

В продолжение предыдущих работ [1-2] по использованию плодовых оболочек зерновых культур для удаления ионов тяжелых металлов из модельных растворов, исследовалась сорбция ионов цинка плодовыми оболочками зерен пшеницы (ПОЗП), овса (ПОЗО) и ячменя (ПОЗЯ). Ранее рядом исследователей проводились изыскания по удалению ионов $Zn(II)$ из модельных и промышленных сточных вод с использованием в качестве альтернативных сорбционных материалов (СМ) рисовой соломы [3, 4], шелухи [5, 6] и отрубей [7]. Показано использование в качестве реагентов для удаления ионов Zn^{2+} ячменной соломы [8], шелухи пшеницы [9], стержней кукурузных початков [10-13], жома [14] и пульпы [15] от переработки сахарной свеклы. Весьма оригинально для удаления ионов $Zn(II)$ использовать отходы переработки моркови [16], маниоки [17] и других овощных культур. Первоначально строились изотермы сорбции ионов $Zn(II)$ исследуемыми СМ и определялась максимальная сорбционная емкость по названным ионам. В сосуды емкостью 250 мл приливалось по 200 мл растворов, содержащих ионы $Zn(II)$ в концентрациях от 20 мг/дм³ до 4000 мг/дм³, и помещались навески исследуемых СМ массой по 1 г. Для приготовления модельных растворов использовался $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$. Навеска соли бралась с учетом кристаллизационной воды. Колбы с находящимися в них навесками СМ и растворами, содержащими ионы Zn^{2+} в соответствующей концентрации, плотно закрывались пробками и перемешивались в течение 3 часов. Затем СМ отфильтровывался, а в растворах определялись остаточные концентрации ионов $Zn(II)$ согласно стандартным методикам [16] и строились зависимости сорбированных ионов цинка (II) на поверхности исследуемых СМ в зависимости от концентрации исследуемого ИТМ в растворе (рис. 1). Графики изотерм сорбции ионов цинка имеют Г-образную форму. Очевидно, что с увеличением концентрации ионов Zn^{2+} в растворе до 1000 мг/л сорбционная ёмкость по названным ионам исследуемыми СМ первоначально резко возрастает. Дальнейшее увеличение концентрации ионов $Zn(II)$ в рабочем модельном растворе приводит к насыщению СМ ионами названного металла, и равновесные графики сорбции выходят на плато. Рис. 1 - Графики изотерм сорбции ионов цинка. Очевидно, что среди исследуемых плодовых оболочек наибольшее значение максимальной сорбционной емкости имеют оболочки ячменя, наименьшее - ПОЗП. Проведенными исследованиями найдено, что максимальная сорбционная емкость по отношению к ионам $Zn(II)$ составляет: для оболочек пшеницы - 73,55 мг/г, оболочек овса - 79,9 мг/г, оболочек ячменя - 76,8 мг/г. В дальнейшем проводились работы по исследованию удаления из модельных растворов с концентрацией 100 мг/дм³ ионов $Zn(II)$ в статических условиях. Для проведения экспериментов в плоскодонные колбы емкостью 250 мл помещались навески исследуемых СМ по 0,1 г. Навески вносились исходя из содержания СМ в дозировке 1 г/дм³. В колбы наливалось по 100 мл модельных растворов, содержащих ионы $Zn(II)$ в вышеуказанной концентрации. Сосуды с

находящимися в них навесками СМ и модельными растворами плотно закрывались пробками и перемешивались в течение 5 часов. Через определенные промежутки времени из проб удалялись фильтрованием образцы СМ и в фильтрах определялись остаточные концентрации ионов $Zn(II)$. Зависимости изменения концентрации ионов Zn^{2+} в модельных растворах от времени взаимодействия с СМ и вида плодовых оболочек зерновых культур приведены на рисунке 2. Рис. 2 - Графики изменения остаточной концентрации ионов цинка в растворе в статических условиях в зависимости от времени контактирования и вида сорбционного материала. В дальнейшем определялись сорбционные характеристики названных отходов от переработки зерновых культур в динамических условиях. Для этого раствор с концентрацией ионов $Zn(II)$ 100 мг/дм³ пропусклся через слой сорбционной загрузки толщиной 15 см со скоростью 20 мл/мин в течение 1,5 часов. После прохождения слоя СМ в фильтрах определялось остаточное содержание ионов Zn^{2+} и рассчитывалась сорбционная емкость плодовых оболочек зерновых культур. Проведенными экспериментами и расчетами найдено, что сорбционная емкость в динамических условиях по исследуемому иону цинка составляет: для ПОЗО - 7,37 мг/г; ПОЗЯ - 5,35 мг/г; ПОЗП - 5,18 мг/г. Тем не менее, сорбционные характеристики названных СМ по отношению к ионам $Zn(II)$. Ранее проведенными исследованиями [1, 2] определено, что обработка плодовых оболочек растворами серной кислоты малой концентрации способствует некоторому увеличению рассматриваемого параметра. В результате проведенных экспериментов найдено, что обработка 3 %-ным раствором H_2SO_4 способствует, в частности, увеличению максимальной сорбционной емкости рассматриваемых СМ по ионам Zn^{2+} , что отражается в изменении графиков изотерм сорбции модифицированных СМ (рис. 3) по сравнению с исходными (рис. 1). Рис. 3 - Изотермы сорбции ионов цинка образцами плодовых оболочек зерновых культур, после обработки раствором серной кислоты. Соответственно, несколько видоизменились графики изменения остаточной концентрации ионов цинка в статических условиях с использованием кислотообработанных плодовых оболочек (рис. 4) в сравнении с таковыми, полученными с использованием исходных СМ (рис. 2). Рис. 4 - Графики изменения остаточной концентрации ионов цинка в растворе в статических условиях в зависимости от времени контактирования и вида сорбционного материала после обработки 3 %-ным раствором серной кислоты. Сорбционная емкость модифицированных серной кислотой образцов плодовых оболочек в динамических условиях также изменилась. Так названный показатель для ПОЗО составил 8,43 мг/г и увеличился после кислотной обработки на 12,57 %; для ПОЗЯ - 6,67 мг/г (+ 19,79 %); для ПОЗП - 4,98 мг/г (- 3,86 %). Таким образом, в результате проведенных работ [1, 2] определено, что максимальная сорбционная емкость для исследуемых СМ располагается в следующих зависимостях: ПОЗО - $Ni^{2+} > Zn^{2+}$

> Cu^{2+} ; для ПОЗЯ - $\text{Zn}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Cu}^{2+}$; для ПОЗП - $\text{Ni}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cu}^{2+}$.