

УДК 621.45+539.23

ПОЛУЧЕНИЕ ПЛЕНОК, ОБЛАДАЮЩИХ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ, ЭКСТРАКЦИОННО-ПИРОЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

А. О. ЗАХАРОВА¹, Т. Н. ПАТРУШЕВА¹, Ф. Э. КОЖЕВНИКОВ²¹Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»

им. Д. Ф. Устинова

² АО «Северо-Западный региональный центр

Концерн ВКО «Алмаз-Антей»-Обуховский завод»

Санкт-Петербург, Россия

Введение. Риск развития и распространения болезнетворных бактерий на поверхностях и предметах велик повсеместно. Антибактериальная эффективность оксидов отдельных металлов хорошо подтверждена [1–3]. Актуальность разработки тонких оксидных пленок, обладающих антибактериальными свойствами, достаточно высока ввиду необходимости внедрения новых мер, направленных на антибактериальную защиту и отсутствия недорогой, доступной технологии нанесения покрытий [4].

Задачей выполнения работ являлся синтез антимикробных покрытий и доказательство их антибактериальных свойств.

Были получены экспериментальные образцы с различными составами, проведен антибактериальный тест. В результате этих исследований была доказана антибактериальная активность пленок $Zn : Ti : Cu = 6 : 1 : 3$, а также обоснованы их антикоррозионные свойства.

Исследование состава композиции. Медь, титан и цинк [5] достаточно эффективны против патогенных микроорганизмов. Их ионы могут вызывать инактивацию белков, снижать активность токсинов, вызывающих дизентерию и другие кишечные заболевания, ингибируют активность возбудителей сифилиса и возвратного тифа, угнетают активность стрептококков в культурах стафилококков и синегнойной палочки [2, 3].

Метод получения покрытия. Для приготовления композиции экстрагировали Cu, Ti и Zn из растворов неорганических солей. Экстрагентом являлась смесь карбоновых кислот C_5 – C_9 . Данные кислоты – вторичный продукт нефтепереработки – имеют низкую стоимость. Экстракция проходила по катионообменному механизму. Чистый прекурсор в данном случае формировался за счет того, что примесные ионы и анионы неорганических солей не экстрагировались вследствие особенности процесса проведения экстракции [4].

Далее экстракты металлов были смешаны в соотношении $Zn : Ti = 9 : 1$, $5 : 5$; $Zn : Ti : Cu = 6 : 1 : 3$ и подвергались пиролизу в открытой печи при температуре 550 °С.

Проведение антимикробного теста. Антибактериальный тест проводился в Институте экспериментальной медицины (г. Санкт-Петербург) на активность по отношению к грамотрицательной бактерии *Escherichia coli* ML35 p и грамположительной бактерии *Staphylococcus aureus* SG 511. Для образца $Zn_{0,6} : Ti_{0,1} : Cu_{0,3}$.

У других оксидов результаты теста для стекол и шариков различаются. Следовательно, сложно сделать вывод о достоверности их антибактериальной активности.

Эффективность применения разработки. Исследовать и оценить инкубацию роста бактерий можно при помощи средств компьютерного моделирования, таких как Python [6].

Полное обеззараживание замкнутого объема (куб $10 \times 10 \times 10$ м) произойдет за 25 с, зависимость процента зараженных частиц от времени не является линейной. Развитием данной задачи может быть выявление зависимости времени обеззараживания от числа молекул в модели [7].

Заключение. В результате работы был выявлен состав композиции для получения тонких оксидных плёнок на основе металлов экстракционно-пиролитическим способом. Соотношение экстрактов Zn, Cu и Ti составили $Zn : Ti : Cu = 6 : 1 : 3$. Образцы с применением данной композиции были протестированы в Институте экспериментальной медицины РАН (г. Санкт-Петербург). Эффективная композиция была оформлена в виде заявки на изобретение № 2024132658 «Композиция для получения антибактериального покрытия Zn-Cu-Ti-O экстракционно-пиролитическим методом».

В результате исследования скорости обеззараживания молекул в замкнутой комнате (без притока и оттока воздуха) было установлено, что взаимодействие всех молекул с покрытием происходит за малое время, что также позволяет считать разработку эффективной для применения как средства антимикробной защиты в различных учреждениях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Michaels, H. T.** Copper alloys in the fight against microorganisms / H. T. Michaels // *Plumbing Standarts*. – 2004. – № 4. – P. 22–34.
2. **Anyagou, K. C.** Characterization, and Antifouling Potential of Functionalized Copper Nanoparticles / K. C. Anyagou, A. V. Fedorov, D. C. Neckers // *Langmuir*. – 2008. – Vol. 24, № 8. – P. 4340–4346.
3. Ингибирование гемолитической активности *strepto coccus pyogenes* в механизмах антибактериального действия катионов цинка / С. Б. Чекнёв, Е. И. Вострова, М. А. Сарычева, А. В. Востров // *Химическая технология*. – 2019. – С. 16–23.
4. Антибактериальные покрытия оксида меди-титана, полученные экстракционно-пиролитическим методом / Т. Н. Патрушева, С. К. Петров, Е. В. Владимирова [и др.] // *Химическая технология*. – 2021. – № 11. – С. 482–487.
5. **Проскуркин, Е. В.** Защитные цинковые покрытия для жёстких коррозионно-эрозионных условий эксплуатации / Е. В. Проскуркин // *Территория «Нефтегаз»*. – 2007. – № 9. – С. 42–50.
6. Программирование для «нормальных» с нуля на языке Python: учебник: в 2 ч. / Под ред. В. Л. Черного. – М.: Базальт СПО ; МАКС Пресс, 2018. – Ч. 1. – 176 с: ил.
7. **Сивухин, Д. В.** Механика / Д. В. Сивухин. – М.: Наука, 1979. – 520 с.