

В продолжение работ [1-4] по исследованию отходов переработки сельскохозяйственного сырья в качестве сорбционных материалов (СМ) для удаления поллютантов из водных сред, исследована возможность удаления ионов никеля из модельных водных растворов с использованием плодовых оболочек зерен пшеницы (ПОЗП), овса (ПОЗО) и ячменя (ПОЗЯ). Ранее была показана возможность удаления ионов $Ni(II)$ из природных и сточных вод с использованием в качестве дешевых СМ рисовой [5] и ячменной соломы [6], кочерыжек [7] и стержней [8] кукурузных початков, багассы сахарного тростника [9, 10] и жома сахарной свеклы [11]. Применительно к тропическим и субтропическим районам Земного шара в качестве СМ для извлечения ионов Ni^{2+} исследованы скорлупа арахиса [12], кожура апельсинов [13] и мандаринов [14], шелуха соевых бобов [15], отходы от переработки чая [16], мексиканского подсолнечника [17] и других сельскохозяйственных культур. Первоначально строились изотермы сорбции ионов $Ni(II)$ исследуемыми СМ и определялась максимальная сорбционная емкость. Для этого в плоскодонные колбы емкостью 250 мл наливалось по 200 мл растворов, содержащих ионы $Ni(II)$ в концентрациях от 20 мг/дм³ до 4000 мг/дм³ и помещались навески исследуемых СМ массой по 1 г. В модельных растворах в качестве загрязнителя использовался $NiCl_2 \cdot 6H_2O$. Навеска соли бралась с учетом кристаллизационной воды. Колбы с находящимися в них навесками СМ и соответствующими растворами плотно закрывались пробками и энергично встряхивались в течение 3 часов. Затем СМ удалялся фильтрацией, а в фильтратах определялись остаточные концентрации ионов никеля согласно стандартным методикам [18]. Из графиков изотерм сорбции (рис. 1) очевидно, что с увеличением концентрации ионов Ni^{2+} в растворе до 1000 мг/дм³ сорбционная ёмкость по названным ионам исследуемыми СМ первоначально резко возрастает. Дальнейшее увеличение концентрации ионов $Ni(II)$ в рабочем модельном растворе приводит к насыщению СМ поллютантом и равновесные кривые постепенно выходят на плато. Рис. 1 – Изотермы сорбции ионов никеля плодовыми оболочками зерновых культур

Проведенными исследованиями найдено, что максимальная сорбционная емкость по отношению к ионам Ni^{2+} составляет: для оболочек пшеницы – 80,3 мг/г, оболочек овса – 82,7 мг/г, оболочек ячменя – 87,0 мг/г. В дальнейшем определялось кинетика удаления из модельных растворов ионов $Ni(II)$ с концентрацией 100 мг/дм³ 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 количестве 1 г/дм³. В колбы наливалось по 100 мл модельных растворов, содержащих ионы $Ni(II)$ в указанной ранее концентрации. Колбы с находящимися в них навесками СМ и модельными растворами плотно закрывались пробками и перемешивались в течение 5 часов. Через определенные промежутки времени пробы отфильтровывались от СМ и в фильтратах определялись остаточные

концентрации ионов Ni(II). Зависимости изменения концентрации ионов Ni²⁺ в растворах от времени взаимодействия с СМ и вида плодовых оболочек зерновых культур приведены на рисунке 2. Рис. 2 – Зависимость изменения концентрации ионов никеля в растворах в зависимости от времени контактирования и вида плодовых оболочек. Как видно из приведенных на рисунке 2 данных, наименьшая концентрация ионов никеля в модельном растворе достигается при использовании оболочек ячменя, наименьшая – при использовании оболочек овса после 5 часов взаимодействия исследуемых СМ с сорбатом. С целью увеличения сорбционных характеристик, проводилась обработка исследуемых плодовых оболочек зерновых культур растворами серной кислоты малой концентрации в течение определенных промежутков времени. В колбы объемом 250 мл наливалось 200 мл 0,5, 1 и 3 %-ные растворы серной кислоты и помещалось по 10 г исследуемых СМ. Содержимое колб тщательно перемешивалось в течение 10, 20, 30, 45 и 60 минут. Затем СМ промывались дистиллированной водой до достижения промывным раствором нейтрального значения pH и высушивались в сушильном шкафу до достижения постоянной массы. У полученных после кислотной обработки образцов СМ определялось максимальное значение сорбционной емкости по отношению к ионам Ni(II). Значения сорбционной емкости по ионам Ni²⁺ в зависимости от концентрации раствора серной кислоты и времени контактирования приведены в таблице 1. Как следует из приведенных в таблице 1 данных, наибольшие значения сорбционной емкости по ионам Ni(II) наблюдаются у плодовых оболочек, обработанных 1 %-ным раствором серной кислоты в течение 20 минут. Отмечено, что увеличение времени контактирования плодовых оболочек с растворами серной кислоты способствует снижению максимальной сорбционной емкости. Проведенными экспериментами и расчетами показано, что обработка исследуемых СМ 1 %-ным раствором H₂SO₄ способствует увеличению максимальной сорбционной емкости: по ПОЗП – на 4,97 %, по ПОЗО – на 8,56 % и по ПОЗЯ – на 7,47 %. Таблица 1 - Значения максимальной сорбционной емкости плодовых оболочек зерновых культур по ионам никеля в зависимости от времени контакта и концентрации раствора серной кислоты

Время контакта с раствором H ₂ SO ₄ , мин	Сорбционная емкость, мг/дм ³	Концентрация раствора H ₂ SO ₄ , %	Оболочки зерен овса	Оболочки зерен ячменя	Оболочки зерен пшеницы
10	73,22	0,5	87,13	82,37	20
20	70,07	1	91,1	85,5	30
30	68,9	3	90,2	83,2	45
45	66,3		90,1	82,9	60
60	66,8		88,92	81,1	
10	74,5	0,5	91,2	87,4	20
20	75,18	1	94,0	88,5	30
30	71,9	3	89,8	84,7	45
45	69,56		89,0	82,9	60
60	68,9		87,3	81,0	
10	80,2	0,5	81,3	79,3	20
20	80,07	1	84,5	80,05	30
30	77,89	3	82,03	78,12	45
45	79,76		79,45	72,9	60
60	74,6		75,8	70,4	

В последующем исследовалось влияние кислотной обработки на изменение остаточной концентрации ионов никеля в модельных растворах в результате контактирования с образцами плодовых оболочек злаковых культур, подвергнутых кислотной обработке. Начальная концентрация ионов никеля в растворе составила 100 мг/л, методика проведения эксперимента приведена

выше. Проведенными экспериментами и расчетами определено, что остаточная концентрация ионов Ni(II) в модельном растворе после 300-минутного контактирования с кислотообработанными образцами ПОЗО составила 35 мг/дм³, что меньше на 14,6 % такого показателя после взаимодействия модельного раствора с исходными образцами оболочек овса. Соответственно, для экспериментов с кислотообработанными оболочками ячменя данные показатели составили 24,5 мг/дм³ (уменьшение на 15,5 %), для экспериментов с образцами ПОЗП после обработки кислотой – 32 мг/дм³ (уменьшение на 8,6 %). Таким образом, проведенными экспериментами определено, что обработка плодовых оболочек зерновых культур 1 %-ным раствором серной кислоты в течение 20 минут способствует увеличению максимальной сорбционной емкости по ионам Ni^{2+} , а также снижению остаточной концентрации названных ионов в модельных растворах по сравнению с экспериментами с использованием исходных образцов СМ.