

На правах рукописи

АБДРАХМАНОВ ТИМУР ГЕОРГИЕВИЧ

**УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ
КОМПЛЕКСОВ РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ
С СИНТЕТИЧЕСКИМИ
ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТАМИ**

05.17.02. – Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА - 2012

Работа выполнена в Российском химико - технологическом университете им. Д. И. Менделеева

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор Трошкина Ирина Дмитриевна

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Палант Алексей Александрович,
ведущий научный сотрудник Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Институт металлургии и
материаловедения им. А.А. Байкова РАН

кандидат химических наук Герман Константин Эдуардович,
заведующий лаборатории химии технеция Федерального
государственного бюджетного учреждения науки Институт физической
химии и электрохимии имени А. Н. Фрумкина РАН

Ведущая организация:
Федеральное государственное унитарное предприятие «Государственный
научно-исследовательский институт цветных металлов «ГИНЦВЕТМЕТ»

Защита состоится 24 мая 2012 года в 16 часов на заседании
диссертационного совета Д 212.204.09 в РХТУ им. Д.И.Менделеева
(125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, дом 20, корпус 1) в
конференц-зале ИМСЭН-ИФХ.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном
центре РХТУ им. Д.И.Менделеева.

Автореферат диссертации разослан « » апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.204.09

Растунова И.Л.

Актуальность проблемы. При добыче и переработке руд редких металлов образуется большое количество отходов, остаточное низкое содержание ценных компонентов в которых и наличие превосходящего количества разнообразных примесей не позволяет использовать экономически обоснованные способы извлечения и очистки в традиционном виде. В результате складываемые в отвалах отходы производства, а также породы отработанных месторождений вследствие биоклиматического воздействия вовлекаются в процессы, приводящие к рассеянию металлов в окружающей среде. Миграционная способность металлов, зависящая от внутренних и внешних факторов миграции, как правило, увеличивает степень загрязнения поверхностных вод. Вблизи же разрабатываемых горнорудных комплексов образуются рудничные минерализованные воды, более загрязненные, чем природные поверхностные воды.

Постоянное увеличение спроса на редкие металлы (например, вольфрам, молибден, уран) может служить основанием для корректировки в сторону снижения уровня содержания металлов в сырье, переработка которого рентабельна. Вовлечение дополнительных сырьевых источников – поверхностных, рудничных вод - в промышленное производство, как и решение экологических проблем, связанных с повышенной вредностью извлекаемых металлов, предполагает разработку и совершенствование существующих гидрометаллургических процессов.

Использование мембранного метода комплексообразовательной ультрафильтрации (КОУФ) в присутствии полиэлектролитов (ПЭ) различного типа для извлечения микроколичеств редких металлов - вольфрама, молибдена и урана из минерализованных растворов представляется актуальным.

Цель работы - разработка ультрафильтрационного способа извлечения микроколичеств вольфрама, молибдена и урана из минерализованных растворов с использованием водорастворимых полиэлектролитов различного типа.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- выбор водорастворимых катионных и анионных полиэлектролитов, позволяющих эффективно извлекать микроколичества соединений вольфрама, молибдена и урана;
- изучение закономерностей концентрирования вольфрама, молибдена и урана с помощью водорастворимых полиэлектролитов в растворах различного солевого состава;
- разработка мембранного метода комплексообразования-ультрафильтрации с использованием водорастворимых полиэлектролитов, включающего их регенерацию, для извлечения и разделения микроколичеств вольфрама, молибдена и урана из минерализованных растворов различного состава, моделирующих поверхностные, в том числе рудничные воды.

Научная новизна работы.

- Впервые определена селективность полисульфоновых мембран по вольфраму и молибдену при их концентрировании из минерализованных растворов методом комплексообразования-ультрафильтрации в присутствии катионных полиэлектролитов HengFloc 88010, HengFloc 87410 (Китай), Praestol 658 (Германия), а также по урану - в присутствии анионных полиэлектролитов Praestol 2530 и HengFloc 64826.
- Установлено, что максимальная селективность мембраны при содержании вольфрама и молибдена 0,3 ммоль/л наблюдается в интервале концентраций катионных полиэлектролитов 0,001 - 0,003 % мас.
- Показано, что селективность полисульфоновой мембраны по вольфраму и молибдену при ультрафильтрации в присутствии полиэлектролита Praestol 658 уменьшается в ряду анионов: $\text{NO}_3^- < \text{Cl}^- < \text{HCO}_3^- < \text{SO}_4^{2-}$ и $\text{NO}_3^- < \text{Cl}^- < \text{SO}_4^{2-} < \text{HCO}_3^-$ соответственно.
- Установлено, что максимальная селективность полисульфоновой мембраны по урану (не менее 90 %) наблюдается в интервале pH 5 ÷ 9 при

использовании анионного полиэлектrolита Praestol 2530 и в интервале pH 4 ÷ 9 при применении HengFloc 64826.

- Установлено, что максимальное отрицательное воздействие на селективность мембраны по урану при ультрафильтрации в присутствии анионных полиэлектrolитов Praestol 2530 и HengFloc 64826 оказывает присутствие в растворах гидрокарбонат-ионов.

Практическая значимость работы.

- Разработана методика определения массового содержания анионного полиэлектrolита Praestol 2530 с использованием метиленового синего. Диапазон обнаружения полиэлектrolита составляет от 20 до 50 мг.
- Разработан метод реагентной регенерации полиэлектrolитов Praestol 2530 и HengFloc 64826 при извлечении урана методом комплексообразовательной ультрафильтрации, заключающийся в промывке полиэлектrolитов раствором бикарбоната натрия.
- Разработаны принципиальные технологические схемы ультрафильтрационного извлечения вольфрама и молибдена из минерализованных растворов.
- Разработана принципиальная технологическая схема ультрафильтрационного извлечения урана из рудничных вод.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на II Международном форуме «Аналитика и аналитики» (Воронеж, 2008), Международной научной конференции «Мембранные и сорбционные процессы и технологии» (Киев, 2010), Четвертой Российской школе по радиохимии и ядерным технологиям (Озерск, 2010), IX научно-практической конференции «Дни науки – 2011. Ядерно-промышленный комплекс Урала» (Озерск, 2011), Всероссийской научно-практической конференции «Редкие металлы: минерально-сырьевая база, освоение, производство, потребление» (Москва, 2011), Молодежной конференции с элементами научной школы (к 25-летию аварии на ЧАЭС) «Современные проблемы радиохимии и радиоэкологии»

(Москва, 2011), III Всероссийском симпозиуме «Разделение и концентрирование в аналитической химии и радиохимии», (Краснодар, 2011), VII Международном симпозиуме по технецию и рению (Москва, 2011), VIII Российской ежегодной конференции молодых научных сотрудников и аспирантов «Физико-химия и технология неорганических материалов» (Москва, 2011), Международной конференции по химической технологии ХТ'12 (Москва, 2012).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 13 печатных работ, в том числе 2 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, выводов, библиографического списка. Содержание диссертации изложено на 104 страницах, включая 29 рисунков, 12 таблиц и библиографию из 107 наименований.

Содержание работы

Глава 1. Обзор литературы. Описано состояние вольфрама, молибдена и урана в водных растворах. Обобщены данные по различным методам извлечения металлов с применением ионогенных полиэлектролитов. Сведения по использованию полиэлектролитов, в последнее время выпускаемых в промышленном масштабе, для извлечения микроколичеств вольфрама, молибдена и урана методами КОУФ отсутствуют.

Глава 2. Методическая часть. Определение вольфрама, молибдена и урана в растворах осуществляли фотоколориметрическим, а также атомно-абсорбционным методами; полиэлектролитов – фотоколориметрическим. Значения pH раствора измеряли с помощью потенциометра «Иономер универсальный ЭВ-74», а также иономера фирмы «Mettler Toledo». Определение размера частиц осуществляли с использованием анализатора частиц Nanotrac Ultra 253. Значения электрокинетического потенциала измеряли с помощью лазерного анализатора Zetasizer Nano ZS (Malvern). Для обработки данных применяли программы «Origin» и Microsoft «Excel».

В работе использовали следующие водорастворимые полиэлектролиты, выпускаемые в промышленном масштабе:

- полиэлектролиты с высокой катионной активностью и большой молекулярной массой HengFloc 88010, HengFloc 87410 (Китай);
- катионный полиэлектролит Praestol 658 на основе сополимеров акриламида с повышенным содержанием катионного сомономера, содержащий группы четвертичного аммониевого основания (фирма Degussa, Германия);
- полиэлектролит HengFloc 64826 (Китай) с высокой анионной активностью и ультравысокой молекулярной массой;
- полиэлектролит Praestol 2530 со средней анионной активностью при молекулярной массе 14 млн.

Метод комплексообразования-ультрафильтрации основан на образовании комплексного соединения водорастворимого полимера с ионом металла и ультрафильтрации его через мембрану. При пропускании высокомолекулярного комплекса через ультрафильтр он задерживается им и, тем самым, концентрируется в исходном растворе. Низкомолекулярный растворитель проходит через мембрану.

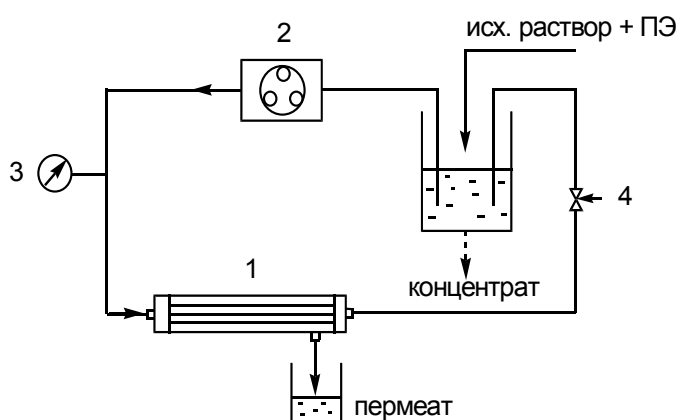


Рис. 1. Принципиальная схема ультрафильтрационной установки:

- 1 - мембранный модуль;
- 2 - перистальтический насос;
- 3 - манометр; 4 – вентиль.

Для извлечения ионов металла методом КОУФ применяли лабораторную установку (рис. 1), основным элементом которой является ультрафильтрационный аппарат с мембранами, выполненными в виде полых волокон из полисульфона (номинальная отсекаемая молекулярная масса растворенных веществ – 20 тыс. ат. ед.)

Глава 3. Экспериментальная часть.

Разработка методики определения массовой доли анионного ПЭ Praestol 2530 в водных растворах. Методика фотометрического определения анионного ПЭ марки Praestol 2530 основана на использовании водного раствора метиленового синего. Разработанная методика позволяет проводить измерения массового содержания ПЭ в интервале 10 - 50 мг. Установлено, что присутствие урана не мешает определению полиэлектролита Praestol 2530 в минерализованных растворах.

Ультрафильтрационное концентрирование вольфрама из разбавленных растворов с использованием катионных полиэлектролитов. Предварительно была изучена агрегативная устойчивость изучаемых катионных ПЭ в системах, содержащих соль вольфрама (молибдена) с концентрацией 0,3 ммоль/дм³ по металлу, в зависимости от величины рН раствора. Показано, что независимо от типа металла растворы устойчивы в интервале рН 6-12. При уменьшении рН (до 1) выпадает белый хлопьевидный осадок. С использованием анализатора Nanotrac Ultra 253 был определен размер частиц образующихся агрегатов. Он превысил 90 нм при осаждении в системе ПЭ Praestol 658 - вольфрам и в системе ПЭ Praestol 658 - молибден. Измеренный с помощью лазерного анализатора Zetasizer Nano ZS электрокинетический потенциал для системы Praestol 658 - молибден имеет отрицательное значение (– 16,3 мВ).

В работе изучена селективность полисульфоновой мембраны по вольфраму от концентрации катионных полиэлектролитов (рис. 2).

Из характера кривых (рис. 2) видно, что селективность полисульфоновой мембраны по вольфраму, постепенно возрастая с ростом концентрации ПЭ в растворе, достигает максимального значения. При концентрации ПЭ 0,003 % мас. увеличение селективности наблюдается в соответствии с рядом катионных полиэлектролитов Praestol 658 → HengFloc 88010 → HengFloc 87410. При этом селективность составляет 88,1; 77,3 и 72,7 % для этих ПЭ, соответственно. В присутствии проявляющего наибольшую селективность ПЭ Praestol 658

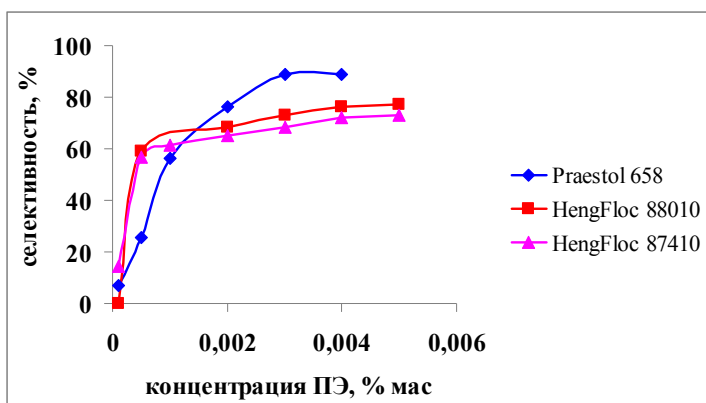


Рис. 2. Влияние концентрации катионных ПАВ на селективность мембраны по вольфраму

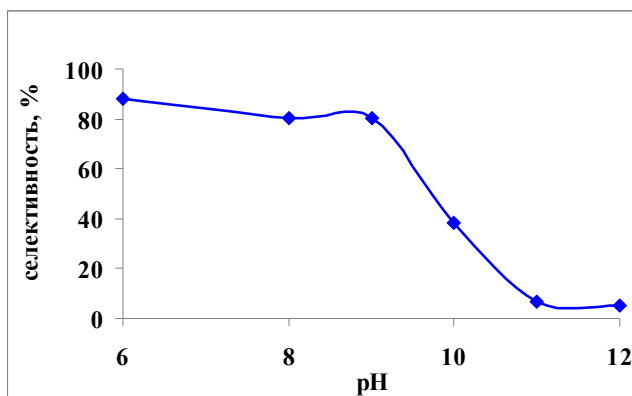
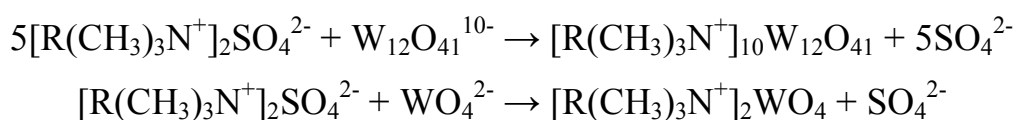


Рис. 3. Влияние pH раствора на селективность мембраны по вольфраму

селективность согласуется с рядом: $\text{NO}_3^- < \text{Cl}^- < \text{HCO}_3^- < \text{SO}_4^{2-}$.

Ультрафильтрационное концентрирование молибдена из разбавленных растворов с использованием катионных полиэлектролитов.

Селективность полисульфоновой мембраны по молибдену зависит от концентрации катионных полиэлектролитов (рис. 4). Максимальная селективность по молибдену составляет 88,8 % при концентрации ПАВ Praestol 658 0,003 % мас.; 77,1 % при концентрации ПАВ HengFloc 88010 0,005 % мас. и 73,2 % при концентрации ПАВ HengFloc 87410 0,005 % мас. (рис. 4).

(0,003 % мас.) изучено влияние pH на извлечение вольфрама (рис. 3). Установлено, что ультрафильтрация эффективна в диапазоне значений pH 6 – 9.

Взаимодействие катионных ПАВ с вольфрамсодержащими анионами предположительно может описываться следующей реакцией:

В природных водах наблюдается наличие сульфат-, нитрат-, хлорид- и гидрокарбонат-ионов. При увеличении концентрации анионов минеральных кислот в системе ПАВ Praestol 658 – вольфрам – анион селективность мембраны по вольфраму закономерно снижается. При этом влияние анионов на

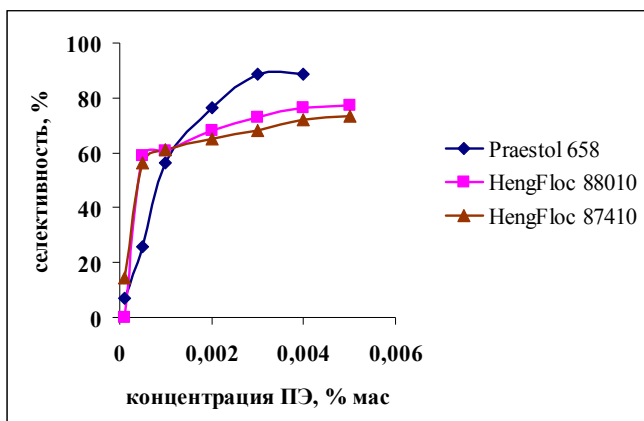


Рис. 4. Влияние концентрации катионных ПАВ на селективность мембраны по молибдену

В интервале pH от 6,0 до 9,0 селективность мембраны при использовании ПАВ Praestol 658 (0,003 % мас.) составляет не менее 80%.

Влияние солевого состава раствора на селективность мембраны по молибдену в присутствии этого полиэлектролита отражают кривые (рис. 5). Увеличение селективности

происходит в соответствии с рядом: $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$. Предположительно взаимодействие молибденсодержащих анионов с катионными ПАВ может описываться реакциями:

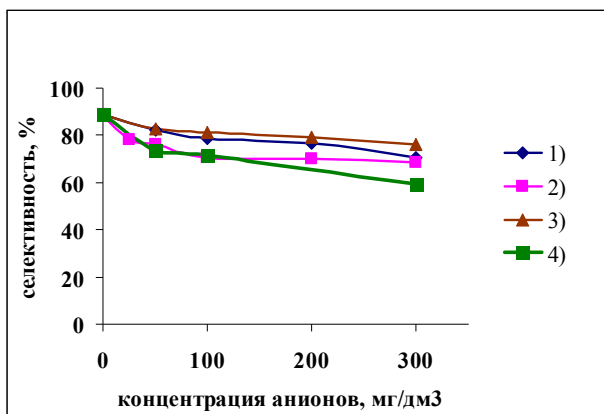
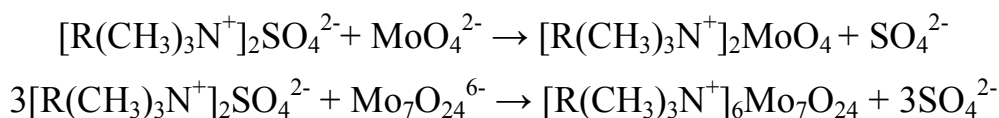


Рис. 5. Влияние концентрации анионов на селективность мембраны по молибдену в присутствии ПАВ Praestol 658: 1) хлорид-, 2) сульфат-, 3) нитрат-, 4) гидрокарбонат-ион

Для ультрафильтрационного извлечения вольфрама и молибдена из минерализованных растворов разработаны принципиальные технологические схемы, включающие в качестве основных операций КОУФ и электрохимическую регенерацию ПАВ.

Ультрафильтрация урана из разбавленных растворов с использованием анионных полиэлектролитов.

Зависимость селективности мембраны по урану от концентрации анионных полиэлектролитов Praestol 2530 и HengFloc 64826 представлена на рис. 6. По данным зависимостей определена

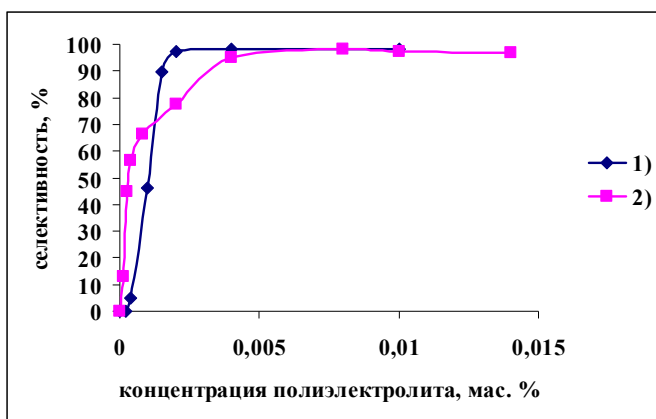
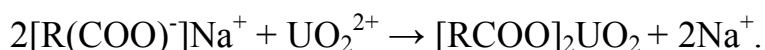


Рис. 6. Влияние концентрации катионных ПЭ на селективность мембраны по урану при использовании ПЭ: 1 – Praestol 2530, 2 – HengFloc 64826

минимальная концентрация ПЭ, при которой величина селективности составляет не менее 90 %. Селективность мембраны по урану при использовании ПЭ Praestol 2530 с концентрацией 0,004 % достигает 95,2 %, при применении ПЭ HengFloc 64826 с концентрацией 0,002 % – 98,1 %. Предположительно взаимодействие анионных ПЭ с ураном можно описать реакцией:



Изучены характеристики процесса ультрафильтрации урана с использованием анионных полиэлектrolитов в широком диапазоне pH (рис. 7).

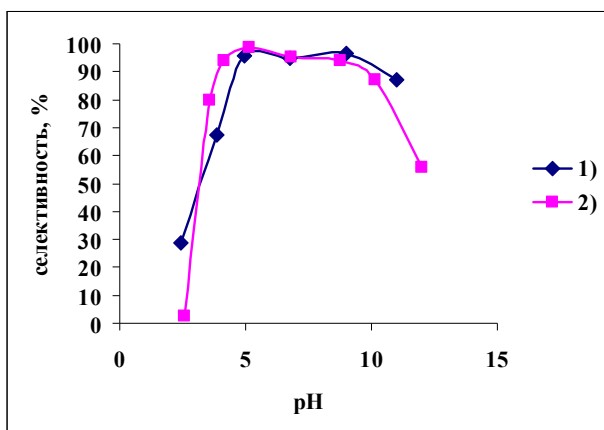


Рис. 7. Влияние pH раствора на селективность мембраны по урану при использовании анионных ПЭ: 1 – Praestol 2530, 2 – HengFloc 64826

Установлено, что наиболее эффективное связывание урана происходит в интервале pH от 4,0 до 9. Селективность мембраны по урану не менее 90 % наблюдается в интервале pH 5 ÷ 9 при использовании ПЭ Praestol 2530 и в интервале pH 4 ÷ 9 при использовании ПЭ HengFloc 64826. Уменьшение величины селективности мембраны по урану может быть связано с изменением

формы нахождения ПЭ в растворе в области низких и высоких значений pH.

Влияние катионов и анионов, присутствующих в природных водах, на селективность мембраны по урану (рис. 8, 9) изучали при концентрации ПЭ

Praestol 2530 0,004 % и ПЭ HengFloc 64826 - 0,002%.

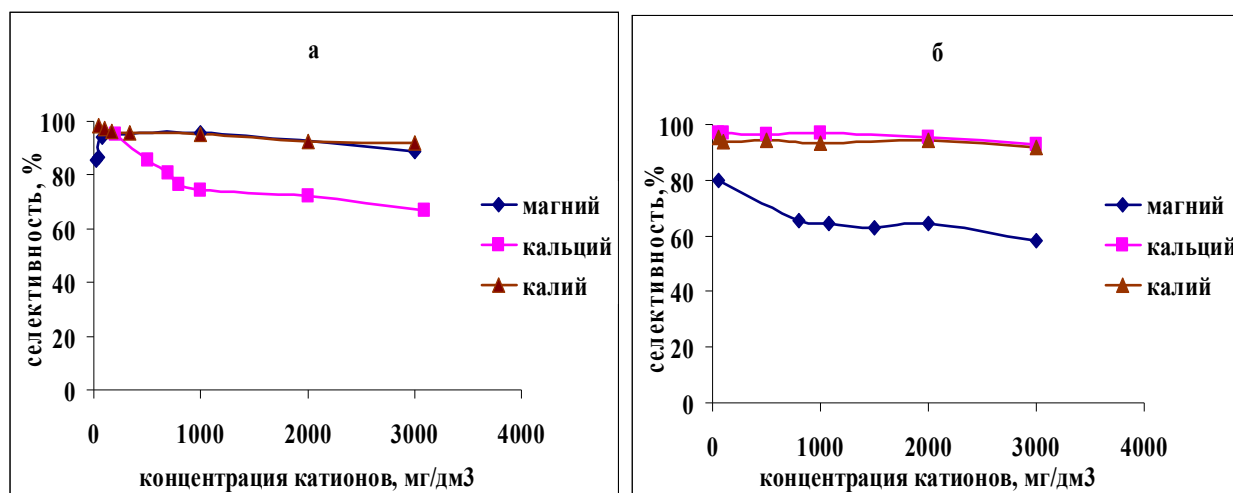


Рис.8. Влияние концентрации катионов на селективность мембраны по урану в присутствии ПЭ Praestol 2530 (а) и ПЭ HengFloc 64826 (б)

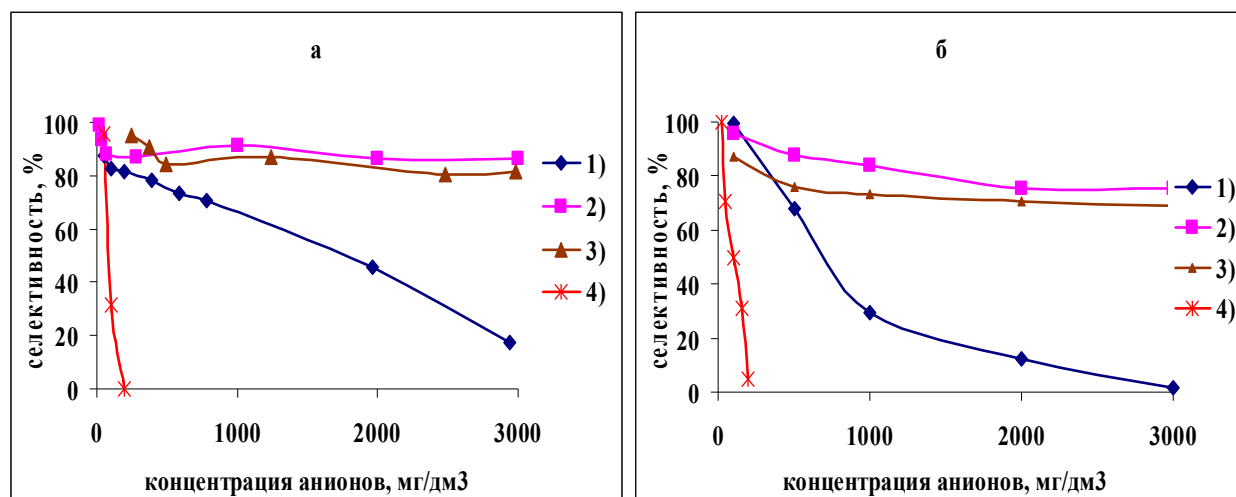


Рис. 9. Влияние концентрации анионов на селективность мембраны по урану в присутствии ПЭ Praestol 2530 (а) и ПЭ HengFloc 64826 (б): 1) сульфат-, 2) хлорид-, 3) нитрат-, 4) гидрокарбонат-ион.

Увеличение концентрации катионов калия, кальция и магния приводит к незначительному снижению селективности мембраны по урану в присутствии обоих анионных ПЭ (рис. 8). Наибольшее отрицательное влияние на селективность мембраны по урану оказывает содержание бикарбонат-ионов.

При увеличении концентрации бикарбонат-ионов до 200-250 мг/л селективность мембраны по урану падает до нуля (рис. 9). По-видимому, в рабочей области pH образуются прочные комплексные анионы: $(\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2)^{2-}$, $(\text{UO}_2)_2\text{CO}_3(\text{OH})_3^-$, $(\text{UO}_2)_3(\text{CO}_3)_6^{6-}$, $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$, не извлекаемые анионными полиэлектролитами. Максимальное отрицательное влияние гидрокарбонат-ионов на селективность мембраны по урану можно объяснить наиболее высоким значением константы комплексообразования с ним уранил-иона ($2 \cdot 10^{18}$) по отношению к константам с другими анионами.

Одним из решающих факторов повышения эффективности и рентабельности метода комплексообразовательной ультрафильтрации является возможность регенерации полиэлектролита. Регенерацию растворов ПЭ Praestol 2530 (0,004 %) и полиэлектролита HengFloc 64826 (0,002 %) проводили реагентным методом с использованием бикарбоната натрия, добавление которого приводит к разрушению комплекса урана с полиэлектролитом (рис. 9). В работе была соблюдена следующая последовательность регенерации полиэлектролита: отмывка дистиллированной водой через ультрафильтр; добавление раствора бикарбоната натрия для создания в ретентате его концентрации 250 мг/л; ультрафильтрационное разделение карбонатного комплекса урана и полиэлектролита.

В результате полиэлектролиты Praestol 2530 и HengFloc 64826 были полностью регенерированы. Изучена возможность многократного использования полиэлектролитов Praestol 2530 и HengFloc 64826 в циклах извлечения – регенерации. В результате проведения трех циклов извлечения-регенерации селективность мембраны по урану, как видно из таблицы, меняется незначительно (на 8,9 % и 13,9 %, соответственно).

Ультрафильтрационное извлечение урана из минерализованных растворов, моделирующих рудничные воды. Была исследована возможность селективного концентрирования урана на ультрафильтрационной установке с полисульфоновыми мембранами из раствора, моделирующего рудничные воды.

Таблица.

Результаты циклических испытаний ультрафильтрационного извлечения урана с использованием анионных полиэлектролитов

| Номер цикла | 1 | 2 | 3 |
|-------------------------------|------|------|------|
| Полиэлектролит Praestol 2530 | | | |
| Селективность, % | 95,1 | 90,8 | 86,2 |
| Полиэлектролит HengFloc 64826 | | | |
| Селективность, % | 97,3 | 92,1 | 83,4 |

Состав модельного раствора представлен ниже:

| Ион | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Cl ⁻ | HCO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | UO ₂ ²⁺ | PH |
|---------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----|
| С, мг/л | 191,5 | 128 | 340 | 70 | 512 | 0,8 | 6,7 |

В модельный раствор добавляли анионный полиэлектролит Praestol 2530 до его массовой концентрации 0,004 %. Селективность по урану достигает 78 % за 1 цикл процесса КОУФ.

На основании полученных данных разработана принципиальная технологическая схема извлечения урана из рудничных вод методом КОУФ (рис. 10). К очищенным от взвесей рудничным водам добавляют анионный ПЭ Praestol 2530 до его концентрации 0,004 %. Раствор подвергают ультрафильтрации с коэффициентом уменьшения объема 20. Образующийся фильтрат направляют на вторую стадию КОУФ. Концентрат, содержащий растворенные комплексы ПЭ с ураном, поступает на элюирование урана путем добавления раствора бикарбоната натрия (250 мг/л). Полиэлектролит после элюирования отмывают дистиллированной водой и вновь используют для извлечения урана. Фильтрат после второй стадии комплексообразовательной ультрафильтрации с таким же, как и на первой стадии, коэффициентом уменьшения объема направляют на стадию элюирования урана, а ПЭ после отмывки возвращают в цикл КОУФ.

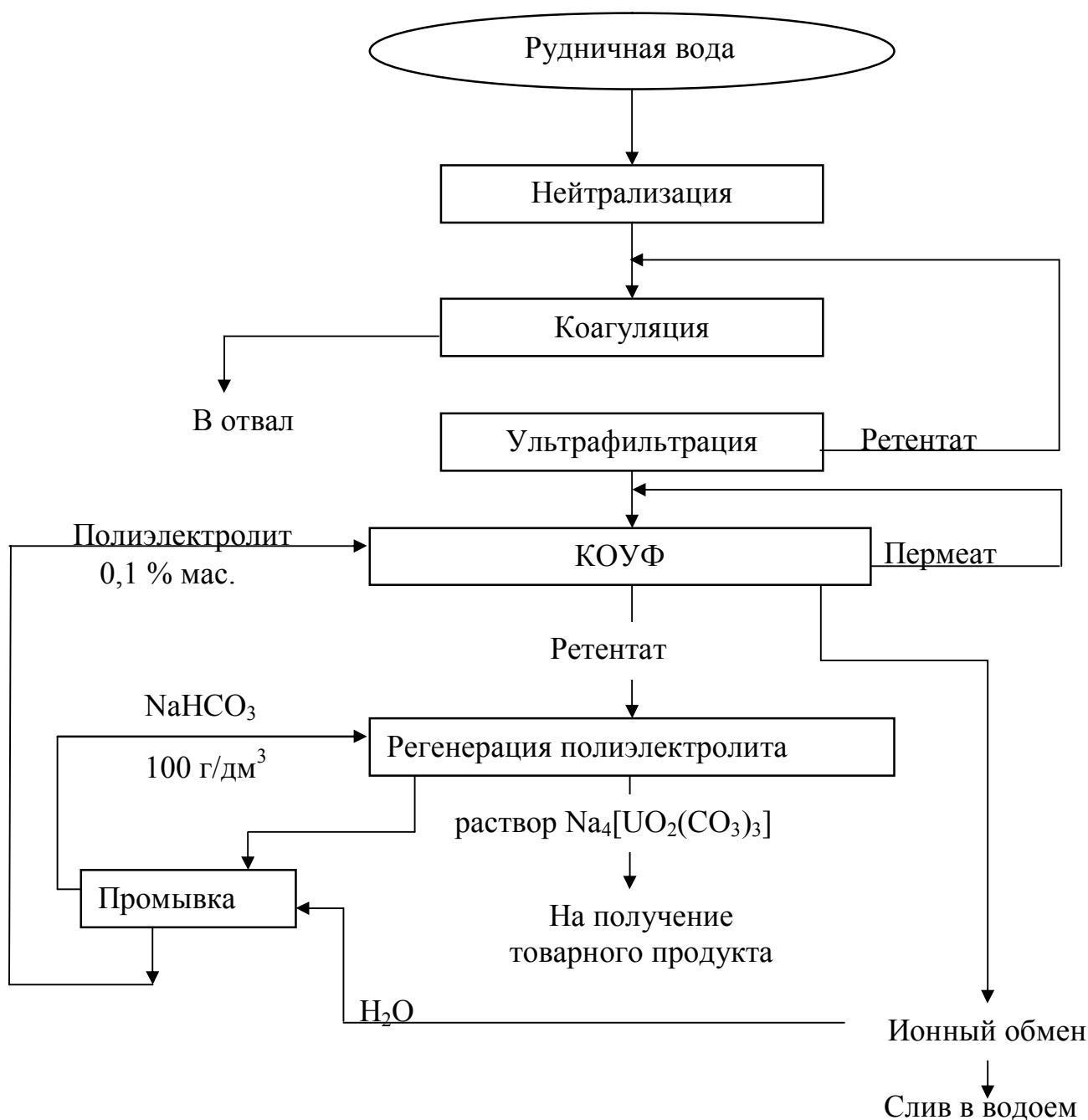


Рис. 10. Принципиальная технологическая схема ультрафильтрационного извлечения урана из рудничных вод

Проведена технико-экономическая оценка извлечения урана из рудничных вод методом двухступенчатой ультрафильтрации с использованием анионного ПЭ Praestol 2530. При усредненной производительности по рудничным водам $1500 \text{ м}^3/\text{сутки}$, концентрации урана $0,8 \text{ г/м}^3$, содержании ПЭ $0,004 \text{ \% мас.}$ и селективности мембраны по урану $95,6 \text{ \%}$, обеспечивающей содержание урана на уровне ПДК в технической воде ($0,044 \text{ мг/дм}^3$),

количество получаемого октаоксида триурана составит 493,8 кг/год. Ожидаемый экономический эффект - 921,5 тыс. руб./год. При этом срок окупаемости ультрафильтрационной установки - 5,3 года.

Выводы

1. Систематическим изучением поведения вольфрама, молибдена и урана при ультрафильтрации через полупроницаемые полисульфоновые мембраны впервые показана возможность концентрирования вольфрама и молибдена в присутствии катионных полиэлектролитов HengFloc 88010, HengFloc 87410 (Китай) и Praestol 658 (Германия); урана - в присутствии анионных полиэлектролитов HengFloc 64826 и Praestol 2530.
2. Установлена оптимальная концентрация катионных полиэлектролитов при ультрафильтрации вольфрама и молибдена из водных растворов, равная 0,003 % мас. Показано, что максимальная селективность полисульфоновой мембраны при этой концентрации увеличивается в ряду полиэлектролитов: HengFloc 87410 < HengFloc 88010 < Praestol 658.
3. Изучена ультрафильтрация вольфрама и молибдена в присутствии ПЭ Praestol 658 (0,003 % мас.) при pH 6 ÷ 12. Установлено, что селективность мембраны по каждому из этих металлов составляет не менее 80 % в диапазоне значений pH 6 ÷ 9 и уменьшается в ряду анионов: $\text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$.
4. Селективность полисульфоновой мембраны по урану составила 95,2 % и 98,1 % при использовании ПЭ Praestol 2530 с концентрацией 0,04 % и ПЭ HengFloc 64826 с концентрацией 0,02 %, соответственно.
5. Установлено, что селективность мембраны по урану при использовании анионных полиэлектролитов Praestol 2530 и HengFloc 64826 уменьшается в ряду анионов: $\text{NO}_3^- \sim \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$
6. Изучено влияние pH раствора на селективность мембраны по урану. Показано, что селективность мембраны по урану не менее 90 % наблюдается

в интервале pH 5 ÷ 9 при использовании Praestol 2530 и в интервале pH 4 ÷ 9 при использовании HengFloc 64826.

7. Разработан метод реагентной регенерации полиэлектролитов Praestol 2530 и HengFloc 64826 при извлечении урана методом КОУФ, основанный на элюировании урана раствором гидрокарбоната натрия.
8. Разработана принципиальная технологическая схема мембранного извлечения урана из рудничных вод, обеспечивающая достижение степени извлечения урана 95,6 % и предельно-допустимую его концентрацию для технической воды.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Абдрахманов Т.Г., Трошкина И.Д., Потапова К.И., Майборода А.Б. Комплексообразовательная ультрафильтрация урана из минерализованных растворов // Сорбционные и хроматографические процессы. 2011. Т. 11. Вып. 5. С. 626-632.
2. Трошкина И.Д., Абдрахманов И.Г., Шиляев А.В., Майборода А.Б. Рений в нетрадиционном сырье: распределение и возможность извлечения // Разведка и охрана недр. 2011. № 6. С. 87-90.
3. Трошкина И.Д., Смирнов Н.С., Майборода А.Б., Абдрахманов Т.Г. Определение флокулянта ВПК-402 в растворах сложного солевого состава // Рефераты докладов II Международного форума «Аналитика и Аналитики: в 2 т. / Воронеж. гос. технол. акад. - Воронеж : ВГТА, 2008. Т. 1. 352 с. С. 287.
4. Troshkina I.D., Mayboroda A.B., Abdrakhmanov T.G. Rhenium and uranium recovery using ultrafiltration technique // International scientific conference "Membrane and Sorption Processes and Technologies" (Kyiv, April 20-22, 2010). Abstracts. – Kyiv: NaUKMA, 2010. 132 p. P. 64.
5. Трошкина И.Д., Майборода А.Б., Абдрахманов Т.Г. Ультрафильтрационное извлечение урана с использованием анионных полиэлектролитов // Четвертая Российская школа по радиохимии и ядерным технологиям: Тезисы

стендовых докладов. Озерск, 6-10 сентября 2010 г. – Озерск: РИЦ ВРБ ФГУП «ПО «Маяк», 2010. 192 с. С. 36.

6. Шиляев А.В., Абдрахманов Т.Г., Эй Мин, Трошкина И.Д. Извлечение урана из минерализованных вод //IX научно-практическая конференция «Дни науки – 2011. Ядерно-промышленный комплекс Урала»: Т. 1. Тезисы докладов. Озерск, 27-28 апреля 2011 г. – Озерск: ОТИ НИЯУ МИФИ, ФГУП «ПО «Маяк», 2011. 192 с. С. 113-114.
7. Трошкина И.Д., Абдрахманов Т. Г., Шиляев А.В., Майборода А.Б. Рений в нетрадиционном сырье: распределение и возможность извлечения // Редкие металлы: минерально-сырьевая база, освоение, производство, потребление. Тезисы докл. Всероссийской научно-практической конференции. – М.: ИМГРЭ, 2011. 204 с. С. 168-169.
8. Абдрахманов Т.Г., Фофанова А.А., Трошкина И.Д. Влияние анионов на ультрафильтрационное извлечение урана и вольфрама в присутствии полиэлектролитов // Современные проблемы радиохимии и радиоэкологии: Материалы Молодежной конференции с элементами научной школы (к 25-летию) аварии на ЧАЭС), 7 - 8 июня 2011 г., г. Москва – Сергиев Посад: ООО «ВДВ»ПАК», 2011. 72 с. С. 32.
9. Troshkina I.D., Abdrakhmanov T.G., Smirnov N.A., Mayboroda A.B., Potapova K.I., Chekmarev A.M. Ultrafiltration separation of rhenium and uranium using nitrogen-containing polyelectrolytes // 7th Intern. Symposium on Technetium and Rhenium – Science and Utilization. Book of Proceedings. July 4-8, 2011, Moscow, Russia (Eds. K.E. German, B.F. Myasoedov, G.E. Kodina, A. Ya. Maruk, I.D. Troshkina). Moscow: Publishing House GRANITZA, 2011. 460 p. P. 285-287.
10. Troshkina I.D., Abdrakhmanov T.G., Smirnov N.A., Mayboroda A.B., Potapova K.I., Chekmarev A.M. Ultrafiltration separation of rhenium and uranium using nitrogen-containing polyelectrolytes // 7th International Symposium on Technetium and Rhenium – Science and Utilization. Book of Abstracts. July 4-8,

2011, Moscow, Russia (Eds K.E. German, B.F. Myasoedov, G.E. Kodina, I.D. Troshkina, T. Sekine). Publishing House GRANITZA, Moscow, 2011. 204 p. P. 123.

11. Абдрахманов Т.Г., Трошкина И.Д. Ультрафильтрационное концентрирование урана и вольфрама в присутствии полиэлектролитов // III Всероссийский симпозиум «Разделение и концентрирование в аналитической химии и радиохимии», Краснодар, 2-8 октября 2011 г. 314 с. С. 156.
12. Абдрахманов Т.Г. Ультрафильтрационное извлечение вольфрама в присутствии катионных полиэлектролитов // VIII Российская ежегодная конференция молодых научных сотрудников и аспирантов «Физико-химия и технология неорганических материалов». Москва, 15 - 18 ноября 2011 г. / Сборник материалов. - М. : ИМЕТ РАН, 2011. 689 с. С. 492.
13. Трошкина И.Д., Абдрахманов Т. Г., Фофанова А. В. Ультрафильтрационное извлечение молибдена в присутствии катионных полиэлектролитов // IV Международная конференция по химической технологии ХТ'12, 18-23 марта 2012, Москва, 2012. Т. 4. 319 с. С. 220-221.