

УДК 628.161.2:546.16+66.081.6

СУМІСНЕ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД АЛЮМІНІЮ І ФТОРУ ДЕРЕВНОЮ МЕМБРАНОЮ

Т. Ю. ДУЛЬНЕВА, кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник,

Л. А. ДЕРЕМЕШКО, провідний інженер,

Д. Д. КУЧЕРУК, доктор хімічних наук, провідний науковий співробітник,

В. В. ГОНЧАРУК, академік НАН України

Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України

E-mail: t_dulneva@ukr.net

<https://doi.org/10.31548/bio2018.03.013>

Показано високу ефективність процесу очищення води від гідроксидів $Al(III)$ з адсорбованими іонами F^- мікрофільтраційною трубчастою деревною мембраною. Досліджено основні закономірності цього процесу та визначено його технологічні параметри.

Встановлено, що така висока ефективність обумовлена комбінованою дією процесів адсорбції іонів F^- гідроксидів $Al(III)$ та подальшою їх затримкою деревною мембраною. При цьому на поверхні деревної мембрани формувалася додатковий селективний бар'єр у вигляді самоутворюючої динамічної мембрани із гідроксидів $Al(III)$ з адсорбованими іонами F^- , що збільшувало ефективність процесу очищення від них води.

Запропоновано використовувати таку мембрану для сумісного очищення води від алюмінію і фтору до норм ГДК іонів $Al(III)$ і F^- у питній воді при вихідних концентраціях F^- до $10,0 \text{ мг/дм}^3$ і Al^{3+} до $30,0 \text{ мг/дм}^3$, рНвих. 6,5 – 7,2, робочому тиску $1,0 \text{ МПа}$ і коефіцієнті відбору пермеату до 70 %.

Ключові слова: слова: деревна мембрана, мікрофільтрація, іони F^- , гідроксиди $Al(III)$, динамічна мембрана

Актуальність. Проблема забруднення поверхневих вод одночасно іонами алюмінію та фтору в результаті скидання промислових стічних вод має важливе регіональне значення поблизу алюмінієвих і криолітових виробництв [1]. Як відомо [1], гексафтороалюмінат натрію $Na_3[AlF_6]$ (криоліт) широко використовується в процесі електролітичного отримання алюмінію. У поверхневих водах поблизу алюмінієвих і криолітових виробництв концентрація іонів F^- становить у середньому $1,5\text{--}8,3 \text{ мг/дм}^3$ [1], а іонів $Al(III)$ – від 2,5 до 121 мг/дм^3 [2]. Згідно з вимогами Національного стандарту України

ДСТУ 7525:2014 гранично-допустима концентрація (ГДК) іонів F^- у питній воді повинна знаходитися в межах 0,7 – 1,5, а Al^{3+} – $0,2 \text{ мг/дм}^3$ [3]. Слід зазначити, що відхилення від норми ГДК іонів F^- у питній воді як в одну, так і в іншу сторону негативно впливає на здоров'я людини [4].

Хоча на цих виробництвах ведуться роботи з очищення стічних вод, проте існуючими методами не завжди вдається одночасно досягти ГДК іонів алюмінію та фтору на скид у водойми. Тому при використанні поблизу зазначених виробництв поверхневих вод для питного водопоста-



чання виникає необхідність в їх доочищенні від цих іонів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для знефторення води найчастіше застосовують реагентні методи, зокрема, коагуляцію [5]. Проте, цей метод не завжди забезпечує залишкову концентрацію іонів F^- на рівні ГДК при їх вмісті у воді 10,0 – 12,0 мг/дм³. До найбільш поширених методів очищення води від іонів Al^{3+} відносяться іонний обмін і дистиляція, але вони є дорогими [6].

Загальносвітові тенденції в області очищення води свідчать, що найбільш затребуваними є безреагентні методи, зокрема, мембранні [7,8]. Як правило, мембранні методи реалізуються за допомогою полімерних мембран, які є дорогими і не завжди ефективними. Тому останнім часом велика увага приділяється розробці мембран з природних матеріалів [9], у тому числі й деревини [10,11]. Однак, відомості про використання таких матеріалів для очищення води від алюмофторидів у літературі відсутні.

Деревина може служити альтернативою існуючим мембранним матеріалами, оскільки є недорогою, легкодоступною, екологічно чистою і ефективною сировиною, яка після закінчення строку експлуатації легко утилізується. Як відомо, розмір пор деревини відповідає розміру пор мікрофільтраційних мембран [10].

Мета даної роботи полягала в дослідженні ефективності процесу сумісного очищення води від алюмінію і фтору мікрофільтраційною трубчастою деревною мембраною.

Матеріали і методи досліджень. Процес сумісного очищення води від алюмінію і фтору проведено на дослідній баромембранній установці в проточно-рециркуляційному режимі [12] з використанням мікрофільтраційної трубчастої деревної мембрани №1. Мембрана мала наступні параметри: робоча довжина - 95

мм, зовнішній і внутрішній діаметри – відповідно 11,0 і 5,0 мм. За експериментальними даними визначені коефіцієнт затримання R (%) іонів F^- та Al^{3+} і питома продуктивність J_v (м³/(м²·год)) мембрани [13]. Після кожного експерименту мембрану регенерували промиванням зворотним потоком дистильованої води, а після 8 – 10-ти фільтраційних циклів – регенераційним розчином. Температура підтримувалася постійною і становила 25,0° С.

Для приготування модельних розчинів використовували солі $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ і $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ з концентрацією відповідно $Al(III)$ 15,0 – 60,0 і 30,0 мг/дм³, а також NaF з концентрацією F^- 2,6 – 10,3 мг/дм³. Аналіз на вміст F^- у вихідних розчинах і очищеній воді (пермеаті) визначали за допомогою фторселективного електрода ЭЛИС-131F та іономіра І-160МІ згідно з методикою [14], а концентрацію Al^{3+} – фотоколориметрично з алюміноном на приладі КФК-2МП відповідно до методики [15].

Результати дослідження та їх обговорення. На рисунку 1, крива 1 показано, що з підвищенням робочого тиску (P) від 0,5 до 1,0 МПа при використанні розчину, що містить $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ і NaF з вихідною концентрацією $Al(III)$ ($C_{вих. Al(III)}$) 30,0 мг/дм³ і F^- ($C_{вих. F^-}$) 10,3 мг/дм³, $pH_{вих.}$ 7,0 і тривалості експерименту (τ) 2,0 год знижувалася концентрація F^- у пермеаті ($C_{п. F^-}$) від 1,45 до 1,09 мг/дм³, що відповідало їх нормі ГДК у питній воді [3]. При цьому концентрація $Al(III)$ у пермеаті ($C_{п. Al(III)}$) була значно менша її ГДК (рис. 1, крива 2), а питома продуктивність J_v мембрани практично лінійно зростала від 0,02 до 0,05 м³/(м²·год) (рис. 1, крива 3). Отримані залежності можна пояснити збільшенням рушійної сили процесу. Подальше підвищення тиску незначно змінювало досліджувані параметри, що, очевидно, викликано усадкою і стабілізацією пористої структури мембрани. Тому в проведених експериментах за робочий прийнято тиск 1,0 МПа.

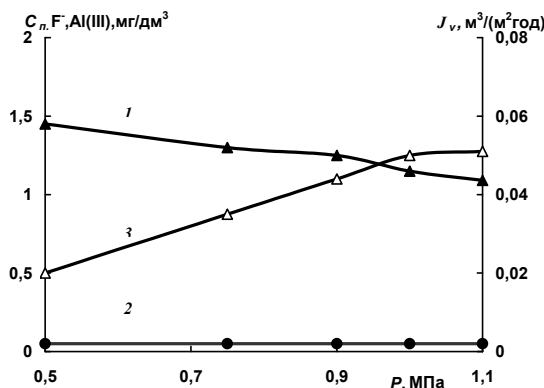


Рис. 1. Вплив робочого тиску (P) на концентрацію F^- (Сп. F^-) (1) і $Al(III)$ (Сп. $Al(III)$) (2) у пермеаті та питому продуктивність (J_v) мембрани (3)

Висока ефективність очищення води від іонів F^- і $Al(III)$ (до норми ГДК у питній воді), що досягнута за цих умов, обумовлена комбінованою дією процесів адсорбції та мікрофільтрації, яка реалізувалася на деревній мембрані. В роботі [16] показано, що в розчинах солей алюмінію при рН 6,5 – 7,2 у результаті гідратації іонів $Al(III)$ утворюється гідроксид алюмінію $Al(OH)_3$, який має високу адсорбційну здатність. Присутні у воді фториди проявляють високу спорідненість до сполук алюмінію, утворюючи з іоном $Al(III)$ стійкі розчинні алюмофторидні комплекси з позитивним зарядом, які завдяки йому адсорбуються на поверхні гідроксиду алюмінію, що забезпечує знефторення води.

Як було уже сказано, у процесі, що досліджувався, одночасно з адсорбцією відбувалося фільтрування розчину крізь мікрофільтраційну деревну мембрану. Ефективність такого фільтрування залежала від розмірів часток гідроксисполук $Al(III)$, які адсорбували F^- . При цьому важливе значення мав вплив додаткового бар'єру з цих часток, що відклалися на поверхні деревної мембрани, тобто мало місце формування так званої самоутворюючої динамічної мембрани.

Як відомо [17], розмір часток гідроксисполук $Al(III)$ залежить від рН розчину, що може впливати на затримуючу здатність мембрани по відношенню до них та на її питому продуктивність. Тому доцільно було вивчити вплив рН вихідного розчину на характеристики комбінованого процесу його знефторення та видалення алюмінію адсорбцією і мікрофільтрацією, який реалізувався на деревній мембрані. Встановлено, що зі збільшенням рН_{вих.} розчину $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ і NaF від 6,0 до 8,0 при $C_{вих. F^-} = 10,3 \text{ мг/дм}^3$, $C_{вих. Al(III)} = 30,0 \text{ мг/дм}^3$, $P = 1,0 \text{ МПа}$ і $\tau = 2,0$ год спочатку повільно, а потім різко знижувалося значення R іонів F^- від 94,4 до 63,7 % (рис. 2-а, крива 1) при підвищенні концентрації F^- ($C_{п. F^-}$) у пермеаті від 0,57 до 3,7 мг/дм³ (рис. 2-б, крива 3). При цьому значення J_v мембрани збільшувалося від 0,04 до 0,06 м³/(м²·год) (рис. 2-а, крива 2). Зниження значення R іонів F^- за цих умов можна пояснити перезарядкою часток гідроксисполук $Al(III)$ і придбанням ними негативного заряду поверхні, в результаті чого зменшувалася їх адсорбційна здатність по відношенню до аніонів F^- . Відомо [5], що ізоелектрична точка гідроксисполук $Al(III)$ знаходиться в інтервалі рН 6,5 – 7,5. При цих значеннях рН ступінь дисоціації гідроксиду алюмінію мінімальна; він знаходиться в ізоелектричному стані і його колоїдні частки або заряджені незначно, або зовсім не мають заряду і тому швидко коагулюють, злипаючись у пластівці. Одночасно з автокоагуляцією колоїдних часток гідроксиду алюмінію відбувається злипання їх з частками колоїдних домішок води. Подвійний електричний шар захищає частки суспензії не тільки від злипання між собою, але не перешкоджає злипанню їх з частками гідроксиду алюмінію, за допомогою якого і відбувається з'єднання різнорідних часток у пластівці. Тому для того, щоб процес коагуляції йшов досить швидко, необхід-

но проводити його поблизу ізоелектричної точки гідроксиду алюмінію [5].

Збільшення значення J_v мембрани у зазначених умовах викликано підвищенням розмірів часток гідроксисполук $Al(III)$ та утворенням на її поверхні з цих часток модифікуючого шару з великим розміром пор. Це сприяло також збільшенню затримуючої здатності мембрани по відношенню до гідроксисполук $Al(III)$ до норми ГДК цих іонів у питній воді ($0,2 \text{ мг/дм}^3$) [4] в інтервалі $pH_{вих.}$ 6,0 – 8,0 (рис. 2-б, крива 4). Враховуючи межі $pH_{вих.}$, при яких досягали значення ГДК іонів F^- і $Al(III)$ у питній воді, можна зробити висновок про доцільність проведення цього процесу при pH 6,5 – 7,2.

З рисунка 2-а (криві 1/2/), видно, що за аналогічних умов при наявності у розчині солі $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ (замість $AlCl_3 \cdot 6H_2O$) досліджувана мембрана мала менші значення R іонів F^- і більші J_v . При цьому значення $C_{п. F^-}$ було вище ГДК іонів F^- у питній воді (рис. 2-б, крива 3/), а $C_{п. Al(III)}$ – нижче ГДК іонів $Al(III)$ у питній воді (рис. 2-б, крива 4/). Отримані залежності, очевидно, обумовлені великим розміром часток гідроксисполук $Al(III)$, що сформовані в роз-

чині $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ [18]. Це сприяло утворенню на поверхні деревної мембрани додаткового затримуючого шару з великим розміром пор.

На рисунку 3, крива 1 показано, що з підвищенням концентрації $Al(III)$ у вихідному розчині $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ від 15,0 до 60,0 мг/дм^3 при $C_{п. F^-} = 10,3 \text{ мг/дм}^3$, $pH_{вих.} = 7,05$, $\tau = 2,0$ год і $P = 1,0$ МПа знижувалося значення $C_{п. F^-}$ від 1,75 до 0,6 мг/дм^3 внаслідок збільшення дози адсорбенту з гідроксисполук $Al(III)$. При цьому зменшувалося значення J_v мембрани від 0,06 до 0,042 (крива 2), що можна пояснити інтенсифікацією процесу закупорюванням пор мембрани гідроксисполукми $Al(III)$ разом з адсорбованими іонами F^- .

Як видно з представленого рисунка, при $C_{п. F^-} = 10,3 \text{ мг/дм}^3$ досягали ГДК іонів F^- у питній воді при концентрації $Al(III)$ 20 – 50 мг/дм^3 . При цьому концентрація іонів $Al(III)$ у пермеаті практично не змінювалася і була менша за норму їх ГДК у питній воді ($0,2 \text{ мг/дм}^3$) (рис. 3, крива 3). Виходячи з отриманих результатів, можна зробити висновок, що очищення води від іонів $Al(III)$ і F^- відбувається найефективніше при співвідношенні $C_{п. F^-} : C_{п. Al(III)} = 1 : 3$.

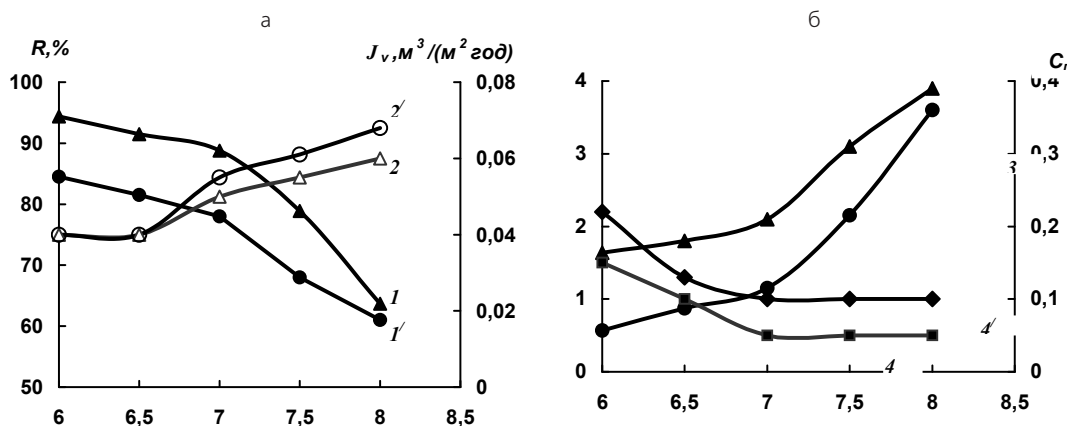


Рис. 2. Залежність R іонів F^- (1,1/ і J_v (2,2/)) мембрани (а), концентрації F^- і $Al(III)$ в пермеаті ($C_{п. F^-}$) (3,3/) і ($C_{п. Al(III)}$) (4,4/) (б) від pH вихідних розчинів NaF з $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ (1-4) і $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ (1'-4/)

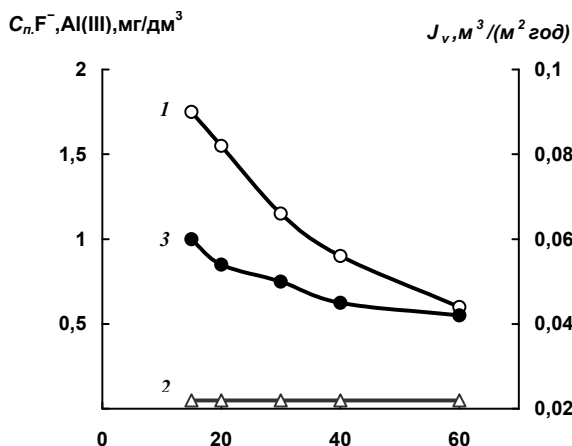


Рис. 3. Значення $C_n.F^-$ (1), $C_n.Al(III)$ (2) і J_v мембрани (3) у залежності від концентрації $Al(III)$ у вихідному розчині $C_{вих}. Al(III)$

Зі збільшенням коефіцієнта відбору k пермеату (відношення величини потоку пермеату до загального потоку вихідного розчину) при різному значенні $C_{вих}. F^-$ (співвідношення $C_{вих}. F^- : C_{вих}. Al(III) = 1 : 3$), $pH_{вих.}$ 7,0 і $P = 1,0$ МПа знижувалось значення R іонів F^- тим більше, чим нижче $C_{вих}. Al(III)$ у розчині а (рис. 4-а, криві 1 – 3). Відповідно збільшувалось значення $C_n.F^-$ (рис. 4-б, криві 1// – 3//).

3//). Результати, що отримані, можна пояснити зменшенням адсорбційної ємності гідроксисполук $Al(III)$. При цьому встановлено, що при співвідношенні $C_{вих}. F^- : C_{вих}. Al(III) = 1 : 3$ не була перевищена верхня межа (1,5 мг/дм³) ГДК іонів F^- у питній воді для усіх досліджуваних у роботі величин $C_{вих}. F^-$ (рис. 4-б, криві 1// – 3//).

Із рисунка 4-а, криві 1/ – 3/ також видно, що зі збільшенням коефіцієнта k , а отже і тривалості поцесу, значення J_v деревної мембрани спочатку зменшувалося, а потім залишалося практично постійним, що свідчило про закінчення формування самоутворюючої динамічної мембрани. Це сприяло зменшенню $C_n.Al(III)$ до норми ГДК іонів $Al(III)$ у питній воді у всьому досліджуваному інтервалі значень k (4-б, криві 1// – 3//). Отже, деревна мембрана мала високу затримуючу здатність стосовно гідроксисполук $Al(III)$ з адсорбованими іонами F^- (до норм ГДК іонів $Al(III)$ і F^- у питній воді) ще на початку цього процесу і для забезпечення його високої ефективності при збільшенні значення k свою селективну роль відігравала у цьому динамічна мембрана.

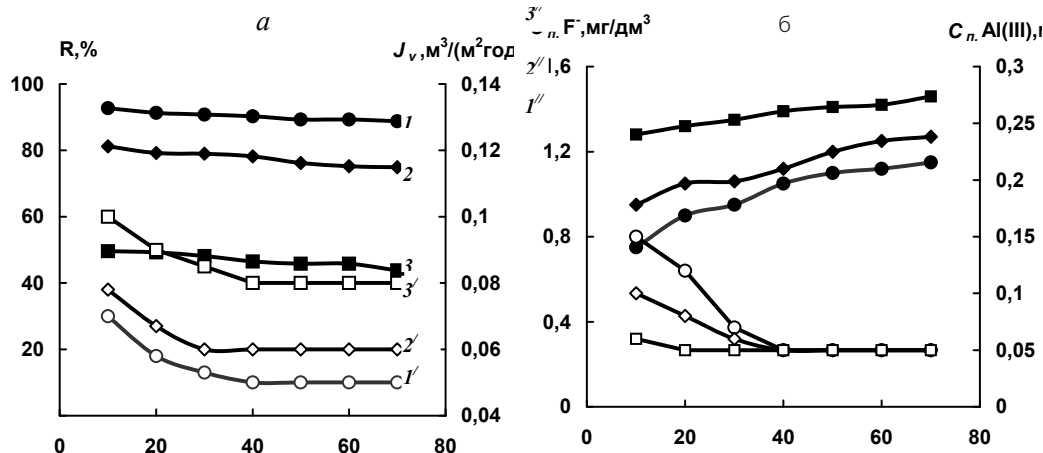


Рис. 4. Вплив коефіцієнта відбору k пермеату на R іонів F^- (1-3), J_v мембрани (1/-3/) (а), $C_n.F^-$ (1// - 3//) і $C_n.Al(III)$ (1'// - 3'//) (б) при співвідношенні концентрації $F^- : Al(III) = 1 : 3$ у вихідному розчині з $C_{вих}. F^-$, мг/дм³: 10,3 (1-1//); 5,05 (2-2//) і 2,6 (3-3//)



Висновки і перспективи. Таким чином, показана висока ефективність процесу сумісного очищення води від алюмінію і фтору мікрофільтраційною трубчастою деревною мембраною. Досліджено основні фізико-хімічні закономірності цього процесу і визначено його технологічні параметри.

Встановлено, що його висока ефективність обумовлена комбінованою дією процесів адсорбції іонів F^- гідроксисполуками $Al(III)$ та подальшою їх затримкою деревною мембраною. При цьому на поверхні деревної мембрани формувався додатковий селективний бар'єр у вигляді

самоутворюючої динамічної мембрани із гідроксисполук $Al(III)$ з адсорбованими іонами F^- , що збільшувало її затримуючу здатність.

Запропоновано використовувати таку мембрану для сумісного очищення води від алюмінію і фтору до норм ГДК іонів $Al(III)$ і F^- у питній воді при $C_{вих. F^-}$ до $10,0 \text{ мг/дм}^3$, $C_{вих. Al(III)}$ до $30,0 \text{ мг/дм}^3$, $pH_{вих.}$ $6,5 - 7,2$, $P - 1,0 \text{ МПа}$ і k до 70% .

У подальшому дослідження будуть спрямовані на поглиблене вивчення даного методу для очищення води від інших неорганічних іонів.

Література

1. Малафеева А.В., Докучаева Ю.А. Соединения фтора – загрязнители поверхностных вод зоны влияния криолитового производства // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 4 (42). – С. 209–211.
2. Шугалей И.В., Гарабаджиу А.В., Илюшин М.А., Судариков А.М. Некоторые аспекты влияния алюминия и его соединений на живые организмы // Экологическая химия. – 2012. – 21, № 3. – С. 172–186.
3. ДСТУ 7525: 2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. – К.: Мінекономрозвитку України, 2014. – 26 с.
4. Коржнев М.М., Кошляков О.Є. Фтор у питних водах України та захворювання, пов'язані з ними. – Полтава: Зірка, 2002. – 354 с.
5. Карелин В.А. Водоподготовка. Физико-химические основы процессов обработки воды. – Томск: Изд. Томского политехнического университета, 2012. – 97 с.
6. Фрог Б.Н., Первов А.Г. Водоподготовка. – М.: Ассоциации строит. вузов, 2014. – 512 с.
7. Первов А.Г. Современные высокоэффективные технологии очистки воды с применением мембран: обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация. – М.: МГСУ, 2009. – 232 с.
8. Перспективы развития фундаментальных и прикладных исследований в области физики, химии и биологии воды / Под ред. В.В. Гончарука. – К.: Наукова думка, 2011. – 408 с.
9. Goncharuk V.V., Kucheruk D.D., Balakina M.N., Dulneva T.Yu. Water treatment by baromembranes methods based on ceramic membranes // Journal of Water Chemistry and Technology. – 2009. – Vol. 31, N 6. P. 396–404.
10. Sens M.L., Emmendoerfer M.L., Muller L.C. Water ltration through wood with helical cross-ow // Desalination and Water Treatment. – 2015. – Vol. 53. – P. 15–26.
11. Boutilier Michael S.H., Lee J., Chambers V., Venkatesh V., Karnik R. Water Filtration Using Plant Xylem // Plos One. – 2014. – Vol. 9. – P. 1–8. – Режим доступу до журн.: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0089934>.
12. Dulneva T.Yu., Titoruk G.N., Kucheruk D.D., Goncharuk V.V. Cleaning of waste water from direct dyes by the ultra- and nanofiltration ceramic membranes // Journal of Water Chemistry and Technology. – 2013. Vol. 35, N 4. P. 165–169.
13. Свитцов, А.А. Введение в мембранную технологию. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 208 с.
14. ГОСТ 4386-89. Вода питьевая. Метод определения массовой концентрации фторидов. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 10 с.
15. ГОСТ 18165-89. Вода питьевая. Метод определения массовой концентрации алюминия. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 8 с.
16. Дидик М.В., Кропачева Т.Н., Ермакова М.Е. Адсорбция фторид-ионов на оксиде алюминия // Вестник Удмуртского университета. Физика. Химия. – 2013. – Вып. 1. – С. 29–34.



17. Кучерук Д.Д. Динамические мембраны из гидроксополимеров алюминия // Химия и технология воды. – 1991. – Т. 13, № 7. – С. 664–669.
18. Пилипенко А.Т., Фалендыш Н.Ф., Пархоменко Е.П. Состояние алюминия в водных растворах // Химия и технология воды. – 1982. – Т. 4, № 2. – С. 135–150.

References

1. Malafeeva, A.V., Dokuchaeva, Ju.A. (2013). Soedineniya flora – zagryazniteli poverhnostnykh vod zony vliyaniya kriolitovogo proizvodstva [Fluorine compounds - pollutants of surface waters of the zone of influence of cryolite production]. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University, 4 (42), 209–211.
2. Shugalej, I.V., Garabadgiu, A.V., Ilushin, M.A., Sudarikov, A.M. (2012). Nekotorye aspekty vliyaniya aluminiya i ego soedinenij na zhyvye organizmy [Some aspects of the effect of aluminum and its compounds on living organisms]. Ecological chemistry, 21 (3), 172–186.
3. DSTU 7525: 2014. (2014). Voda pytna. Vymogy ta metody kontroluvannya yakosti [Water is potable. Requirements and methods of quality control]. Minekonomrozytku Ukrainy, 26.
4. Korzhnev, M.M., Koshyakov, O.E. (2002). Ftor u pytnykh vodah Ukraїni ta zahvorjувannya pov'yazani z nimi [Fluorine in drinking water of Ukraine and diseases associated with them]. Zirka, 354.
5. Karelin, V.A. (2012). Vodopodgotovka. Fiziko-himicheskie osnovy processov obrabotki vody [Water treatment. Physico-chemical basis of water treatment processes]. Tomsk, Russia: Ed. Tomsk Polytechnic University, 97.
6. Frog, B.N., Pervov, A.G. (2014). Vodopodgotovka [Water treatment]. Moscow, Russia: The Association construction universities, 512.
7. Pervov, A.G. (2009). Sovremennye vysokoeffektivnye tekhnologii ochistki vody s primeneniem membran: obratnyy osmos, nanofiltratsiya, ultrafiltratsiya [Modern highly efficient water treatment technologies using membranes: reverse osmosis, nanofiltration, ultrafiltration]. Moscow, Russia: MGSU, 232.
8. Goncharuk, V.V. ed. (2011). Perspektivy razvitiya fundamentalnykh i prikladnykh issledovaniy v oblasti fiziki, khimii i biologii vody [Prospects for the development of fundamental and applied research in the field of physics, chemistry and biology of water]. Naukova dumka, 408.
9. Goncharuk, V.V., Kucheruk, D.D., Balakina, M.N., Dulneva, T.Yu. (2009). Ochistka vody baromembrannymi metodami na keramicheskikh membranakh [Water treatment by baromembranes methods based on ceramic membranes]. Journal of Water Chemistry and Technology, 31 (6), 396–404.
10. Sens, M.L., Emmendoerfer, M.L., Muller, L.C. (2015). Water filtration through wood with helical cross-flow. Desalination and Water Treatment, 53. 15–26.
11. Boutilier Michael, S.H., Lee, J., Chambers, V., Venkatesh, V., Karnik, R. (2014). Water Filtration Using Plant Xylem. Plos One, 9, 1–8. : <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0089934>.
12. Dulneva, T.Yu., Titoruk, G.N., Kucheruk, D.D., Goncharuk, V.V. (2013). Ochistka stochnykh vod ot pryamykh krasiteley ultra- i nanofiltratsionnymi keramicheskimi membranami [Cleaning of waste water from direct dyes by the ultra- and nanofiltration ceramic membranes]. Journal of Water Chemistry and Technology, 35 (4), 165–169.
13. Svittsov, A.A. (2007). Vvedenie v membrannuyu tekhnologiyu [Introduction to Membrane Technology]. Moscow, Russia: DeLi print, 208.
14. GOST 4386-89. (2002). Voda pitevaya. Metod opredeleniya massovoy kontsentratsii fluoridov. [GOST 4386-89. The drinking water. Method for determining the mass concentration of fluorides]. Moscow, Russia: Publishing house of standards, 10.
15. GOST 18165-89. (1990). Voda pitevaya. Metod opredeleniya massovoy kontsentratsii alyuminiya [GOST 18165-89. The drinking water. Method for determining the mass concentration of aluminum]. Moscow, Russia: Publishing house of standards, 8.
16. Didyk, M.V., Kropacheva, T.N., Ermakova, M.E. (2013). Adsorbtsiya fluorid-ionov na okside alyuminiya [Adsorption of fluoride ions on aluminum oxide]. Bulletin of the Udmurt University. Physics. Chemistry, 1, 29–34.
17. Kucheruk, D.D. (1991). Dinamicheskie membrany iz gidroksopolimerov alyuminiya [Dynamic membranes of aluminum hydroxopolymers]. Journal of Water Chemistry and Technology, 13 (7), 664–669.
18. Pilipenko, A.T., Falendysh, N.F., Parhomenko, E.P. (1982). Sostoyanie alyuminiya v vodnykh rastvorah [The state of aluminum in aqueous solutions]. Journal of Water Chemistry and Technology, 4 (2), 135–150.

SUMMARY

T. Yu. Dulneva, L. A. Deremeshko, D. D. Kucheruk, V. V. Goncharuk. Co-purification of water from aluminum and fluorine by the membrane from wood // *Biological Resources and Nature Managment.* – 2018. – 10, №3–4. – P.105–112. <https://doi.org/10.31548/bio2018.03.013>

The high efficiency of the process of water purification from Al(III) hydroxy compounds with adsorbed F^- ions by a microfiltration tubular wood membrane is shown. The main regularities of this process are investigated and its technological parameters are determined.

It is established that such a high efficiency is due to the combined action of the adsorption of F^- by hydroxo-compounds Al(III) and their subsequent delay by the wood membrane. At the same time, an additional selective barrier was formed on the surface of the wood membrane in the form of a self-forming dynamic membrane of Al(III) hydroxo compounds with adsorbed F^- ions, which increased the efficiency of the process of water purification from them.

It is proposed to use such a membrane for joint water purification from aluminum and fluorine to the MPC of Al(III) and F^- ions in water at initial concentrations of F^- up to 10.0 mg/dm³ and Al(III) to 30.0 mg/dm³, pH 6.5 to 7.2, an operating pressure of 1.0 MPa and a permeate recovery rate of up to 70 %.

Keywords: wood membrane, microfiltration, F^- ions, Al(III) hydroxo compounds, dynamic membrane

АННОТАЦІЯ

Т. Ю. Дульнева, Л. А. Деремешко, Д. Д. Кучерук, В. В. Гончарук. Совместная очистка воды от алюминия и фтора древесной мембраной // *Биоресурсы и природопользование.* – 2018. – 10, №3–4. – С.105–112. <https://doi.org/10.31548/bio2018.03.013>

Показана высокая эффективность процесса очистки воды от гидроксосоединений Al(III) с адсорбированными ионами F^- микрофильтрационной трубчатой древесной мембраной. Исследованы основные закономерности этого процесса и определены его технологические параметры.

Установлено, что такая высокая эффективность обусловлена комбинированным действием процессов адсорбции ионов F^- гидроксосоединениями Al(III) и последующей их задержкой древесной мембраной. При этом на поверхности древесной мембраны формировался дополнительный селективный барьер в виде самообразующейся динамической мембраны из гидроксосоединений Al(III) с адсорбированными ионами F^- , что увеличивало эффективность процесса очистки от них воды.

Предложено использовать такую мембрану для совместной очистки воды от алюминия и фтора до норм ПДК ионов Al(III) и F^- в воде при исходных концентрациях F^- до 10,0 мг/дм³ и Al(III) до 30,0 мг/дм³, pH 6,5 – 7,2, рабочем давлении 1,0 МПа и коэффициенте отбора пермеата до 70 %.

Ключевые слова: древесная мембрана, микрофильтрация, ионы F^- , гидроксосоединения Al(III), динамическая мембрана