

В последние годы все более актуальным становится вопрос о модификации волокон, используемых для изготовления фильтрующих материалов, которые бы обладали не только очищающей способностью, но и антисептическими и ионизирующими свойствами. Одним из перспективных направлений является использование наночастиц серебра [1]. Серебро рассматривается как микроэлемент, необходимый для нормального функционирования внутренних органов и систем, а также как мощное средство, повышающее иммунитет и активно воздействующее на болезнетворные бактерии и вирусы [2]. В концентрации 0,05 – 0,1 мг/л серебро оказывает омолаживающее воздействие на кровь и благотворно влияет на протекание физиологических процессов в организме. Коллоидное наносеребро – продукт, состоящий из микроскопических наночастиц серебра, взвешенных в деминерализованной и деионизированной воде. Этот продукт производится электролитическим методом. Коллоидное серебро является безопасным и самым мощным для организма человека натуральным антисептиком, подавляющим более 700 видов болезнетворных микроорганизмов, среди которых стафилококки, стрептококки, бактерии дизентерии, брюшного тифа. В наноразмерном диапазоне практически любой материал проявляет уникальные свойства. Типичные наночастицы серебра имеют размеры 25 нм. Они имеют чрезвычайно большую удельную площадь поверхности, что увеличивает область контакта серебра с бактериями или вирусами, значительно улучшая его бактерицидные действия. Таким образом, применение серебра в виде наночастиц позволяет в сотни раз снизить концентрацию серебра с сохранением всех бактерицидных свойств. Существующие традиционные методы химического и физического внедрения частиц серебра в полипропиленовые (ПП) волокна, которые позволяют изготовить фильтрующий материал с антисептическими свойствами, однако ценовой сегмент готовой продукции при этом сильно возрастает. Следовательно, на сегодняшний день не существует экономически выгодной и экологически безопасной технологии, позволяющей устойчиво закрепить наночастицы серебра на поверхности готовых волокнистых материалов. Для модификации многофиламентного ПП волокна, используемого в фильтрующих материалах, с целью придания ему новых антисептических и ионизирующих свойств применяли коллоидный раствор наночастиц серебра «AgБион-2» с концентрацией частиц 10 мг/л. По полученным ранее результатам для ПП пленочной нити [3] после обработки неравновесной низкотемпературной плазмой (ННТП), использовали наиболее гидрофильный режим высокочастотной (ВЧ) обработки в аргоновой плазме ( $U_a = 3,5$  кВ;  $I_a = 0,4$  А;  $P = 26,6$  Па;  $G = 0,04$  г/с,  $\tau = 240$  с), в котором обрабатывали ПП волокно для повышения смачиваемости его поверхности раствором наночастиц. Среда инертного газа выбрана для минимизации процессов химического травления, окисления или азотирования поверхности ПП волокон. На рис. 1, 2 представлены изображения

топографии поверхности ПП волокна, полученные с помощью атомной силовой микроскопии (АСМ). Для оценки степени закрепления наночастиц серебра на поверхности волокон и выбора оптимальной методики модификации, проводили пропитку исходных и обработанных ННТП плазмой ПП волокон коллоидным раствором по трем вариантам [4,5]: Вариант 1: активация ПП волокон ННТП, пропитка коллоидным раствором наночастиц серебра. Вариант 2: активация ПП волокон ННТП, пропитка коллоидным раствором наночастиц серебра; повторная ВЧЕ обработка. Вариант 3: пропитка ПП волокон коллоидным раствором наночастиц серебра. Согласно АСМ изображениям, топографии поверхности ПП волокна (рис. 1, 2) свидетельствуют, что у образца, прошедшего двойную плазменную обработку (образец б), на поверхности после промывки остаются наночастицы серебра (40 – 150 нм). Рис. 1 - АСМ изображения топографии поверхности ПП волокна до промывки (слева) и после промывки (справа): а - волокно, обработанное по варианту 1; б - волокно, обработанное по варианту 2; в - волокно, обработанное по варианту 3. Рис. 2 - Распределение частиц по размерам (по высоте частиц) на поверхности ПП волокон после промывки (по оси ординат - доля частиц определенного размера): а - волокно, обработанное ВЧ плазмой по варианту 1; б - волокно, прошедшее обработку по варианту 2; в - волокно, модифицированное по варианту 3. Получение наилучшего результата распределения частиц по размерам на поверхности ПП волокон, прошедших двойную плазменную обработку, можно предположительно объяснить следующим. Бомбардировка поверхности ПП волокна ионами плазмообразующего газа, скорее всего, приводит к низкоэнергетической ионной имплантации. Вероятно, что в результате бомбардировки низкоэнергетическими ионами на поверхности ПП волокон происходит захоронение атомов плазмообразующего газа в поверхностном нанослое, глубина которого, по результатам математического моделирования, проведенного в главе 2, составляет до 43 нм. Образование ионных треков приводит к формированию нанопор, за счет чего изменяется свободная энергия поверхности ПП волокон, и повышается их гидрофильность. В связи с этим, можно полагать, что в результате пропитки волокон коллоидным раствором, наночастицы серебра проникают в нанопоры, формируемые ионными треками. Одновременно, это приводит к связыванию долгоживущих свободных радикалов, что препятствует окислительным процессам в поверхностном слое ПП волокон. Аналогом при объяснении приведенного выше механизма воздействия ННТП, послужило описание процесса воздействия высокоэнергетических ионов на материалы, где, скорее всего, основным отличием является глубина модифицируемого слоя. При повторной обработке пропитанных волокон низкоэнергетические ионы плазмы, ускоряясь в слое положительного заряда, формируют поток с энергией до 100 эВ и, во-первых, могут вбивать наночастицы в более глубокие поверхностные слои полимера, а во-вторых, способствовать образованию свободных радикалов, и,

следовательно, поперечных связей и поверхностной сетки, за счет чего происходит устойчивое закрепление наночастиц в нанослое ПП волокон. Исходя из полученных результатов, предлагается новая методика для модификации ПП волокон наночастицами серебра, включающая обработку волокон плазмой ВЧЕ-разряда пониженного давления в режиме  $U_a = 3,5$  кВ;  $I_a = 0,4$  А;  $P = 26,6$  Па;  $G_{Ar} = 0,04$  г/с;  $\tau = 240$  с, пропитку плазмоактивированных волокон коллоидным раствором наночастиц серебра «AgБион-2» и повторную обработку ВЧЕ-разрядом, в том же режиме. Обработка волокон по данной методике позволяет получить ПП волокна с антисептическими и ионизирующими свойствами, с устойчивым закреплением наночастиц серебра на поверхности ПП нити, без агломерации, в наноразмерном диапазоне 30-100нм, что имеет большое значение при изготовлении из них фильтрующих материалов для очистки воды.