



УДК: 541.1+628.16

Исследования волокнистого сорбента, наполненного катионитом КУ-2, с использованием математических моделей процесса умягчения воды

Комарова И.В., Галкина Н.К., Шептовецкая К.И.

Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского РАН, Москва

Поступила в редакцию 16.03.2010 г.

Аннотация

Исследованы сорбционные свойства волокнистого сорбента, наполненного катионитом КУ-2, с целью применения его для умягчения воды. Показано, что математические модели, разработанные ранее для процесса умягчения воды на гранулированном катионите КУ-2, применимы для описания всех стадий технологического процесса на волокнистом сорбенте. Проведено сравнение сорбционных свойств волокнистого и гранулированного катионита.

Ключевые слова: волокнистый сорбент, наполненный катионитом КУ-2, гранулированный катионит КУ-2, умягчение воды, выходные кривые, математическая модель, коэффициенты математической модели, автоматизированный стенд АСНИ-ГЕОХИ.

The sorption properties of fibrous sorbent filled with cation-exchanger KU-2 are investigated for water softening process. The properties of fibrous and granulated cation-exchangers are compared. Computation of all process stages and experiments showed that the mathematical model used for granulated cation-exchanger can be expanded to fibrous sorbent

Key words: fibrous sorbent filled with cation-exchanger KU-2, granulated cation-exchanger, water softening, breakthrough curves, mathematical model, coefficients of mathematical model, automated test-bench ASNI-GEOHI

Введение

Волокнистые наполненные сорбенты нашли применение при решении ряда аналитических [1-2] и технологических задач, например, при умягчении воды [3]. В ГЕОХИ РАН разработаны и применены для технологических целей математические модели и реализующие их программы расчета и оптимизации процессов обессоливания и умягчения воды [4-8].

Представляется целесообразным выяснить возможность применения этих математических моделей для процесса умягчения воды на волокнистом сорбенте, наполненном катионитом КУ-2.

Образец волокнистого сорбента, изготовленного во ВНИИСВ (г. Тверь), имел следующие характеристики: поверхностная плотность 300 г/м^2 , степень наполнения 50%, диаметр нити 30-100 мкм, размер частиц наполнителя 10-30 мкм.

Оценка применимости сорбента в данной технологической задаче производилась методом вычислительного эксперимента на основе адекватных процессу математических моделей. Коэффициенты математической модели определены методом решения обратных задач на основе банка экспериментальных выходных кривых, полученных при разных условиях. Для получения экспериментальных выходных кривых сорбции, регенерации и отмывки использован автоматизированный стенд АСНИ-ГЕОХИ.

Методика эксперимента

Экспериментальные исследования проводили на фильтре сечением 1.56 см^2 и высотой 15 см.

Волокнистый сорбент загружен в фильтр в виде дисков, сечение которых в сухом состоянии составляло 1.13 см^2 , в набухшем 1.54 см^2 . Набухаемость сорбента - 67%. Полная обменная емкость волокнистого сорбента - 3 мг-экв/г, что соответствует 50% емкости гранулированного катионита КУ-2. Поскольку 1г волокна соответствует объему 10 мл, его емкость составляет 0.3 мг-экв/мл.

Для определения коэффициентов математической модели на стадии сорбции были получены выходные кривые при 5 различных скоростях потока на сорбенте в натриевой форме. В качестве модельного раствора при сорбции использовали раствор хлорида кальция, концентрация которого составляла 4.25 мг-экв/л. После каждого опыта по сорбции проводили полную регенерацию для перевода сорбента в натриевую форму и его отмывку.

Обсуждение результатов

На рис.1 представлены выходные кривые сорбции иона кальция на волокне, наполненном катионитом КУ-2.

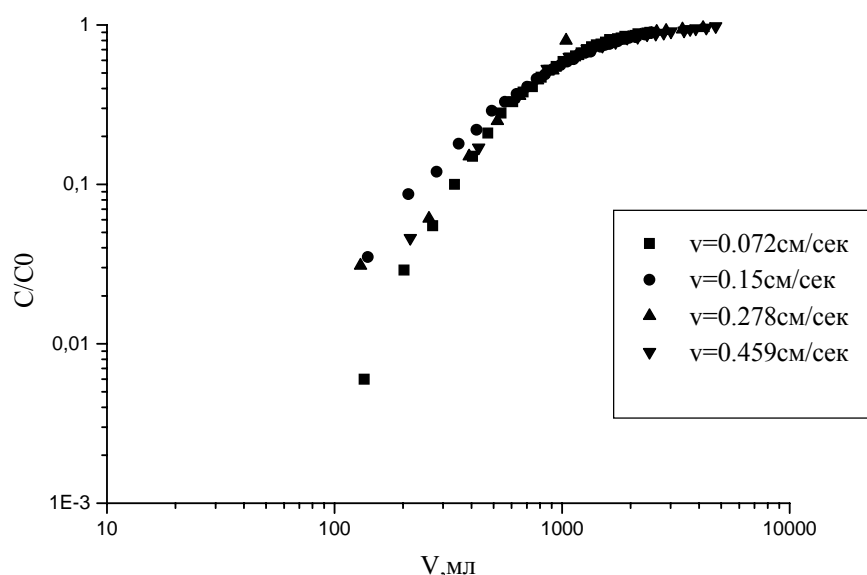


Рис. 1 Выходные кривые сорбции иона кальция на волокне, наполненном катионитом КУ-2, при различных скоростях потока

Методом решения обратных задач была выбрана математическая модель из имеющегося банка моделей. На основании экспериментальных выходных кривых получено, что сорбция иона кальция на волокнистом сорбенте, наполненном катионитом КУ-2, может быть описана математической моделью однокомпонентной динамики сорбции при внешнедиффузионной кинетике и линейной изотерме. Найденные значения кинетических коэффициентов этой модели представлены в таблице 1.

Таблица 1. Коэффициенты распределения (Γ) и кинетические коэффициенты (β) при обмене иона кальция на волокнистом сорбенте, наполненном катионитом КУ-2, в натриевой форме

| v , см/сек | Γ | a_0 , мг-экв/мл | β , л/сек | CRIT |
|--------------|----------|-------------------|-----------------|-------|
| 0.072 | 51.8 | 0.22 | 0.021 | 0.047 |
| 0.15 | 53.8 | 0.23 | 0.035 | 0.036 |
| 0.235 | 52.4 | 0.22 | 0.052 | 0.071 |
| 0.278 | 59.1 | 0.25 | 0.066 | 0.061 |
| 0.459 | 60.8 | 0.25 | 0.096 | 0.066 |

Зависимость кинетического коэффициента β от скорости потока v представлена на рис. 2.

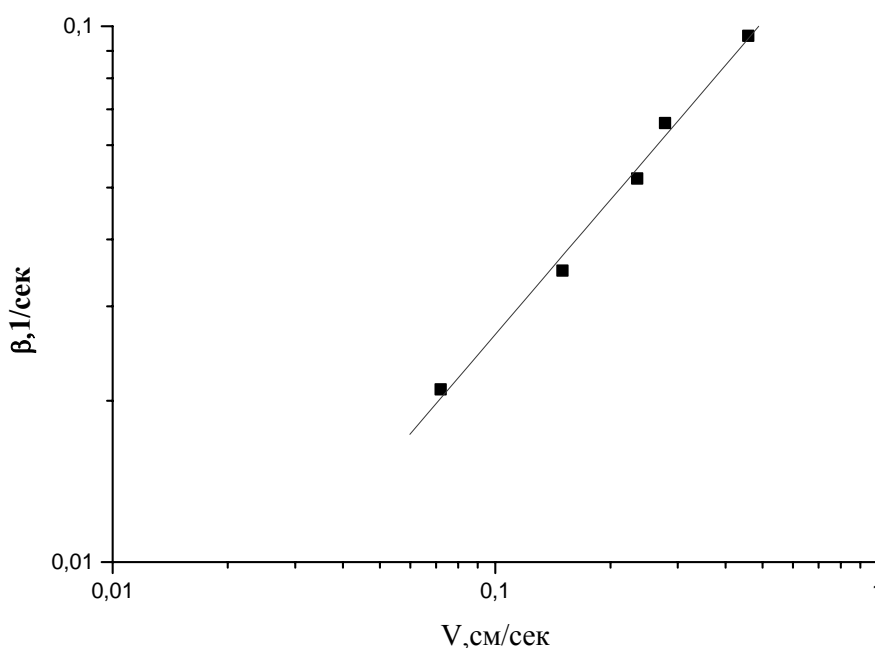


Рис. 2. Зависимость кинетического коэффициента от скорости потока при сорбции кальция на волокнистом сорбенте, наполненном катионитом КУ-2

Полученная зависимость аппроксимирована как $\beta=0.18v^{0.80}$. Для гранулированного катионита КУ-2 в процессе умягчения воды аналогичная зависимость имеет вид $\beta=0.35v^{0.57}$ [4].

Методом решения обратных задач определены коэффициенты продольной диффузии при заполнении колонки регенерационным раствором и отмывке сорбента. Показано, что в отличие от гранулированного сорбента [7], коэффициенты

продольной диффузии при отмывке и регенерации волокнистого сорбента совпадают между собой.

Проведен расчет стадии регенерации волокнистого сорбента по математической модели, применяемой для расчета процесса умягчения воды на гранулированном катионите КУ-2. На рис. 3 представлено сопоставление расчетной и экспериментальной выходных кривых регенерации волокна, полностью отработанного по иону кальция, 1N раствором хлорида натрия.

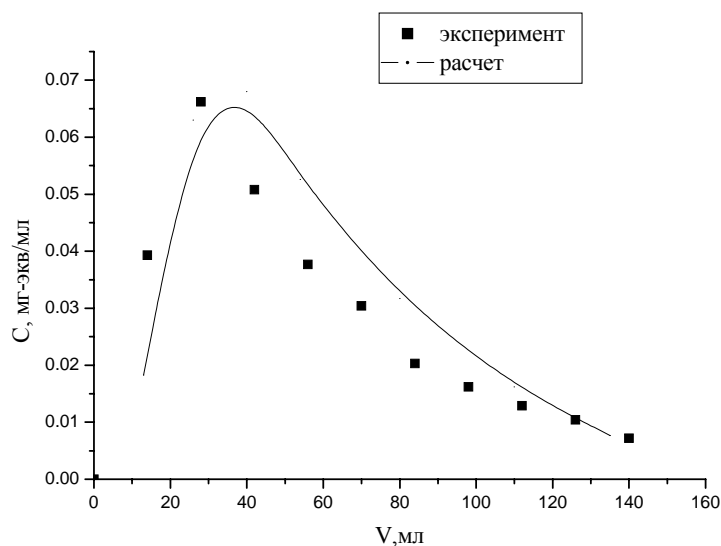


Рис. 3. Выходная кривая регенерации волокнистого сорбента, отработанного по кальцию, 1N раствором хлорида натрия (скорость потока 0.15 см/сек)

Сопоставление расчетной и экспериментальной выходных кривых регенерации удовлетворительное, что позволяет использовать математическую модель регенерации для описания стадии регенерации волокнистого катионита и применять ее к поиску оптимальных условий процесса.

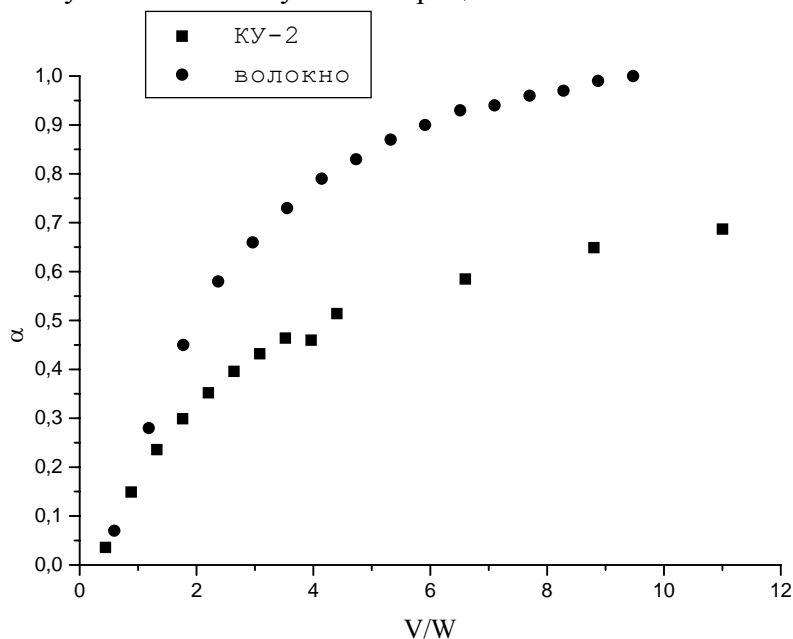


Рис. 4. Зависимость степени регенерации от расхода хлорида натрия

На основании выходных кривых рассчитана зависимость степени регенерации от расхода хлорида натрия (рис. 4). Приведенная на том же рисунке зависимость степени регенерации гранулированного катионита от расхода соли [5] показывает, что волокнистый сорбент регенерируется лучше, чем гранулированный.

Изучение процесса отмывки показало, что в отличие от гранулированного сорбента [7], где отмывка описывается уравнением продольной диффузии, отмывка волокна отвечает модели, близкой к модели идеального смешения (рис. 5).

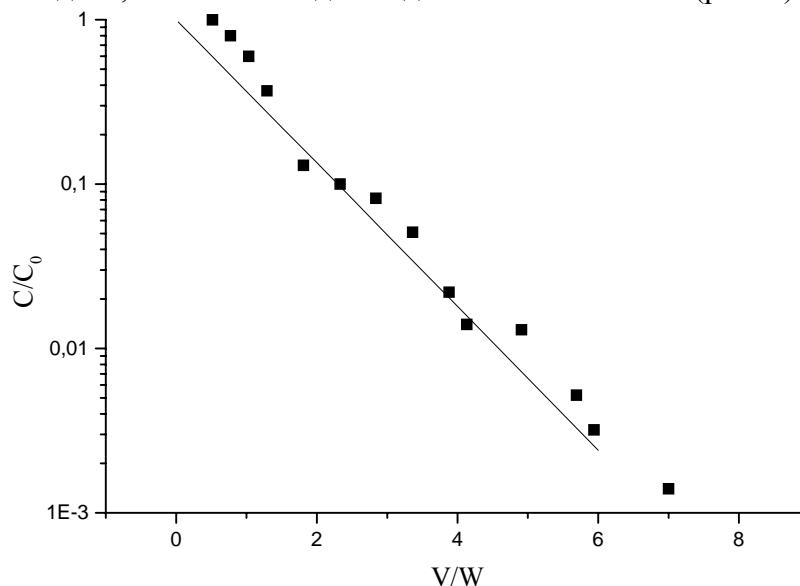


Рис. 5. Выходная кривая отмывки волокнистого сорбента при скорости потока 0.11 см/сек (V – объем раствора, W – объем сорбента)

Возможность расчета циклического процесса умягчения воды на волокнистом сорбенте подтверждена экспериментальными исследованиями. Серия экспериментов заключалась в том, что в каждом опыте регенерировался сорбент, отработанный при одной скорости потока модельного раствора хлорида кальция на волокне в натриевой форме до заданного проскока иона кальция ($C/C_0=0.1$), заданным количеством реагента, после чего осуществлялась повторная сорбция до того же проскока при той же скорости потока. Варьировалось количество реагента, что позволило получить зависимость количества и качества очищенной воды от расхода реагента. На рис. 6 представлены выходные кривые сорбции после регенерации двумя расходами реагента: 1.5 и 3.6 мл/мл (что соответствует времени регенерации 4 и 10 минут). На этом же рисунке представлена выходная кривая сорбции на полностью регенерированном волокнистом сорбенте.

Как видно из этих данных, кальций, находящийся в замыкающих слоях катионита в результате неполной регенерации, поступает в очищенную воду и тем самым определяет качество очищенной воды. Кроме того, за счет оставшегося в катионите кальция уменьшается рабочая обменная емкость сорбента, и проскок кальция наступает раньше.

Эти экспериментальные данные подтверждают применимость разработанной нами ранее математической модели сорбции на частично регенерированном ионите [8] к расчету умягчения на волокнистом сорбенте.

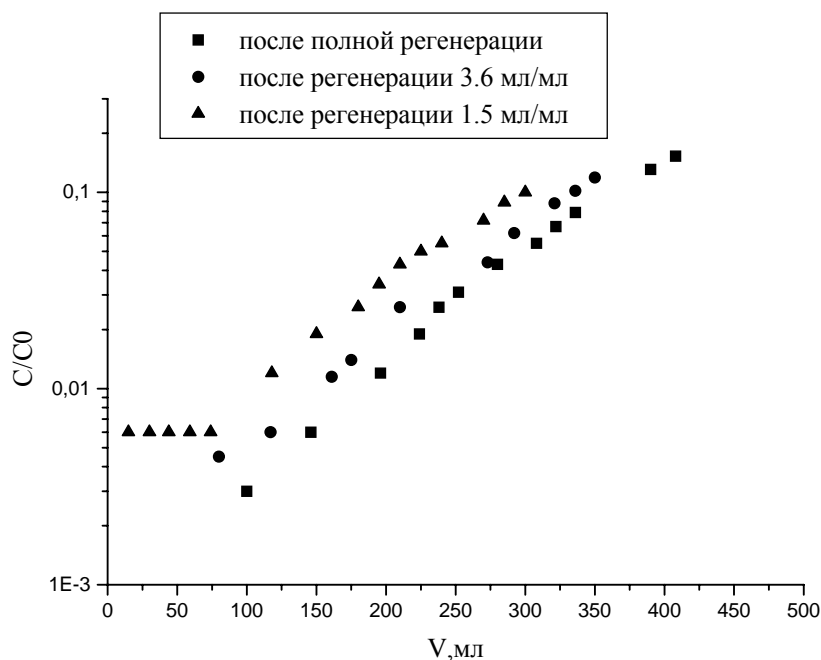


Рис. 6. Выходные кривые сорбции на волокнистом сорбенте при скорости потока 0.08 см/сек

Заключение

Исследования показали возможность описания стадий процесса умягчения на волокнистом сорбенте математическими моделями, разработанными нами ранее для гранулированных ионитов.

Полученные данные позволили сравнить волокнистый сорбент, наполненный катионитом КУ-2, с гранулированным катионитом КУ-2. Показано, что для умягчения одинакового объема воды волокнистого сорбента потребуется в 5-7 раз больше, чем катионита КУ-2, из чего следует, что организация промышленного процесса с применением волокнистого сорбента требует специального аппаратного оформления [3]. При одинаковом объеме и концентрации регенерационного раствора степень регенерации выше у волокнистого сорбента. На отмывку волокнистого сорбента требуется больший объем воды на единицу объема ионита.

Список литературы

1. Захарченко Е.А., Моходоева О.Б., Мясоедова Г.В. Использование волокнистых «наполненных» сорбентов для динамического концентрирования благородных металлов // Сорбционные и хроматографические процессы. 2005. Т.5. Вып.5. С. 679-689.
2. Савин С.Б., Дедкова В.П., Швоева О.П. Сорбционно-спектроскопические и тест-методы определения ионов металлов на твердой фазе ионообменных материалов // Успехи химии. 2000. Т.69. №3. С.203-217.

3. Солдатов В.С., Шункевич А.А., Марцинкевич В.В. Сравнительные исследования процесса умягчения воды гранульными и волокнистыми ионитами // Журнал прикладной химии. 2001. Т.74. Вып.9 С.1477- 1480 .

4. Комарова И.В., Галкина Н.К., Махалов Е.М., Ипполитова О.Д., Колотилина Н.К., Шептовецкая К.И., Гвоздев В.Ф. Решение задач ионообменной водоподготовки на основе математического моделирования с применением ЭВМ // Теория и практика сорбционных процессов. 1989. Вып.20. Воронеж. С.30-41.

5. Калинина А.Г. Акмамедов С., Комарова И.В., Сенявин М.М. Расчет процесса умягчения на основе математической модели // Теплоэнергетика. 1981. № 9. С. 53-55.

6. Комарова И.В., Галкина Н.К., Анфилов Б.Г., Шептовецкая К.И. Визуализация процесса ионообменного умягчения воды с целью прогнозирования и управления // Сорбционные хроматографические процессы. 2008. Т.8. Вып.1. С. 30-36.

7. Галкина Н.К., Комарова И.В., Анфилов Б.Г., Шептовецкая К.И. Математическая модель глубокой отмывки ионообменного фильтра // Сорбционные и хроматографические процессы. 2004. Т.4. Вып.5. С. 644-652.

8. Веницианов Е.В., Закова И.М., Комарова И.В. Расчет процесса ионообменной очистки на неполностью регенерированном ионите // Химия и технология воды. 1986. Т.8. №5. С. 6-9.

Комарова Ирина Владимировна – ст.науч. сотрудник, к.х.н., ГЕОХИ РАН., Москва, тел. 495-9397032

Галкина Надежда Константиновна – ст.науч. сотрудник, к.х.н., ГЕОХИ РАН, Москва, тел. 495-9397032

Шептовецкая Клавдия Ивановна - младший научный сотрудник ГЕОХИ РАН, Москва

Komarova Irina V. – senior scientific worker of Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of Russian Academy of Science, e-mail: ivk.geohi@gmail.com

Galkina Nadezda K. – senior scientific worker of Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of Russian Academy of Science

Sheptovetskaya Klavdia T. – scientific worker of Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of Russian Academy of Science