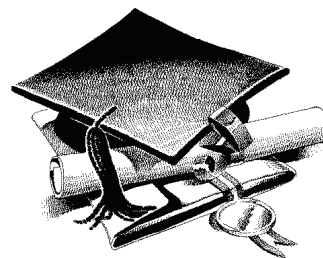


# ТОВАРОВЕДЕНИЕ И ЭКСПЕРТИЗА ТОВАРОВ



**Н.П. МАТВЕЙКО, А.М. БРАЙКОВА, В.В. САДОВСКИЙ**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ТАБАКЕ СИГАРЕТ И ПРОДУКТАХ ЕГО СГОРАНИЯ**

Существует около 60 видов растения рода «табак», из которых лишь два вида — *Nicotiana tabacum* (табак) и *Nicotiana rustica* (махорка) находят широкое применение. *Nicotiana tabacum* используется для производства сигарет, сигар и трубчатого табака, а *Nicotiana rustica* — для производства кальянных табаков и сигаретных табаков типа махорки [1; 2].

Табак выращивается более чем в 125 странах мира, для чего используется свыше 4 млн га плодородных земель [1–3].

К настоящему времени в табачных изделиях обнаружено около 4 000 химических соединений, а в табачном дыме — около 5 000 [1; 4]. Международное агентство исследований рака (IARC) относит к «канцерогенам человека первой группы» 44 отдельных вещества, 9 из которых присутствуют в основном потоке табачного дыма. Это бензол, кадмий, мышьяк, никель, хром, 2-нафтиламин, винилхлорид, 4-аминобифенил, бериллий [1; 4; 5]. В табачном дыме обнаруживают также около 76 металлов, в том числе никель, медь, цинк, кадмий, ртуть, хром, свинец и др. [1; 5; 6].

По оценкам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ежегодно от болезней, связанных с употреблением табака, умирают около 5 млн человек. В случае сохранения тенденции курения табачной продукции к 2030 г. от этого ежегодно будут погибать около 10 млн человек [1; 4; 7].

В Республике Беларусь действует ряд технических нормативных правовых актов (ТНПА), устанавливающих требования к качеству, безопасности и методам контроля табачной продукции: СТБ 1088; ГОСТ 3935; ГОСТ 30570; ГОСТ 30571; СанПиН 1.1.12-1-2003 [8–12]. Согласно СанПиН 1.1.12-1-2003, допустимые уровни содержания никотина и смолы в дыме на одну сигарету составляют: для сигареты с фильтром 1,2 мг никотина и 14,0 мг смолы, а для сигареты без фильтра 1,3 мг никотина и 16,0 мг смолы.

В проекте технического регламента Таможенного союза на табачную продукцию содержание смолы и никотина в дыме одной сигареты с фильтром и без фильтра не может превышать 1,0 мг/сиг и 10 мг/сиг соответственно, а содержание оксида углерода (СО) в дыме одной сигареты с фильтром не может превышать 10 мг/сиг.

*Николай Петрович МАТВЕЙКО, доктор химических наук, профессор, зав. кафедрой физикохимии материалов и производственных технологий Белорусского государственного экономического университета;*

*Алла Мечиславовна БРАЙКОВА, кандидат химических наук, доцент кафедры физикохимии материалов и производственных технологий Белорусского государственного экономического университета;*

*Виктор Васильевич САДОВСКИЙ, доктор технических наук, профессор, первый проректор Белорусского государственного экономического университета.*

Однако во всех названных документах не регламентируется содержание тяжелых металлов, хотя многие из них, например такие, как свинец, ртуть и кадмий, являются канцерогенами и наносят непоправимый вред здоровью человека [13; 14].

Цель работы — контроль содержания тяжелых металлов (цинк (Zn), кадмий (Cd), свинец (Pb), медь (Cu) и ртуть (Hg)) в табаке сигарет и пепле, образующемся после курения табака.

**Методика эксперимента.** В качестве объектов исследования случайным образом выбраны сигареты различных марок, наименования которых приведены в табл. 1.

*Таблица 1. Содержание тяжелых металлов в табаке и пепле образцов сигарет в пересчете на 1 кг табака*

№ образца, название сигарет	Zn, мг/кг	Cd, мг/кг	Pb, мг/кг	Cu, мг/кг	Hg, мг/кг
1. KENT CLICK Табак	25±0,4	0,21±0,010	0,71±0,03	6,5±0,2	6,01±0,20
SWITCH REFRESH Пепел	16±0,3	0,16±0,010	0,35±0,02	4,9±0,1	2,40±0,08
2. KENT SILVER Табак	22±0,3	0,17±0,010	0,93±0,04	7,1±0,2	1,37±0,06
Пепел	20±0,3	0,04±0,004	0,42±0,02	5,9±0,2	—
3. KENT HD (4) Табак	20±0,3	0,36±0,020	0,90±0,04	7,1±0,2	3,64±0,13
Пепел	18±0,3	0,04±0,004	0,42±0,02	5,2±0,1	1,90±0,07
4. CAMEL WHITE Табак	29±0,4	0,47±0,030	1,90±0,11	7,6±0,2	3,74±0,14
Пепел	28±0,4	—	0,64±0,03	6,4±0,2	2,01±0,07
5. LUCKY STRIKE Табак	28±0,4	0,36±0,020	2,40±0,13	7,6±0,2	2,45±0,10
Пепел	17±0,3	0,10±0,008	0,37±0,02	5,5±0,1	1,32±0,05
6. PALL MALL Табак	38±0,6	0,30±0,020	1,20±0,05	8,2±0,2	5,40±0,17
NANOKINGS BLUE Пепел	32±0,5	—	0,71±0,03	6,9±0,2	3,71±0,12

Выкуривание сигарет для получения пепла выполняли посредством их подсоединения к водоструйному насосу.

Подготовку каждой пробы табака сигареты и пепла, образовавшегося после курения сигарет, проводили методом мокрой минерализации с использованием программируемой печи ПДП-18М в соответствии со стандартной методикой [15]. С этой целью отбирали навески табака массой 0,2 г каждого образца сигарет. Пепел, образовавшийся после курения табака каждой сигареты, брали целиком. Пробы обрабатывали концентрированной азотной кислотой и 30 %-м раствором пероксида водорода. После этого раствор выпаривали при температуре 120—130 °С до сухого остатка. Сухой остаток озоляли при температуре 450 °С в течение 30 минут. Обработку проб концентрированной азотной кислотой и 30 %-м раствором пероксида водорода, выпаривание и озонирование повторяли до получения однородной золы серого цвета. Зола растворяли в 10 мл 0,45 М раствора муравьиной кислоты (фоновый электролит), приготовленного на основе дважды дистиллированной воды (бидистиллят) и концентрированной муравьиной кислоты марки «хч».

Для определения тяжелых металлов применяли метод инверсионной вольтамперометрии, который отличается от других методов анализа высокой чувствительностью, экспрессностью и низкой стоимостью оборудования [16]. Контроль содержания Zn, Cd, Pb и Cu в образцах табака и пепла сигарет проводили на анализаторе вольтамперометрическом марки ТА-4 («Томьаналит», г. Томск) с применением амальгамированного серебряного индикаторного электрода, хлор-серебряного электрода сравнения в 1 М растворе хлорида калия. Последний электрод выполнял также роль вспомогательного электрода. Электрохимическую очистку индикаторного электрода проводили при потенциале +100 мВ в течение 20 секунд. Накопление Zn, Cd, Pb и Cu на поверхности индикаторного электрода осуществляли при потенциале –1 400 мВ в течение 20—40 секунд. Успокоение раствора — при потенциале –1 100 мВ в течение 10 секунд. Регистрацию вольтамперных кривых выполняли при скорости развертки потенциала 70 мВ/с на фоне 0,45 М водного раствора муравьиной кислоты.

Контроль содержания Hg в образцах табака и пепла сигарет выполняли на анализаторе вольтамперометрическом марки АВА-3 («Буревестник», г. Санкт-Петербург) с применением углеситаллового индикаторного электрода (определение ртути на амальгамированном индикаторном электроде невозможно). Потенциалы индикаторных электродов измерены относительно хлорсеребряного электрода сравнения в 1 М растворе хлорида калия. Вспомогательным электродом служила платиновая проволока. Анализ табака и пепла образцов сигарет проводили в следующих условиях: очистка углеситаллового индикаторного электрода при потенциале +450 мВ в течение 10 секунд; накопление ртути на поверхности индикаторного электрода при потенциале  $-1\ 200$  мВ в течение 60–90 секунд; успокоение раствора при потенциале +50 мВ в течение 3 секунд. Регистрацию вольтамперной кривой проводили при скорости развертки потенциала 5,0 В/с на фоне водного раствора электролита, содержащего 0,2–0,4 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 0,1 М  $\text{KNO}_3$  и 0,0005–0,001 М Трилона Б.

Для определения тяжелых металлов применяли метод добавок стандартного раствора, содержащего по 2 мг/л Zn, Cd, Pb и Cu, который был приготовлен на основе Государственных стандартных образцов (ГСО) и бидистиллята. Отдельно из оксида ртути (II) марки «чда» готовили стандартный раствор, содержащий 2 мг/л ртути. Каждую пробу анализировали не менее четырех раз. Расчет содержания Zn, Cd, Pb, Cu и Hg в пробах образцов выполняли по разности вольтамперных кривых пробы и фона, пробы с добавкой стандартного раствора и фона с помощью программы «VALabTx» и персональной ЭВМ. Среднее значение ( $\bar{x}$ ), дисперсию ( $V$ ), стандартное отклонение ( $S$ ), относительное стандартное отклонение ( $S_r$ ) и интервальное значение с доверительной вероятностью 95 % ( $\pm\Delta x$ ) рассчитывали по методике, изложенной в работе [17].

**Результаты исследований и их обсуждение.** Для всех изученных образцов с использованием выбранных условий получены анодные вольтамперные кривые.

В качестве примера кривые разности вольтамперных кривых пробы и фонового электролита, а также пробы с добавкой стандартного раствора и фонового электролита, зарегистрированные с помощью анализатора марки АВА-3 при исследовании образца табака сигареты № 4 CAMEL WHITE до курения, представлены на рис. 1.

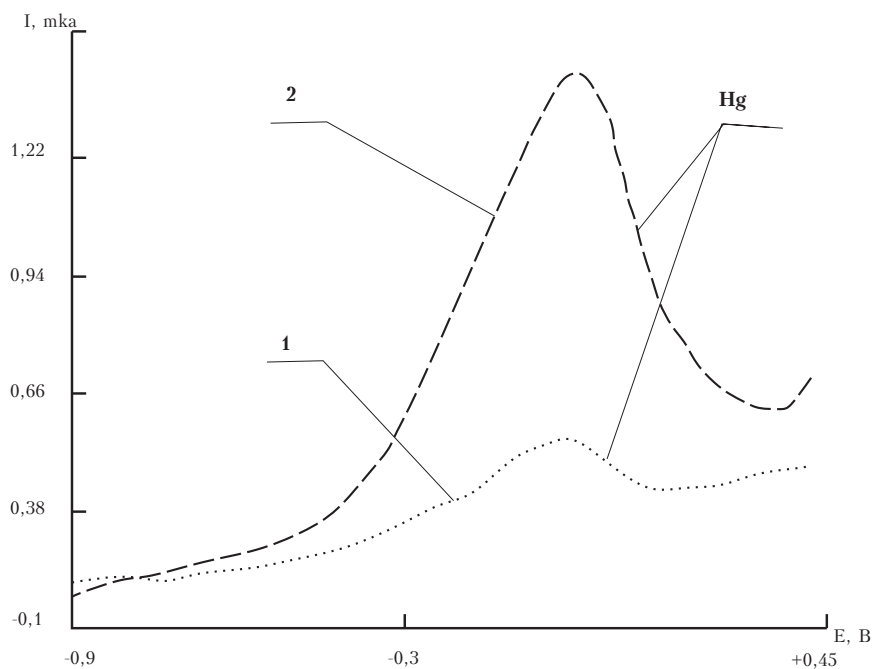


Рис. 1. Вольтамперные анодные кривые разности: 1 — пробы табака сигареты № 4 CAMEL WHITE до курения и фонового электролита; 2 — пробы табака с добавкой стандартного раствора ртути и фонового электролита

Из рис. 1 видно, что на кривой пробы (кривая 1) при потенциале 0 В имеется максимум тока, который соответствует окислению сконцентрированной на углеситалловом индикаторном электроде ртути. При введении в раствор добавки стандартного раствора ртути этот максимум тока возрастает (кривая 2). Это значит, что в пробе табака сигареты № 4 CAMEL WHITE содержится ртуть. Аналогичные кривые получены при изучении содержания ртути в табаке и пепле всех других образцов сигарет.

На рис. 2 представлены анодные вольтамперные кривые, зарегистрированные при определении Zn, Cd, Pb и Cu в пробе табака сигареты № 4 CAMEL WHITE.

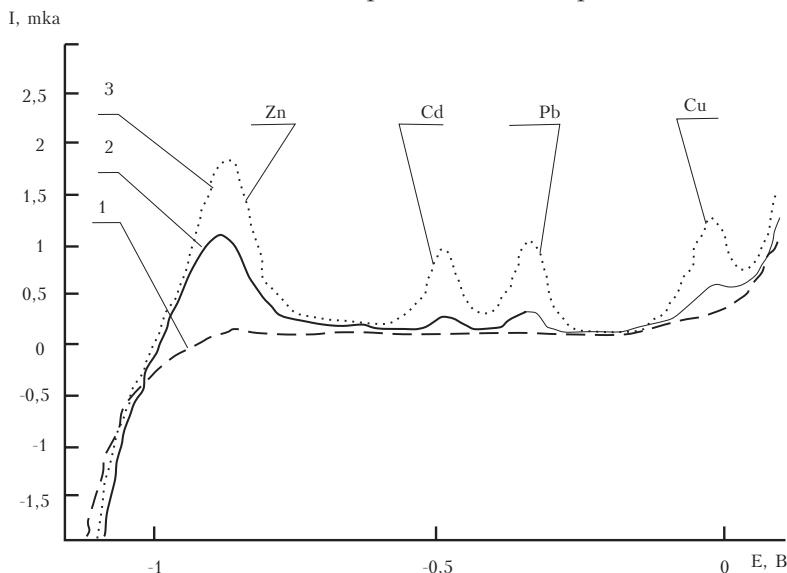


Рис. 2. Вольтамперные анодные кривые, полученные на амальгмированном серебряном электроде в растворе пробы табака № 4 CAMEL WHITE до курения:

1 — фоновый электролит (0,45 М муравьиной кислоты); 2 — раствор пробы табака; 3 — раствор пробы табака с добавкой стандартного раствора.

Температура 25 °С. Скорость развертки потенциала 70 мВ/с

Из рис. 2 видно, что на вольтамперной кривой фонового электролита в интервале потенциалов от  $-1$  100 мВ до  $+100$  мВ отсутствуют пики тока окисления (кривая 1). Это свидетельствует о чистоте фонового электролита, т. е. об отсутствии в нем Zn, Cd, Pb и Cu, поскольку в условиях регистрации вольтамперной кривой возможно анодное растворение ранее сконцентрированных на индикаторном электроде только этих металлов. На вольтамперной кривой пробы (кривая 2) имеются четыре максимума тока при потенциалах  $-0,85$ ;  $-0,49$ ;  $-0,35$  и  $-0,02$  В, которые соответствуют окислению Zn, Cd, Pb и Cu. При введении в раствор добавки стандартного раствора максимумы тока окисления этих металлов на вольтамперной кривой (кривая 3) пропорционально увеличиваются. На основании этого можно сделать вывод о том, что в пробе табака сигареты № 4 CAMEL WHITE содержатся Zn, Cd, Pb и Cu. Такой же вид кривых фонового электролита, пробы и пробы с добавкой стандартного раствора характерен для других изученных образцов табака и пепла сигарет.

На основании вольтамперных кривых было рассчитано содержание Zn, Cd, Pb, Cu и Hg в табаке и пепле образцов сигарет. Результаты приведены в табл. 1 и 2.

Из табл. 1 видно, что в табаке всех изученных образцов сигарет содержатся Zn, Cd, Pb, Cu и Hg. При этом больше всего в табаке сигарет содержится цинка (от  $16 \pm 0,3$  мг/кг для образца № 1 KENT CLICK SWITCH REFRECH до  $38 \pm 0,6$  мг/кг для образца № 6 PALL MALL NANOKINGS BLUE). Примерно в 4,6 раза меньше, чем цинка, содержится в табаке сигарет меди. Еще меньше, чем цинка, содержится ртути и свинца (примерно в 6,3 и 15,8 раза соответственно). В небольших коли-

чествах — в 80,8 раза меньше, чем цинка, содержится в табаке образцов сигарет кадмия. Наибольшее содержание цинка и меди в мг/кг характерно (см. табл. 1) для табака сигарет образца № 6 PALL MALL NANOKINGS BLUE ( $38\pm 0,6$  и  $8,2\pm 0,2$ ). Больше всего кадмия содержится в табаке сигарет образца № 4 CAMEL WHITE ( $0,47\pm 0,03$ ), а свинца — в табаке сигарет образца № 5 LUCKY STRIKE ( $2,40\pm 0,13$ ). Что касается ртути, то наибольшее содержание этого металла отмечается в табаке сигарет образца № 1 KENT CLICK SWITCH REFRESH ( $6,01\pm 0,20$ ).

**Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в табаке и пепле образцов сигарет в мкг на 1 сигарету**

№ образца, название сигарет		Zn, мкг/шт.	Cd, мкг/шт.	Pb, мкг/шт.	Cu, мкг/шт.	Hg, мкг/шт.
1. KENT CLICK SWITCH REFRESH	Табак	$13,30\pm 0,21$	$0,110\pm 0,005$	$0,38\pm 0,016$	$3,5\pm 0,11$	$3,20\pm 0,11$
	Пепел	$1,20\pm 0,02$	$0,012\pm 0,0007$	$0,026\pm 0,0015$	$1,43\pm 0,030$	$1,28\pm 0,04$
2. KENT SILVER	Табак	$8,00\pm 0,11$	$0,060\pm 0,004$	$0,34\pm 0,015$	$2,6\pm 0,07$	$0,50\pm 0,02$
	Пепел	$1,46\pm 0,02$	$0,003\pm 0,0003$	$0,031\pm 0,0015$	$0,43\pm 0,014$	—
3. KENT HD (4)	Табак	$10,70\pm 0,16$	$0,190\pm 0,011$	$0,48\pm 0,021$	$3,8\pm 0,11$	$1,90\pm 0,07$
	Пепел	$1,78\pm 0,03$	$0,004\pm 0,0004$	$0,042\pm 0,0020$	$0,51\pm 0,010$	$1,02\pm 0,04$
4. CAMEL WHITE	Табак	$7,90\pm 0,11$	$0,130\pm 0,008$	$0,52\pm 0,030$	$2,1\pm 0,05$	$1,20\pm 0,04$
	Пепел	$1,37\pm 0,02$	—	$0,031\pm 0,0015$	$0,36\pm 0,010$	$0,54\pm 0,02$
5. LUCKY STRIKE	Табак	$15,20\pm 0,22$	$0,200\pm 0,011$	$1,30\pm 0,071$	$4,1\pm 0,11$	$1,30\pm 0,05$
	Пепел	$1,68\pm 0,03$	$0,010\pm 0,0008$	$0,037\pm 0,0020$	$0,54\pm 0,010$	$0,71\pm 0,03$
6. PALL MALL NANOKINGS BLUE	Табак	$11,70\pm 0,18$	$0,090\pm 0,006$	$0,37\pm 0,015$	$2,5\pm 0,06$	$1,70\pm 0,05$
	Пепел	$1,79\pm 0,03$	—	$0,040\pm 0,0017$	$0,44\pm 0,011$	$1,14\pm 0,04$

После выкуривания сигарет, как видно из табл. 1 и 2, содержание тяжелых металлов в пепле при пересчете на выкуренный табак во всех случаях снизилось (хотя и в разной степени). В зависимости от названия сигарет содержание цинка (при пересчете на одну сигарету, см. табл. 2) снизилось на 80–90 %, кадмия — на 50–100, свинца — на 90–97, меди — на 59–97, а ртути — на 40–100 %. Анализ данных табл. 1 и 2 свидетельствует о том, что в пепле сигарет № 4 и 6 отсутствует кадмий, а в пепле сигареты № 2 — ртуть. Таким образом, видно, что в процессе курения все исследованные металлы частично или полностью переходят в сигаретный дым, а значит, попадают в легкие человека, нанося вред его организму.

**Выводы.** 1. В табаке всех изученных образцов сигарет содержатся Zn, Cd, Pb, Cu и Hg. При этом больше всего в табаке сигарет содержится цинка (от  $16\pm 0,3$  до  $38\pm 0,6$  мг/кг) и меньше всего — кадмия (от  $0,17\pm 0,010$  до  $0,47\pm 0,030$  мг/кг).

2. В пепле сигарет, если пересчитать на один килограмм выкуреного табака, содержание всех металлов меньше, чем в табаке до курения. Так, содержание цинка в зависимости от названия сигарет снизилось на 80–90 %, кадмия — на 50–100, свинца — на 90–97, меди — на 59–97, а ртути — на 40–100 %.

3. Тяжелые металлы, содержащиеся в табаке сигарет, в процессе курения частично или полностью переходят в сигаретный дым, с которым и могут попасть в организм человека, нанося вред его здоровью.

### Литература и электронные публикации в Интернете

1. Андреева, Т.И. Табак и здоровье / Т.И. Андреева, К.С. Красовский. — Киев: УИЦПАН, 2004.

2. Андреева, Т.И. Основные факты про табак / Т.И. Андреева, К.С. Красовский. — 3-е изд. — Киев: ИЦПАН, 1999.

