

низма, серебряную воду вполне обосновано можно употреблять в качестве повседневной питьевой воды с профилактическими свойствами, а в случае массовых инфекционных заболеваний – как лечебное средство без вредных побочных эффектов (которыми “грешат”, например, многие антибиотики).

Получено 10.12.2000

УДК 628.3:546.742

Г.М.КОЧЕТОВ, канд. техн. наук, Б.М.ЕМЕЛЬЯНОВ, д-р техн. наук,
А.Н.КУШКА, канд. техн. наук

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ РАСТВОРОВ ОТ ИОНОВ НИКЕЛЯ

Приведены сорбционные характеристики модифицированного циолита. Предложены математическая модель и алгоритм расчета основных параметров работы ионообменного фильтра на основе НС-1.

Тяжелые металлы и их соединения относятся к наиболее опасным загрязнителям окружающей среды. Основными источниками их поступления в водоемы являются сточные воды гальванических производств. В Украине сточные воды этих предприятий составляют около 40% общего количества промышленных стоков, а удельный выход сточных вод – от 2 до 7 м³ на 1 м² гальванического покрытия [1]. Соединения тяжелых металлов – не только высокотоксичные, но ценные вещества. Поэтому проблема извлечения металлов из сточных вод актуальна, особенно в условиях зависимости Украины от внешних источников сырья.

Главным путем решения проблемы ресурсосбережения и предотвращения загрязнения окружающей среды является создание на гальванических предприятиях замкнутых систем промышленного водоснабжения с использованием технологий регенерации дефицитных тяжелых металлов. Нами предложен всесторонний подход к решению этой проблемы. Разработана схема комплексной очистки гальваносточков с использованием новых технологий регенерации тяжелых металлов и их соединений [2]. Важнейшим узлом этой схемы является блок доочистки сточных вод и очистки промывных вод с концентрацией ионов тяжелых металлов менее 30 мг/л до норм существующих международных стандартов.

Целью настоящей работы являются создание экономичного и эффективного метода извлечения никеля из разбавленных растворов, а также расчет технологических параметров его реализации путем математического моделирования процесса.

При выборе метода очистки были рассмотрены основные современные методы и проведена их сравнительная оценка по технико-экономическим и экологическим критериям. По нашему мнению, оптимальным методом очистки разбавленных растворов от ионов тяжелых металлов является метод ионного обмена. Ионообменные технологии имеют целый ряд неоспоримых преимуществ:

- высокая производительность;
- обеспечение глубокой очистки воды практически от любых ионов;
- использование простого и доступного оборудования;
- надежность очистки при переменных нагрузках;
- возможность регенерации сорбента с одновременным извлечением ценных компонентов.

Использование ионообменной очистки целесообразно осуществлять непосредственно после промывных ванн. В этом случае возможно применение локальных установок с малогабаритными адсорберами, причем регенерация фильтров производится на месте. Концентрированные растворы ионов тяжелых металлов, образующиеся в результате регенерации фильтров, перерабатываются по предложенным нами технологиям [3].

В качестве ионообменных материалов широко используются органические синтетические смолы. Однако в последние годы ведутся интенсивные разработки ионитов на основе природных неорганических материалов, обладающих хорошими структурными и физико-химическими свойствами. Некоторые из них имеют высокую избирательность к ионам тяжелых металлов. Эффективность действия этих материалов можно повысить путем модификации. Ранее нами был получен сорбент НС-1 на основе природного цеолита. Исследование кинетики сорбционных процессов в статических условиях показало, что НС-1 обладает достаточной емкостью по отношению к ионам тяжелых металлов (Ni^{2+} и Cr^{3+}) [2]. Отработанный сорбент можно использовать повторно после регенерации содовым раствором.

Для выяснения равновесных закономерностей процесса сорбции для НС-1 в Na-форме была получена изотерма обмена ионов Ni^{2+} на Na^+ . Опыты проводили следующим образом. Несколько навесок сорбента по 2 г каждая помещали в колбы объемом 0,5 л с различными концентрациями никеля. Колбы встряхивали в течение 4 ч, сорбент отфильтровывали, а в фильтрате определяли остаточную концентрацию никеля фотометрическим методом. Величину удельной адсорбции вычисляли по формуле

$$b = (C_0 - C_p) \cdot V / m, \quad (1)$$

где C_0 и C_p – концентрации никеля в растворе до и после сорбции соответственно, мг/л; V – объем раствора в колбе, л; m – масса сорбента, г.

По полученным данным построена изотерма сорбции никеля, которая приведена на рис.1. Изотерма является выпуклой. Однако ее начальный участок с достаточной точностью можно аппроксимировать прямой. Интервал линейности (0-35 мг/л) соответствует содержанию никеля в промывных водах гальванических предприятий. Значение коэффициента Генри k для линейного участка изотермы равно 150 мг/л.

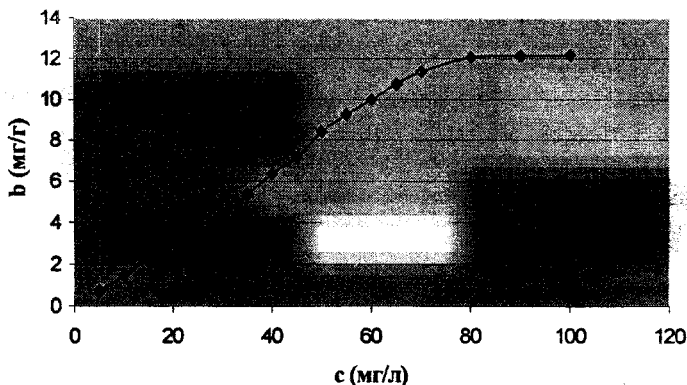


Рис.1 – Изотерма сорбции ионов никеля

Полученные равновесные и кинетические данные сорбции никеля явились исходными для расчета параметров процесса в динамических условиях. Экспериментальные данные динамики сорбции сопоставлялись с результатами математического расчета. Параметры динамического опыта представлены в таблице.

Исходные параметры сорбции в динамических условиях

Начальная концентрация ионов никеля C_0 , мг/л	Скорость фильтрации V , м/ч	Размер зерна сорбента d , мм	Порозность слоя ϵ
10	1	1	0,4

При заданных условиях динамического опыта лимитирующей стадией процесса является внешняя диффузия. В изучаемом интервале концентраций ионов Ni^{2+} , характерных для промывных вод гальвани-

ческих производств, изотерма сорбции линейна. С учетом этого для описания динамического процесса сорбции никеля использовали математическую модель, включающую следующие уравнения: материального баланса (2), кинетики обмена (3), изотермы обмена (4), а также краевые условия (5):

$$D \frac{\partial c}{\partial x^2} + \frac{\partial b}{\partial t} + v \frac{\partial c}{\partial x} + \varepsilon \frac{\partial c}{\partial t} = 0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial b}{\partial t} = \beta(c - c_p); \quad (3)$$

$$\varphi(b) = c_p = \frac{b}{k}; \quad (4)$$

$$b(x,0) = c(x,0) = 0; \quad c(0,t) = c_0, \quad (5)$$

где $b(x,t)$ – удельная адсорбция; $C(x,t)$ – концентрация ионов Ni^{2+} в растворе; t – время; x – расстояние от входного сечения; β – кинетический коэффициент внешнего массообмена; D – коэффициент диффузии вдоль потока.

Для ионообменной сорбции использовали известное выражение для β [4]:

$$\beta = 9 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha \frac{V^{0,53}}{a^{1,47}}, \quad (6)$$

где α – коэффициент, примерно равный единице.

В условиях, соответствующих задачам ионообменной очистки воды, диффузионный перенос вещества вдоль потока намного меньше его переноса потоком. Тогда первым слагаемым в уравнении (2) можно пренебречь. В уравнении (6) принимали $\alpha=1$. С учетом этих допущений решение системы уравнений (2)-(6) осуществляли численными методами с использованием конечно-разностной схемы. Таким образом, для процесса извлечения никеля из промывных вод были рассчитаны динамические выходные кривые сорбции при различных высотах слоя сорбента НС-1: 30 и 50 см.

Сопоставляли расчетные и экспериментальные данные, полученные на опытной ионообменной колонке диаметром 2,5 см. Пробы фильтрата отбирали и анализировали через определенные промежутки времени. По этим данным построены экспериментальные выходные кривые динамики сорбции ионов никеля. Результаты расчета и эксперимента приведены на рис.2. В результате их анализа можно утверждать, что расчетные значения параметров динамической сорбции,

полученные на основе предложенной нами математической модели, удовлетворительно согласуются с экспериментальными. Модель адекватно описывает рассматриваемый процесс.

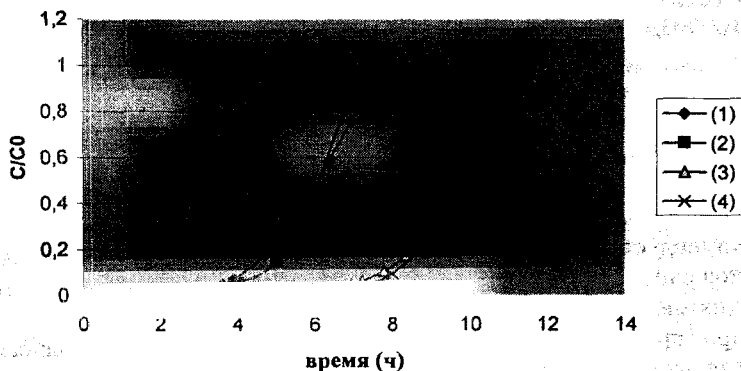


Рис.2 – Расчетные (1, 3) и экспериментальные (2, 4) выходные кривые сорбции ионов никеля при высоте слоя сорбента 30 (1, 2) и 50 см (3, 4)

Таким образом, изучены сорбционные характеристики модифицированного природного цеолита. Показана эффективность его применения для очистки воды с концентрацией ионов никеля до 30 мг/л.

Предложены математическая модель и алгоритм расчета основных параметров работы ионообменного фильтра на основе НС-1. Сопоставление экспериментальных и расчетных данных свидетельствует об адекватности описания динамического процесса сорбции предложенной моделью.

1. Калиновский В.А., Саранин О.Л. Безотходные технологии очистки сточных вод // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1998. – №1. – С. 49-53.

2. Кочетов Г.М. Комплексная очистка сточных вод промышленных предприятий с регенерацией тяжелых металлов // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2000. – №4. – С. 41-44.

3. Ternovisev V.E., Kochetov G.M., Emelianov B.M., Arkhipets A.E. Metal recycle from electroplating waste // Proceedings of Therd Intern. Symp. On Environm. Contamination in CEE. Warsaw. 1996. – P. 625-626.

4. Запольський А.К. Фізико-хімічні технології очистки стічних вод. – К.: Лібра, 2000.

Получено 10.04.2001