

Из таблицы видно, что ошибка классификации уменьшается вплоть до девятой компоненты, а потом начинает увеличиваться. Отсюда следует, что оптимальное количество главных компонент для построения классификационного дерева равно девяти.

**Выводы.** В ходе работы нами была проведена классификация пластиков шести различных видов методом главных компонент и построено классификационное дерево с точностью ~ 82 %, что показывает возможность применения данного метода на практике.

Дальнейшее исследование будет включать в себя применение таких методов предобработки данных, как нормировка на дисперсию нормальной случайной переменной (SNV), нормировка на характерный пик поглощения или плато, применение спектральной производной, которые позволят нам повысить точность классификации пластмасс.

### Литература

1. Esbensen, K. H. Principal Component Analysis: Concept, Geometrical Interpretation, Mathematical Background, Algorithms, History, Practice / K. H. Esbensen, P. Geladi // Comprehensive Chemometrics / eds.: S. Brown, R. Tauler, B. Walczak. – Elsevier, 2009. – P. 211–226.
2. Loh, W.-Y. Fifty Years of Classification and Regression Trees / W.-Y. Loh // Int. Statistic. Rev. – 2014. – Vol. 82. – P. 329–348.
3. Plastic solid waste identification system based on near infrared spectroscopy in combination with support vector machine / S. Zhu [et al.] // Adv. Ind. Eng. Polym. Res. – 2019. – Vol. 2. – P. 77–81.

Д. Г. КУНИН<sup>1,2</sup>, С. Ю. ИНФОРОВИЧ<sup>1,2</sup>, К. А. МАКСИМЧУК<sup>1,2</sup>,  
А. А. БОНДАРУК<sup>1</sup>, А. А. РОТКОВИЧ<sup>1</sup>, Д. И. ТИШКЕВИЧ<sup>1</sup>

### ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ЭКРАНОВ НА ОСНОВЕ Bi/W НА ГИБКОЙ ПОДЛОЖКЕ

<sup>1</sup> Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Минск, Беларусь

<sup>2</sup> Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

E-mail: kunin.kymatoz@yandex.by

**Введение.** Радиационная защита представляет собой комплекс мероприятий, направленных на защиту материалов от ионизирующего излучения, а также поиск способов ослабления поражающего действия ионизирующих излучений. Одним из способов радиационной защиты является физическая защита (экранирование). Защитный экран представляет собой устройство с поверхностью, поглощающей, отражающей или преобразующей излучения различных видов энергии, и применяется для защиты от различных типов излучений. В качестве материалов для создания или разработки защитного экрана перспективно использовать материалы на основе висмута (Bi), так как его массовое число

( $A = 209$ ) больше, чем у свинца ( $A = 207$ ), также изотопы висмута устойчивы к различным видам излучения, имея высокое значение периода полураспада ( $2 \cdot 10^9$  лет) [1].

Важнейшим массогабаритным параметром радиационной защиты является массовая толщина [2]. Для массовой толщины  $d = 1 \text{ г/см}^2$  толщины защитных экранов некоторых материалов составляют: алюминий (Al) – 3700 мкм, висмут (Bi) – 1020 мкм, молибден (Mo) – 978 мкм, тантал (Ta) – 660 мкм, вольфрам (W) – 520 мкм.

**Материалы и методы.** В качестве материала подложки использовалась вольфрамовая фольга. С целью улучшения поверхности W-подложки обрабатывались механически абразивным материалом с различными зернистостями (P 2000, P 1000). Затем проводилось обезжиривание поверхности W-подложек в растворе этилового спирта в течение 5 мин для удаления загрязнений с поверхности. Для удаления шламов и улучшения развитости поверхности травление W-подложек проводилось в течение 1 мин в 10%-ном растворе HCl при температуре 25 °C. Электрохимическое осаждение Bi осуществляли из перхлоратного электролита  $\text{HClO}_4$  (400 мл/л),  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  (40 г/л),  $\text{H}_2\text{O}$  (до 1 л) в гальваностатическом режиме. Плотность тока при осаждении составляла  $15 \text{ мА/см}^2$  в течение 20 мин. В качестве анодов использовались висмутовые стержни диаметром 8 мм, содержащие 97,5 % Bi и до 2,5 % оксида свинца ( $\text{PbO}_2$ ). Электроосаждение Bi проводилось с использованием потенциостата/гальваностата P45-X. Изучение морфологии поверхности и химического состава висмутового покрытия осуществлялось на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Carl Zeiss EVO10 при ускоряющем напряжении 20 кВ с приставкой Oxford Instrumens [3].

**Результаты и выводы.** На рис. 1 представлены СЭМ-изображения поверхности вольфрамовой фольги на различных стадиях подготовки перед осаждением Bi. Видно, что при проведении операций подготовки поверхности с каждой технологической операцией происходит развитие поверхности W, что приводит к улучшению адгезии Bi с W-подложкой.

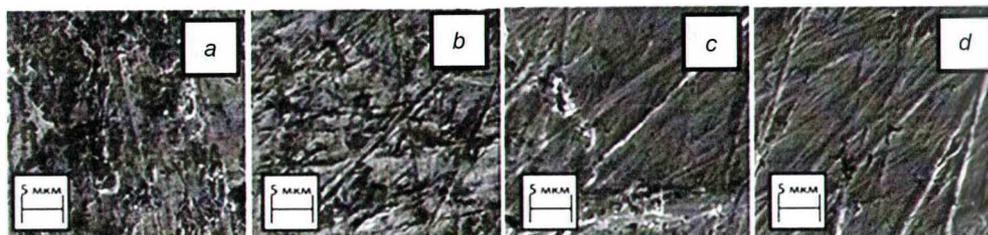


Рис. 1. СЭМ-изображения вольфрамовой фольги в процессе обработки поверхности:  
*a* – до обработки, *b* – после шлифовки, *c* – после химического обезжиривания, *d* – после травления

На рис. 2 представлены СЭМ-изображения (а) и результаты химического состава (b) поверхности образца с Вi-покрытием. Видно, что при использовании технологии электроосаждения Вi происходит равномерное распределение Вi-покрытия на поверхности W-фольги. Морфология пленок представляет собой зерна вольфрама, которые собираются в агломераты с ромбической структурой. На карте химического состава (см. рис. 2, b) отмечена лишь одна фаза – висмут.

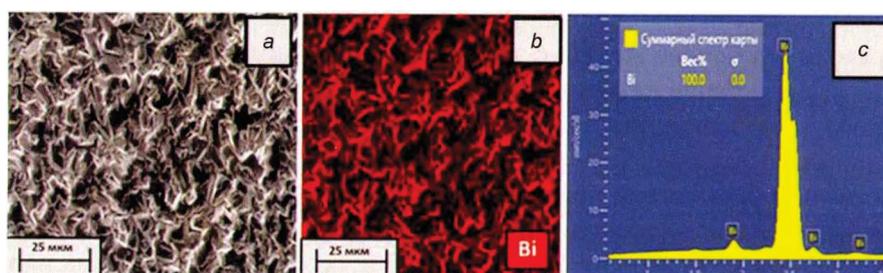


Рис. 2. СЭМ-изображения поверхности слоя Вi гибкого радиационного экрана на основе многослойной структуры Вi/W (а), электроосажденного при плотности тока 15 мА/см<sup>2</sup>, и распределение химического состава (b, c)

**Выводы.** Разработан новый способ электрохимического осаждения Вi-покрытия на гибкие подложки на основе W-фольги. Подобраны и оптимизированы технологические режимы по подготовке поверхности W-фольги к осаждению слоя Вi. Таким образом, система Вi–W является перспективным материалом для изготовления защитных экранов.

### Литература

1. Военная токсикология, радиобиология и медицинская защита / под ред. С. А. Куценко. – СПб.: Фолиант, 2004. – 528 с.
2. Kamislioglu, M. Research on the effects of bismuth borate glass system on nuclear radiation shielding parameters / M. Kamislioglu // Results in Physics. – 2021. – Vol. 22, № 10. – Art. 103844. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2021.103844>
3. Effect of the Synthesis Conditions and Microstructure for Highly Effective Electron Shields Production Based on Bi Coatings / D. I. Tishkevich [et al.] // ACS Appl. Energy Mater. – 2018. – Vol. 1, № 4. – P. 1695–1702. <https://doi.org/10.1021/acsaem.8b00179>
4. Electrochemical deposition regimes and critical influence of organic additives on the structure of Bi films / D. I. Tishkevich [et al.] // J. Alloys Compd. – 2018. – Vol. 735. – P. 1943–1948. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.11.329.0>