

с использованием УМ в качестве нанопористых электродов позволил удалить различные нежелательные ионы из водных растворов в качестве средства для опреснения солоноватой воды, смягчения жесткости или восстановления грунтовых вод. Нанопористые УМ, такие как углеродный аэрогель, активированный уголь, углеродное волокно и углеродные нанотрубки, представляют собой очень привлекательные материалы из-за их большой площади поверхности и хорошей электрической проводимости [11]. Кроме того, разработаны мезопористые угли в качестве электродов для ЕДВ с хорошими электрохимическими свойствами [10–12]. Графен, представляющий собой двумерную аллотропную модификацию углерода, образованную слоем атомов углерода толщиной в один атом, исследовался в качестве основного компонента композитных электродов для применения в ЕДВ [13]. Тем не менее, относительно высокая стоимость изготовления электродных материалов на основе графенов ограничивает их масштабное применение.

Из литературных источников также известно о модификациях диоксида титана (TiO_2) с различными электродными материалами для их применения в процессах ЕДВ. В работе [14] сообщается о том, что углеродные электроды с покрытием из TiO_2 имеют в два раза большую эффективность обессоливания, чем углеродные электроды, и повышенная эффективность обессоливания обусловлена высокой смачиваемостью углеродного электрода с покрытием из TiO_2 . В работе [15] изучалась возможность опреснения воды методом ЕДВ с использованием ионоселективного композитного углеродного электрода, покрытого TiO_2 . В частности, авторы сообщают о повышении эффективности опреснения примерно на 30% по сравнению с использованием углеродного электрода не имеющего специального покрытия. Также в работе [16] сообщается о том, что добавление TiO_2 в ткань с активированным углем увеличивало электросорбцию и уменьшало физическую адсорбцию.

Целью данной работы является исследование композитных электродов, изготовленных на основе различных УМ, с целью определения оптимальных условий для обессоливания при электросорбции в пористых электродах.

Экспериментальная часть

Для установления величины удельной поверхности и пористой структуры коммерческих УМ, представленных Kuraray YP 50 F; Kuraray YP 80 F и Norit DLC Super 30 были исследованы на адсорбционном анализаторе ASAP 2020 марки «Micromeritics Instruments Corporation», производство США. Перед анализом образцы дегазировали в течение 24 часов при 120°C .

Композитные электроды изготавливались в форме квадратов (6 см x 6 см) на основе УМ (м.д. 85%), с добавлением связующего вещества (м.д. 5%) и электропроводящей добавки (м.д. 10%). В качестве пористого угля использовались следующие коммерческие марки: Kuraray YP 50 F (Calgon Carbon), Kuraray YP 80 F (Calgon Carbon) и Norit DLC Super 30 (Cabot). Способ производства пористого угля, представленного коммерческой маркой Norit DLC Super 30 не сообщается, по-видимому являясь секретом производства. В свою очередь, Kuraray YP 50 F и Kuraray YP 80 F представляют собой активированные угли (далее АУ), полученные на основе кокосовой скорлупы [17]. В качестве связующего вещества использовалась водная дисперсия политетрафторэтилена с концентрацией 60 мас. % (Sigma Aldrich). Электропроводящая добавка представляла собой ацетиленовую сажу марки Super C65 (Imerys). Пористый уголь в виде порошка смешивался с ацетиленовой сажой, после чего смесь в смесь добавлялась водная дисперсия политетрафторэтилена. В полученную смесь добавляли изопропанол и подвергали перемешиванию с помощью магнитной мешалки. После полного испарения изопропанола смесь прокатывались с помощью установки каландрирования. Достигнув необходимых параметров формы и толщины (500 мкм), прокатанную смесь сушили в вакууме при 110°C в течение 3 часов, затем охлаждали и взвешивали. Внешний вид полученных композитных электродов показан на рисунке 1.

Изображение лабораторной установки ЕДВ показано на рисунке 2. Данная установка включает в себя приточный и отводящий резервуары, перистальтический насос, измеритель проводимости (CPC-501), модуль ЕДВ, измеритель pH (Elmeiron) и потенциостат (VMP-3, Biologic). Соотношение между проводимостью и молярной концентрацией измеряли в соответствии с калибровочной кривой. Для приготовления растворов использовали хлорид калия (Sigma Chempur). Измерения адсорбции NaCl проводили используя растворы с концентрацией 5, 10, 50 и 100 ммоль/л. Электрическое напряжение, приложенное к ячейки ЕДВ достигало 1,2 В, а скорость потока раствора составляла 5 мл/мин. Растворы NaCl готовили путем предварительного измерения массы кристаллов NaCl перед их растворением в мерной колбе известным объемом деионизированной воды.

Адсорбционная емкость (Q), в виде массового отношения соли, адсорбированной сорбентом, рассчитывалась на основе формулы, описанной [18–

$$Q = \frac{C_n - C_k}{M} \cdot V$$

19] где C_n (мг/л) является начальной концентрацией раствора NaCl; C_k (мг/л) является конечной