всех тяжелых металлов мигрировало из окрашенных волокон.

4. Согласно ТР ТС 017/2011 «О безопасности продукции легкой промышленности» и 007/2011 «О безопасности продукции, предназначенной для детей и подростков» концентрация свинца, мигрировавшего из текстильных волокон в воду, не должна превышать 1,0 мг/л, меди — 50,0 мг/л [7; 8]. Концентрации мигрировавших цинка и кадмия не нормируются. В результате исследования определено, что из всех образцов волокон концентрация мигрировавших свинца и меди не превышает норму, а значит, такие текстильные волокна безопасны и могут быть использованы для пошива одежды без возрастного ограничения.

## Литература

1. Гигиеническая оценка одежды для детей, подростков и взрослых : МУК 4.1/4.3.1485-03. — Введ. 30.06.03. — М. : Федерал. центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. — 15 с.

2. Гапонова, Т. А. Исследование водопоглощения полшерстяных камвольных тканей в зависимости от их волокнистого состава и структуры / Т. А. Гапонова, В. В. Садовский, Л. О. Братченя // Вестн. Витеб. гос. технол. ун-та. — 2019. — № 2 (37). — С. 21–27.

Gaponova, T. A. Issledovanie vodopogloshhenija polusherstjanyh kamvol'nyh tkanej v zavisimosti ot ih voloknistogo sostava i struktury [Investigation of water absorption of woolen worsted fabrics depending on their fibrous composition and structure] / T. A. Gaponova, V. V. Sadovskij, L. O. Bratchenja // Vestn. Viteb. gos. tehnol. un-ta. — 2019. — N 2 (37). — P. 21–27.

3. Материалы текстильные. Методы испытаний устойчивости окрасок к «поту» : ГОСТ 9733.6–83. — Введ. 17.02.83. — М. : Издательство стандартов, 1992. — 4 с.

4. Матвейко, Н. П. Определение тяжелых металлов в сахарозе инверсионной вольтамперометрией / Н. П. Матвейко, А. М. Брайкова, В. В. Садовский // Вестн. Витеб. гос. технол. ун-та. — 2016. — № 31. — С. 84–90.

Matvejko, N. P. Opredelenie tjazhelyh metallov v saharoze inversionnoj vol't-amprometrije [Determination of heavy metals in sucrose by inversion voltammetry] /

N. P. Matvejko, A. M. Brajkova, V. V. Sadovskij // Vestn. Viteb. gos. tehnol. un-ta. — 2016. — N 31. — P. 84–90.

5. *Брайкова, А. М.* Контроль показателей безопасности картофеля / А. М. Браjkова, Т. А Гапонова, В. В. Садовский // Потребит. кооперация. — 2022. — № 1 (76). — С. 40–43.

*Brajko*va, A. M. Kontrol' pokazatelej bezopasnosti kartofelja [Monitoring of potato safety indicators] / A. M. Brajkova, T. A Gaponova, V. V. Sadovskij // Potrebit. kooperacija. — 2022. — N 1 (76). — P. 40–43.

6. *Матвейко, Н. П.* Контроль показателей качества искусственных почвогрунтов / Н. П. Матвейко, А. М. Браjkова, В. В. Садовский // Вестн. Витеб. гос. технол. ун-та. — 2015. — № 29. — С. 92–100.

*Matvejko*, N. P. Kontrol' pokazatelej kachestva iskusstvennyh pochvogrunтов [Quality control of artificial soils] / N. P. Matvejko, A. M. Brajkova, V. V. Sadovskij // Vestn. Viteb. gos. tehnol. un-ta. — 2015. — N 29. — P. 92–100.

7. ТР ТС 017/2011. О безопасности продукции легкой промышленности : изд. офиц. : утв. решением комиссии Таможенного союза от 9 дек. 2011 г. № 876 : введ. впервые : дата введ. 2012-07-01 / разработан в соответствии с Соглашением о единых принципах и правилах технического регулирования в Республике Беларусь, Республике Казахстан и Российской Федерации от 18 нояб. 2010 г. — 60 с.

8. ТР ТС 007/2011. О безопасности продукции, предназначенной для детей и подростков : изд. офиц. : утв. решением комиссии Таможенного союза от 23 сент. 2011 г. № 797 : введ. впервые : дата введ. 2012-07-01 / разработан в соответствии с Соглашением о единых принципах и правилах технического регулирования в Республике Беларусь, Республике Казахстан и Российской Федерации от 18 нояб. 2010 г. — 60 с.

---

**VICTOR SADOVSKI, TATSIANA HAPONAVA,  
ALA BRAIKOVA, HANNA SENKAVETS**

---

**RESEARCH OF MIGRATION OF HEAVY METALS  
FROM TEXTILE FIBERS TO MODEL MEDIA**

---

**Authors affiliation.** *Victor SADOVSKI* (Sadovski\_v@bseu.by), *Belarus State Economic University (Minsk, Belarus)*; *Tatsiana HAPONAVA* (tanushkin93@gmail.com), *Belarus State Economic University (Minsk, Belarus)*; *Ala BRAIKOVA* (Alina-tsynkel@yandex.by), *Belarus State Economic University (Minsk, Belarus)*; *Hanna SENKAVETS* (anna.senkovets54321@gmail.com), *Belarus State Economic University (Minsk, Belarus)*.

**Abstract.** The authors of the article have carried out a research of the migration of heavy metals such as zinc, cadmium, lead and copper from textile fibers used for sewing a wide range of clothing into water and a model environment simulating human sweat. To do this, conditions simulating wearing clothes during the day were reproduced. The concentration of heavy metals migration from textile fibers into water and the model medium ("sweat") was determined on the ABA-3 voltammetric analyzer using the method of additives of standard solutions. As a result of the study, it was revealed that of all the fiber samples studied, zinc migrated the most, cadmium the least; the largest number of all the metals being determined migrated from wool fiber; the largest number amount of all heavy metals migrated from dyed fibers.

**Keywords:** safety of textile materials; heavy metals; migration.

UDC 677.07

---

*Статья поступила  
в редакцию 14. 02. 2022 г.*