

УДК 628.356+621.978

Донцова Т.А., Черненко В.Ю., Астрелин И.М. (Украина, Киев)

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ УРАНИЛ-ИОНОВ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Ужесточение законов по охране окружающей среды и требования, предъявляемые к качеству воды, делают необходимым совершенствование существующих и разработку новых, более эффективных методов очистки вод от металлов. Биологические методы в последнее время находят все большее применение для извлечения металлов из промышленных, а также бытовых сточных вод [1]. Эти методы, в отличие от дорогостоящих физико-химических способов очистки сточных вод, характеризуются достаточной простотой и эффективностью. С помощью биосорбции даже из разбавленных растворов возможно 100% извлечение свинца, ртути, меди, никеля, хрома, урана и др. металлов. В частности, уран из водных растворов эффективно сорбируют как водоросли, так и дрожжи, и бактерии [2].

В основе процесса биосорбции лежит взаимодействие металлов с поверхностью клеточных стенок, а также продуктами их метаболитов. Помимо этого, микроорганизмы способны накапливать металлы внутриклеточно. Традиционно процесс сорбции с помощью микроорганизмов или водорослей проводят в отстойниках или прудах со слабым течением, где происходит развитие микроорганизмов и водорослей. Биосорбцию осуществляют также путем пропускания растворов металлов через микробные биофильтры, представляющий собой живые клетки, сорбированные на частичках, например, активированного угля размером 0,3-0,9 мм [3]. Скорость процесса адсорбции вышеуказанными способами невелика. И, как следствие, в первом случае необходимо использовать отстойники или пруды больших площадей, во втором – большое количество сорбента.

Для увеличения скорости процесса биосорбции и устранения вышеуказанных недостатков предлагается использовать микроорганизмы в чистом виде (без носителя), а сам процесс проводить при интенсивном перемешивании. Для отделения клеток микроорганизмов, средний размер которых от 1 до 5 мкм, от очищаемой воды предлагается использовать методы флокуляции и седиментации [4].

При проведении соответствующих модельных экспериментов в качестве биосорбента использовалась инактивированная резистентная к ионам металлов культура *Bacillus cereus* ВМ 4368. Культура гетеротрофа *Bacillus cereus* ВМ 4368 – грамположительная, спорообразующая с палочковидными клетками, непатогенная и генетически стабильная. Культура использовалась в виде концентрированной суспензии, которая готовилась из сухой биомассы.

В качестве объектов сорбции были выбраны ионы урана (VI), растворенные в водных растворах. Концентрация металла в приготовленных растворах варьировалась в диапазоне 25-125 мг/дм³.

Концентрацию урана (VI) анализировали спектрофотометрически с Арсеназо-III. Степень извлечения (R) урана из воды определяли по формуле:

$$R = \frac{c_0 - c_k}{c_0} \times 100\%, \quad (1)$$

где c_0 – концентрация урана до сорбции, мг/дм³, c_k – концентрация урана после сорбции, мг/дм³.

При исследовании флокуляции тонкодисперсного биосорбента использовали анионные (Magnafloc LT25, LT27, E1011) и катионные флокулянты (Magnafloc LT31, M368), производимые фирмой “Ciba”.

Эффективность флокуляции (E) оценивали по формуле:

$$E = \frac{M_0 - M_k}{M_0} \times 100\%, \quad (2)$$

где M_0 – мутность смеси до флокуляции, %, M_k – мутность смеси после флокуляции, %.

Зависимости величины извлечения урана из водных растворов (R) от продолжительности контактирования с биосорбентом приведены на рисунок 1, откуда видно, что степень извлечения (R) достигает 98% при времени контакта раствора урана с биосорбентом, равном 3 минутам.

На рисунок 2 представлены зависимости извлечения урана из водных растворов от концентрации сорбента и pH раствора. Анализ кривых показывает, что наиболее эффективная сорбция проходит при pH=5-7. При этом необходимая концентрация биосорбента для достижения степени извлечения урана $R=98-99\%$ равна 250 мг/дм^3 .

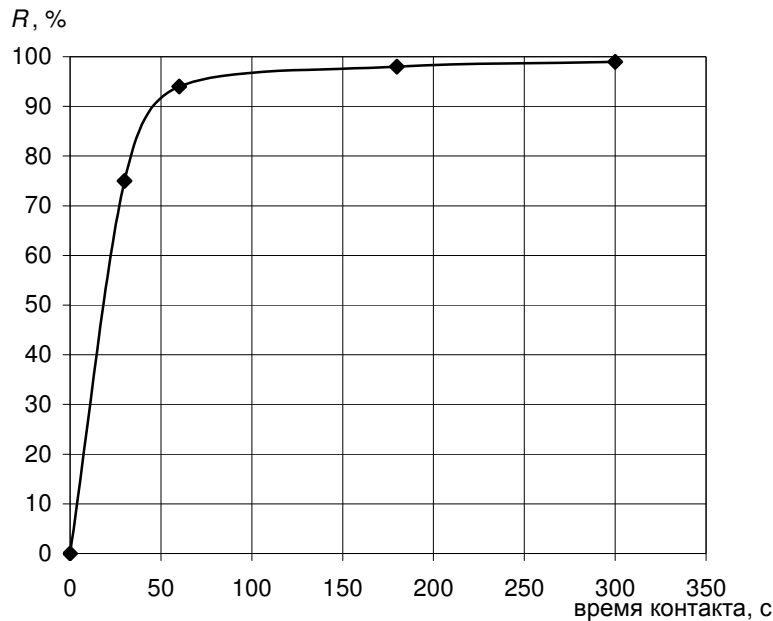


Рисунок 1 – Зависимость степени извлечения (R) ионов урана из воды от продолжительности контакта раствора с клетками биосорбента *Vacillus cereus* VM 4368, с (сорбента)= 250 мг/дм^3 .

Для отделения биомассы от обработанной воды флокуляцией использовали различные (анионные и катионные) флокулянты. Исследования показали, что как анионные, так и катионные флокулянты по отдельности не способны обеспечить эффективное агрегирование клеток биосорбента. Тогда как вместе – сначала катионный, затем анионный флокулянты – значительно улучшали эффективность извлечения (E) отработанного биосорбента от воды. Тем не менее, как видно из рисунок 3, эффективность флокуляции комбинацией флокулянтов не превышала и 90%.

Известно, что в некоторых случаях для увеличения эффективности процессов коагуляции и флокуляции тонкодисперсных частиц в водных растворах вводят дополнительно замутнитель. В качестве замутнителя используются обычно природные глинистые минералы типа монтмориллонита, бентонита, каолина и др. В нашем случае внесение замутнителя может быть особенно благоприятно, так как эти глинистые минералы являются отличными сорбентами ионов различных металлов.

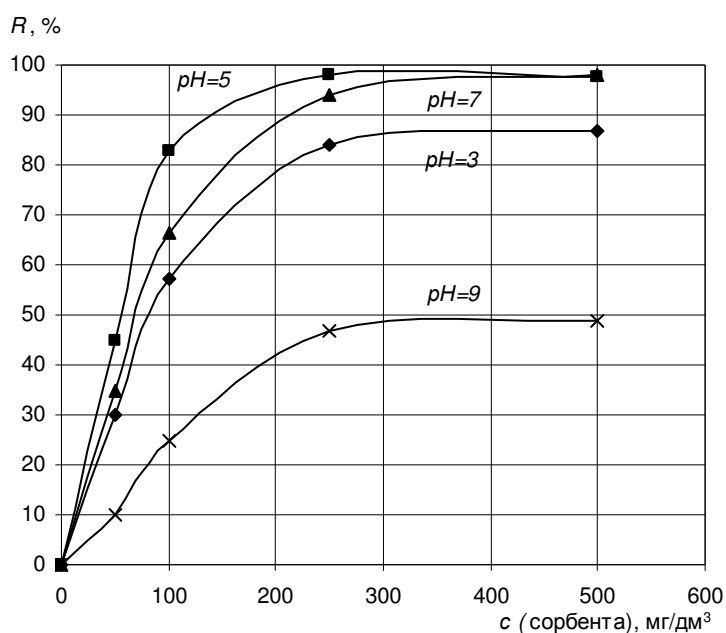


Рисунок 2 – Зависимости степени извлечения (R) урана из водных растворов от концентрации биосорбента и pH раствора, t контакта=3 мин.

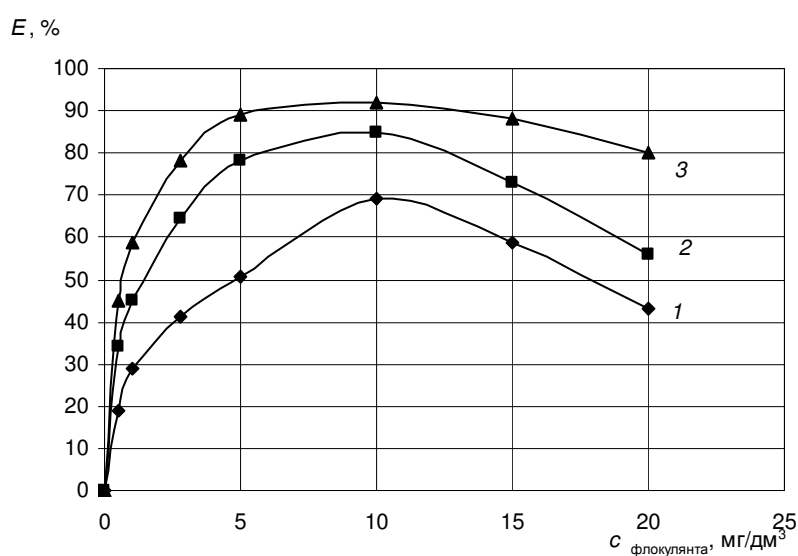


Рисунок 3 – Эффективность извлечения (E) отработанного биосорбента от воды в зависимости от типа и концентрации флокулянтов, c (сорбента)=250 мг/дм³.

1 – комбинация флокулянтов LT31+LT25, 2 – LT31+M368, 3 – LT31+LT27.

В связи с этим, были предприняты исследования влияния замутнителя на эффективность флокуляции биосорбента. В качестве замутнителя использовалась глина – монтмориллонит Na-формы. Из рисунок 4 можно видеть, что применение замутнителя позволило не только увеличить степень извлечения биосорбента из водных растворов, но и ограничиться одним анионным флокулянтом, а также, что немаловажно, уменьшить его дозировку. На рисунок 4 представлена зависимость эффективности флокуляции биосорбента с замутнителем (кривая 2) и без него (кривая 1). Сравнительный анализ кривой 1, где представлена зависимость наилучшей флокуляции биосорбента без замутнителя (рисунок 3, кривая 3), и кривой 2 показывает, что эффективность флокуляции с замутнителем позволяет повысить эффективность очистки от биосорбента в 1,6 раз при концентрации флокулянта 1 мг/дм³ и уменьшить концентрацию последнего в 10 раз.

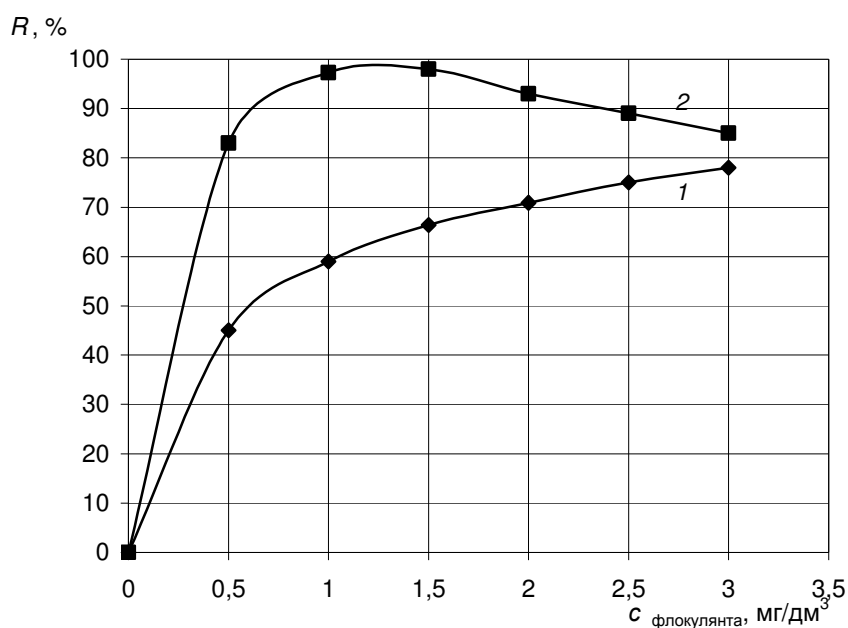


Рисунок 4 – Зависимость эффективности (E) флокюляции биосорбента с замутнителем (кривая 2) и без него (кривая 1), c (сорбента)=250мг/дм³.

На основании результатов проведенных экспериментов предлагается принципиальная схема очистки водных растворов от ионов урана с помощью биосорбентов и дальнейшего их извлечения методом флокюляции, которая представлена на рисунке 5.

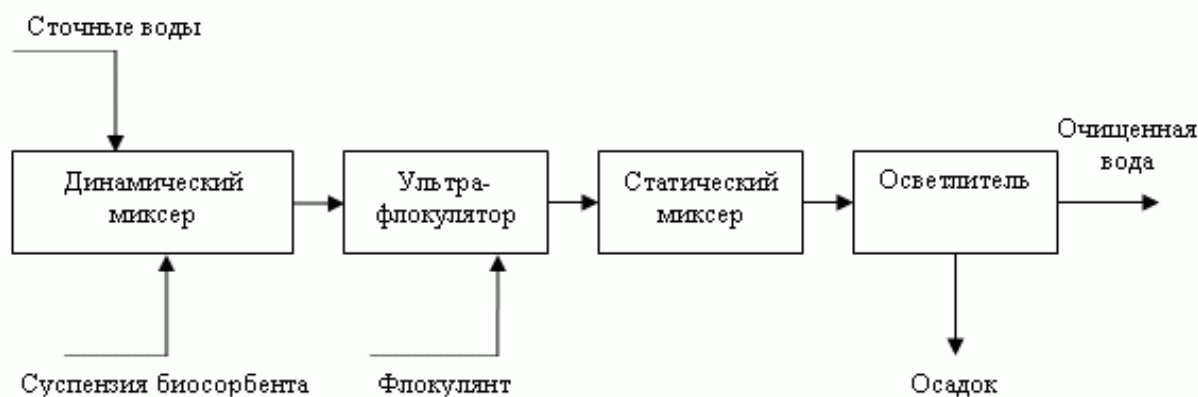


Рисунок 5 – Принципиальная схема очистки водных растворов от ионов урана с помощью биосорбции и флокюляции.

Вода, загрязненная ионами урана, и концентрированная суспензия биосорбента (и, если необходимо, замутнитель) подаются в динамический миксер, где происходит биосорбция урана на биомассе. При этом, осредненный градиент скорости среды в миксере должен составлять 500 с^{-1} , а время контакта биосорбента с обрабатываемой водой – 3-5 мин. После завершения процесса сорбции обрабатываемая вода с биосорбентом, а также флокулянт, подается в ультра-флокулятор для отделения биосорбента от очищаемой воды. Ультра-флокулятор представляет собой динамический миксер, отличающийся от предыдущего миксера только тем, что в нем создается более жесткая обработка смеси, осредненный градиент скорости среды находится в диапазоне от 2000 до 4000 с^{-1} , а время обработки – 1-3 секунды. Далее суспензия поступает в статический миксер, представляющий собой последовательно соединенные горизонтально расположенные ПХВ-трубки, где осуществляется окончательное формирование флокул. Такой гидродинамический режим проведения процесса флокюляции соответствует оптимальному режиму обработки и получению крупных быстрооседающих флокул [5-7]. С выхода последнего статического миксера суспензия поступает в осветитель, где происходит окончательная очистка воды от сфлокюлированного сорбента путем достаточно быстрой его седиментации, а также его выгрузка.

Итак, на основании представленных данных можно заключить, что:

- процесс сорбции ионов урана на биосорбенте *Bacillus cereus* протекает достаточно быстро (за 3-5 мин) и эффективно (до 98-99%);
- отделение тонкодисперсной биомассы от обработанной воды легко осуществляется с помощью флокуляции (при наличии замутнителя до 98-99%) и последующей седиментации;
- комбинация биосорбции и флокуляции является перспективным направлением в создании высокоэффективного метода очистки от ионов урана, а также ионов других металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экологическая биотехнология / Под ред. К. Фестера и Д. Вейза. – Л.: Химия 1990. – 234 с.
2. Волова Т.Г. Биотехнология. – Новосибирск: Из-во Сиб. отд. Рос. Ак. наук, 1999. – 252 с.
3. Ротмистров М.Н., Гвоздяк П.И., Ставская С.С. Микробиологическая очистка воды. – Киев: Химия, 1983. – 289 с.
4. Донцова Т.А. Виділення тонкодисперсних сорбентів з водних розчинів ультра-флокуляцією та турбулентною мікрофлотацією:02.00.11 / Ін-т біокол. хім. ім. Ф.Д. Овчаренка – К., 2006. – 18 с.
5. Rulyov N.N., Dontsova T.A., Korolyov V.Ya. Ultra-Flocculation of Diluted Fine Disperse Suspensions // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. – 2005. – Vol.26. - №3-4. – P. 203-217.
6. Рулев Н.Н., Донцова Т.А., Королев В.Я. Способ извлечения частиц тонкодисперсного сорбента из очищаемой воды ультра-флокуляцией и турбулентной микрофлотацией // Международная конференция «Коллоидные системы. Свойства, материалы, применение», Август-сентябрь 28-1, 2006. – Одесса, Украина. – С. 36-37.
7. Rulyov N.N., Dontsova T.A., Korolyov V.Ya. Separation of fine dispersed sorbents from purified water by ultra-Flocculation and turbulent micro-flotation // Int. J. Environment and Pollution – 2006. – Vol.12. - №5. – P. 44-57.