

ВИДАЛЕННЯ ІОНІВ Mn З ВОДНИХ РОЗЧИНІВ ФІЛЬТРУЮЧИМИ МАТЕРІАЛАМИ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Чернова Н.М.¹, Савченко О.О.², Якупова І.В.², Головач К.В.³

¹ Національний університет харчових технологій, м. Київ

² Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, м. Київ

³ Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ

Email: notochka@ukr.net

Запропоновано застосування природного та товарного фільтруючого матеріалів для вивчення процесу видалення іонів марганцю із водних розчинів. Наведено результати впливу дози сорбентів на основі природного матеріалу кальциту та каталітичного фільтруючого матеріалу Pyrolox на процес видалення іонів марганцю з модельних розчинів у статичних умовах. Досліджено ступінь видалення іонів Mn у кислому та лужному середовищах при різних дозах сорбентів. Встановлено, що у кислому середовищі сорбційна ємність зразків з різною дозою відрізняється незначно. Збільшення дози кальциту обумовлює зменшення залишкової концентрації іонів марганцю у розчині за рахунок підвищення рН середовища. Досліджено вплив лужного значення рН на ефективність видалення Mn кальцитом та Pyrolox. Ефективність видалення марганцю значно збільшилася порівняно із сорбцією у кислому середовищі. Природний матеріал кальцит сприяє ефективному видаленню марганцю з води за рахунок самостійного корегування значення рН до лужного середовища. Встановлено основні закономірності протікання процесів та визначено оптимальні умови очищення водних розчинів від іонів марганцю.

Ключові слова: іони марганцю, кальцит, Pyrolox, рН розчину, модельні розчини.

Вступ

Прогрес людства, розвиток культури та саме життя знаходиться в прямій залежності від запасів, збереження та використання водних ресурсів [1]. Природна вода представляє собою багатокомпонентну динамічну систему, в склад якої входять гази, мінеральні та органічні речовини. В більшості випадків склад природних вод визначається катіонами Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} та аніонами HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- [2].

Марганець присутній у природних водах у формах, які залежать від величини рН, окиснюваності води та вмісту у ній кисню. Зазвичай, вміст заліза та марганцю в природних водах не перевищує декількох десятків mg/dm^3 , а в шахтних водах досягає декількох сотень mg/dm^3 та більше [3]. Вміст мікроелементів у водному середовищі обумовлюється мінералами вихідних порід. Україна має потужний запас марганцевих руд та займає друге місце у світі. На території України знаходиться найбільший в світі Нікопольський марганцевий басейн [4–6]. Великі запаси марганцевої руди обумовлюють присутність марганцю у більшій частині вод країни. Також джерелом надходження марганцю у воду є сільськогосподарські добрива, стічні води промисловості та шахтні води гірничодобувної промисловості [7–10].

За даними ВООЗ гранично допустима концентрація марганцю в питній воді становить $0,1 \text{ mg/dm}^3$, але на території України введені більш жорсткі вимоги. Згідно ДСТУ 7525-2014 ГДК для сполук марганцю у питній воді не повинно перевищувати $0,05 \text{ mg/dm}^3$ [11,12]. Велика кількість виробництв, таких як харчова галузь, електроніка, енергетика та багато інших ставлять вимоги ще більш жорсткі [12,13]. В Україні перевищення норм вмісту сполук марганцю в джерелах питного водопостачання виявлено в водозаборах 9 областей [14]. Враховуючи такі дані, дуже актуальним є дослідження природних та доступних сорбентів в

очищенні води від сполук марганцю. В якості об'єкту дослідження обрано біомінерал кальцит Слов'янського родовища та природний мінерал на основі діоксиду марганцю Pyrolox.

1. Методика експерименту

Дослідження процесу очищення модельних розчинів марганцю проводили із застосуванням фільтрувальних завантажень – кальциту та Pyrolox – в кислому та лужному середовищах, у статичних умовах.

Для приготування водних розчинів Mn використовували азотнокислий 6-водний марганець(II) кваліфікації "ч.д.а" (ГОСТ 6203-77). Початкова концентрація катіонів Mn^{2+} у модельному розчині при дослідженні сорбції марганцю кальцитом складала $2,77 \text{ мг/дм}^3$ при $pH=3,57\pm 0,19$ (сорбція в кислому середовищі). При дослідженні сорбції у лужному середовищі вміст іонів марганцю дорівнював $2,03 \text{ мг/дм}^3$ при $pH=8,65\pm 0,05$. Обрані концентрації марганцю дещо перевищують його вміст у природних водах України [15], проте зручні при отриманні достовірних та надійних результатів.

Дослідження сорбції іонів марганцю завантаженням Pyrolox проводили при вихідній концентрації Mn $2,13$ та $3,36 \text{ мг/дм}^3$, відповідно, у кислому ($pH=3,55\pm 0,05$) та лужному середовищах ($pH=7,45\pm 0,15$). Створення кислого середовища розчину досягнуто додаванням $0,1 \text{ н}$ розчину HCl. Підвищення pH розчину до лужних значень створено завдяки використанню $NaHCO_3$.

Об'єм досліджуваного розчину в усіх експериментах складав 500 см^3 . Робочі розчини готували на дистильованій воді. В експерименті використовували подрібнену фракцію кальциту діаметром $1,6 - 2,0 \text{ мм}$. Дози сорбентів у всіх дослідженнях складали, (г): $0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 0,7; 1,0; 1,2; 1,5$ і $2,0$. У відібраних пробах рівноважних розчинів визначали залишкову концентрацію іонів Mn фотометричним методом на фотоколориметрі КФК-3 за методикою визначення марганцю, заснованій на окисненні його сполук до MnO_4^- в кислому середовищі персульфатом амонію або калію в присутності іонів срібла як катализатора [6]. Значення pH вимірювали на приладі pH-метр 150 МА за допомогою комбінованого скляного електроду ЕСК-10601/7 та допоміжного електроду типу ЕВЛ-1М3.1. Температура навколишнього середовища становила $12\pm 1^\circ\text{C}$.

2. Результати та обговорення

В результаті дослідження впливу доз кальциту та Pyrolox на ефективність очищення води від катіонів марганцю в кислому середовищі було встановлено, що основним фактор, який визначає ефективність очищення, є доза сорбенту.

За результатами аналізу залишкової концентрації іонів марганцю (рис. 1) видно, що зі зростанням дози кальциту відбувається зменшення залишкової концентрації іонів Mn у розчині. При початковому значенні $pH=3,57\pm 0,19$ спостерігається зменшення залишкової концентрації від $2,77$ до $2,08 \text{ мг/дм}^3$ впродовж 120 год (5 діб). У пробі без використання кальциту, за п'ять діб експерименту концентрація іонів марганцю зменшилася від $2,77$ до $2,48 \text{ мг/дм}^3$. Ступінь вилучення марганцю у холостій пробі складав лише 10,5 %. Найменша залишкова концентрація іонів марганцю зафіксована для дози кальциту $1,5 \text{ г}$ ($2,08 \text{ мг/дм}^3$). Зменшення залишкового вмісту іонів марганцю обумовлено тим, що ефективність видалення іонів марганцю значно зростає при $pH > 7$ [16]. Під час експерименту в даній пробі був зафіксований найвищий показник $pH=7,12$, тобто було створене сприятливе середовище для видалення іонів марганцю. Як видно, зменшення залишкового вмісту марганцю у розчині обумовлено збільшенням дози кальциту. Ступінь очищення розчину в умовах експерименту становив 25%.

При дослідженні впливу дози Pyrolox у кислому середовищі (при початковому $pH=3,55\pm 0,05$) спостерігається зменшення залишкової концентрації іонів Mn за п'ять діб експерименту з $2,13$ до $1,34 \text{ мг/дм}^3$ при дозі Pyrolox, рівній $2,0 \text{ г}$. Через 24 години контакту модельного розчину із фільтрувальним матеріалом Pyrolox залишкова концентрація

марганцю у розчині зменшилася від 2,13 до 1,88 мг/дм³ при дозах Руголох 0,1 – 2,0 г. Суттєве зменшення залишкового вмісту іонів марганцю у розчині спостерігалось через 5 діб проведення досліду (до 1,34 мг/дм³). При цьому ефективність очищення модельного розчину від цільового компоненту складала 37%.

Варто відмітити, що залежність залишкової концентрації іонів Mn від дози Руголох прослідковується, але очищення є недостатньо ефективним при даному значенні рН. При дозі Руголох 2,0 г отримано найбільше зниження концентрації іонів Mn у розчині. Залишкова концентрація марганцю для даної дози становила 1,34 мг/дм³.

В лужному середовищі з використанням кальциту, при початковому рН=8,65±0,05 спостерігається суттєве зниження концентрації іонів Mn за 5 діб експерименту – від 2,03 до 0,21 мг/дм³. В пробі без додавання кальциту концентрація іонів Mn зменшилася від 2,03 до 0,89 мг/дм³ (при рН=8,65±0,05). Таким чином, при величині рН>8,5, ефективність очищення складала 56 %. Найменша залишкова концентрація іонів марганцю зафіксована при дозі сорбенту 2,0 г складала 0,2071 мг/дм³. На прикладі лужного середовища підтверджується залежність залишкової концентрації марганцю від дози сорбенту. Ступінь очищення розчину становив 90%.

У слабколужному середовищі з використанням Руголох, при початковому рН=7,5±0,1 спостерігається різке зниження концентрації іонів Mn після першої доби контакту розчину із сорбентом, концентрація знизилася від 3,36 до 1,74 мг/дм³. Впродовж наступних діб (120 годин експерименту), відбувалося поступове зниження концентрації іонів Mn від 3,36 до 0,70 мг/дм³. Доза сорбенту при цьому становила 2,0 г. Ступінь очищення розчину складав 79%.

Проаналізувавши отримані дані, можна зробити висновок, що в кислому середовищі ефективність очищення води від іонів марганцю для двох сорбентів (кальцит, Руголох) не є високою та відрізняється незначно. В лужному середовищі більшу ефективність очищення показав кальцит. Це пояснюється тим, що даний сорбент створює сприятливі умови для видалення марганцю, тому що підвищує рН середовища.

За даними експерименту, можна сказати, що одним із важливих факторів є рН середовища. Кальцит – це природний сорбент на основі карбонату кальцію CaCO₃, який підвищує рН початкових розчинів в область лужних значень. У роботі були проведені дослідження впливу Руголох та кальциту на рН розчину в кислому середовищі та впливу рН середовища на ефективність вилучення марганцю. Для урахування різниці початкових концентрацій для різних сорбентів, було прийнято ввести рівноважне співвідношення зниження концентрації іонів марганцю в розчині (Cp/C0)*. Залежність рівноважного співвідношення зниження концентрації іонів марганцю в розчині та рН розчину від часу контакту з середовищем представлено на рис.1.

Із залежності, представленої на рис.2, спостерігається різке підвищення рН середовища вже впродовж однієї доби проведення експерименту з використанням кальциту при початковому рН розчину 3,57±0,19. За першу добу проведення досліду значення рН для найбільшої дози кальциту 2,0 г збільшилося від 3,38 до 5,73. Такий різкий стрибок пояснюється природою самого кальциту та його властивостями: в кислому середовищі відбувається розчинення карбонатів, що сприяє підвищенню значення показника рН. Далі відбувалося поступове збільшення величини рН середовища. Після п'ятої доби експерименту значення рН для найбільшої дози кальциту 2,0 г становило 6,77. Найбільше значення рН було зафіксовано для дози кальциту 1,5 г та становило 7,12.

Проаналізувавши дані щодо величини рН та залишкової концентрації іонів марганцю, можна зробити висновок, що зі збільшенням рН середовища збільшується ступінь вилучення марганцю із розчину. Найменша залишкова концентрація іонів Mn зафіксована для дози кальциту 1,5 г, тобто не для найбільшої дози кальциту, а для найвищого показника рН, який був найбільший для даної дози сорбента.

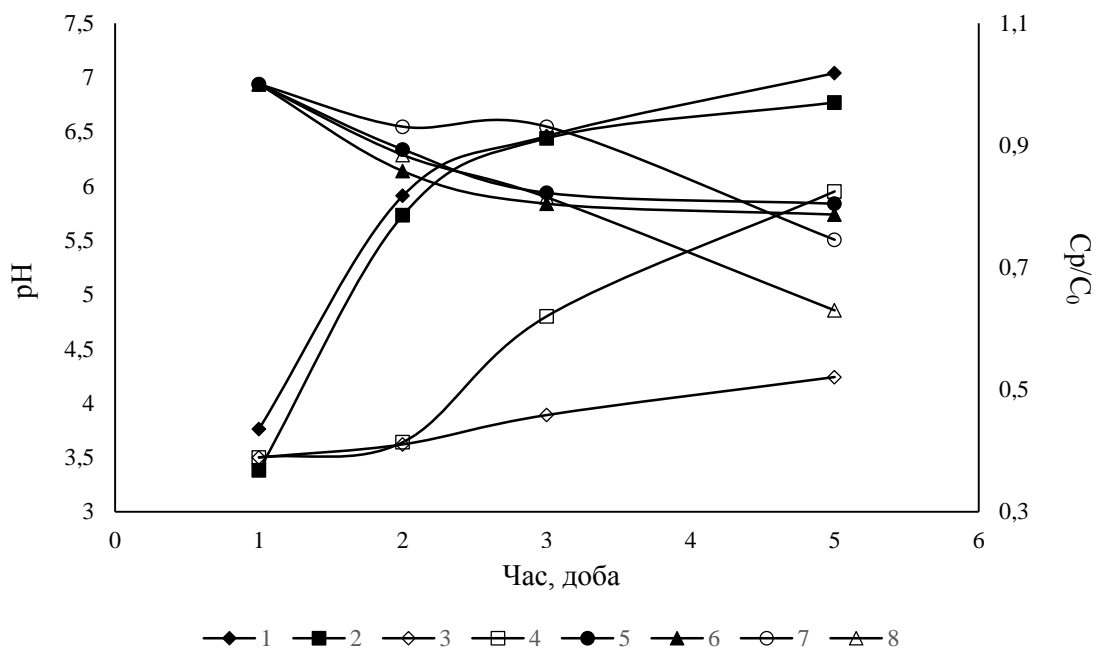


Рис.1. Залежність рівноважного співвідношення зниження концентрації іонів марганцю в розчині та рН розчину від часу контакту з кислим середовищем
 1, 2 – зміна рН середовища впродовж 5 діб при дозі кальциту, відповідно, 1 г та 2 г;
 3, 4 – зміна рН середовища впродовж 5 діб при дозі Руголох, відповідно, 1 г та 2 г;
 5, 6 – зміна рівноважного співвідношення зниження концентрації іонів марганцю в розчині впродовж 5 діб при дозі кальциту, відповідно, 1 г та 2 г;
 7, 8 – зміна рівноважного співвідношення зниження концентрації іонів марганцю в розчині впродовж 5 діб при дозі Руголох, відповідно, 1 г та 2 г.

* C_p – рівноважна концентрація іонів марганцю у розчині;
 C_0 – початкова (вихідна) концентрація іонів марганцю у розчині.

Відповідно отриманим даним, які графічно представлені на рис.1, при використанні Руголох спостерігається дещо менше підвищення рН середовища впродовж п'яти діб проведення експерименту при початковому рН розчину $3,55 \pm 0,05$. Після п'ятої доби експерименту, значення рН для найбільшої дози Руголох (2,0 г) становило 5,95.

На рис. 2 представлені залежності рівноважного співвідношення зменшення концентрації іонів Mn в розчині та зміну рН розчину від часу його контакту з лужним середовищем та від дози Руголох та кальциту.

Дані на рис. 2 підтверджують припущення про те, що при лужному рН початкового розчину кальцит не підвищує лужність розчину. Впродовж п'яти діб експерименту не спостерігалось значних змін величини рН. Значення даного показника було відносно стабільним та коливалось в діапазоні $8,3 \pm 0,3$.

Проаналізувавши дані по залишковій концентрації іонів марганцю у розчині, можна зробити висновок, що рН суттєво впливає на ефективність видалення марганцю з води при використанні матеріалу кальцит. В лужному середовищі, при $pH \geq 8$ відбулося майже повне вилучення марганцю порівняно з залишковою концентрацією в кислому середовищі, при $pH < 7$.

Як видно з рис.2, при лужному рН розчину, Руголох не суттєво підвищує лужність розчину. Впродовж п'яти діб експерименту не спостерігалось значних змін величини рН. Значення даного показника після п'яти діб дослідження коливалось в межах від 6,7 до 7,6 при початковому значенні $pH = 7,45 \pm 0,15$, а в деяких випадках спостерігалось незначне зниження значення водневого показника.

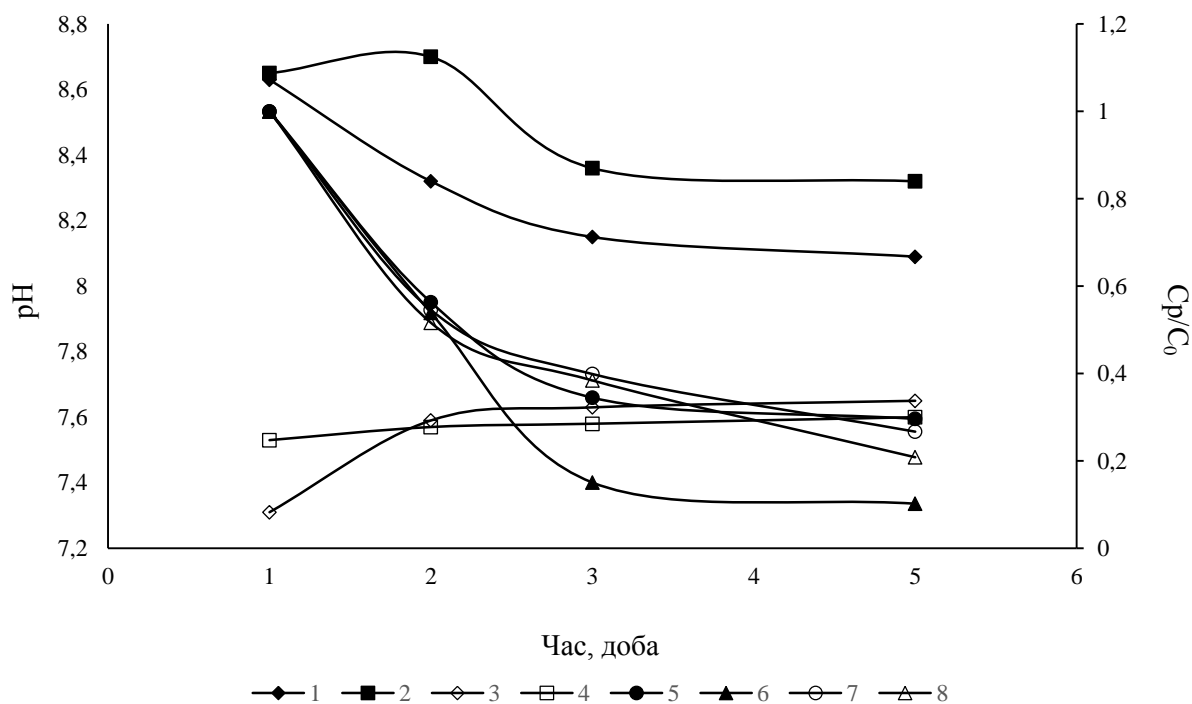


Рис. 2. Залежність рівноважного співвідношення зменшення концентрації іонів Mn в розчині та рН розчину від часу контакту з лужним середовищем
 1, 2 – зміна рН середовища впродовж 5 діб при дозі кальциту, відповідно, 1 г та 2 г;
 3, 4 – зміна рН середовища впродовж 5 діб при дозі Pyrolox, відповідно, 1 г та 2 г;
 5, 6 – зміна рівноважного співвідношення зниження концентрації іонів марганцю в розчині впродовж 5 діб при дозі кальциту, відповідно, 1 г та 2 г;
 7, 8 – зміна рівноважного співвідношення зниження концентрації іонів марганцю в розчині впродовж 5 діб при дозі Pyrolox, відповідно, 1 г та 2 г.

3. Висновки

Проведено дослідження впливу дози сорбентів кальциту та Pyrolox, а також основних показників на ефективність вилучення іонів марганцю з розчинів.

Визначено, що на залишковий вміст іонів марганцю у розчині впливає доза сорбенту та рН середовища. Найбільш ефективного очищення води від іонів Mn вдалося досягнути при максимальних дозах сорбенту (маса кальциту та Pyrolox 2 г) та в лужному середовищі при $pH > 7$.

Розраховано, що ефективність очищення розчину кальцитом в кислому середовищі становила 25%, а в лужному – 90%. Ефективність очищення розчину сорбентом Pyrolox в кислому середовищі складала 37%, а в лужному – 79%.

Для очищення вод від сполук марганцю можна використовувати кальцит та Pyrolox, але необхідно створити лужну реакцію середовища та підібрати оптимальну дозу сорбенту. За даних умов, дешевий природний матеріал кальцит самостійно корегує значення рН до лужного середовища, чим сприяє ефективному видаленню марганцю з води.

УДАЛЕНИЕ ИОНОВ Mn С ВОДНЫМ РАСТВОРОМ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Чернова Н.М.¹, Савченко О.О.², Якупова И.В.², Головач К.В.³

¹Национальный университет пищевых технологий, г. Киев

²Институт коллоидной химии и химии воды им. А.В. Думанского НАН Украины, Киев

³Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», г. Киев

Email: notochka@ukr.net

Предложено применение природного и товарного фильтрующего материалов для изучения процесса удаления ионов марганца из водных растворов. Приведены результаты влияния дозы сорбентов на основе природного материала кальцита и каталитического фильтрующего материала Pyrolox на процесс удаления ионов марганца из модельных растворов в статических условиях. Исследована степень удаления ионов Mn в кислой и щелочной средах при различных дозах сорбентов. Установлено, что в кислой среде сорбционная емкость образцов с различной дозой отличается незначительно. Увеличение дозы кальцита обуславливает уменьшение остаточной концентрации ионов марганца в растворе за счет повышения pH среды. Исследовано влияние щелочного значения pH на эффективность удаления Mn кальцитом и Pyrolox. Эффективность удаления марганца значительно увеличилась по сравнению с сорбцией в кислой среде. Природный материал кальцит способствует эффективному удалению марганца из воды за счет самостоятельной корректировки значения pH к щелочной среде. Установлены основные закономерности протекания процессов и определены оптимальные условия очистки водных растворов от ионов марганца.

Ключевые слова: ионы марганца, кальцит, Pyrolox, pH раствора, модельные растворы

REMOVAL OF Mn ION FROM WATER SOLUTIONS BY FILTERING MATERIALS OF DIFFERENT ORIGIN

N.M. Chernova¹, O.O. Savchenko², I.V. Yakypova², K.V. Holovach³

¹National University of Food Technologies, Kyiv

²A.V. Dumansky Institute of Colloid and Water Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

³National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv

Email: notochka@ukr.net

Natural and commercial medium bed usage for studying manganese ions removal from aqueous solutions was proposed. Natural calcite material and catalytic medium bed Pyrolox doses influence results on manganese ions removal from simulated solutions under static conditions were given. Sorbent's dose as a main factor determining purification efficiency was found. Calcite dose increase causes manganese ions residual concentration decrease due to pH medium contribution in water solution. Manganese ions concentration decreased only 11% after five days experiment in sample without calcite. It was established that one of important factors in effective process of manganese ions content reducing was pH value. In order to study main factors determining manganese ions removal efficiency process from model solution it was varying its pH range from acid to slightly alkaline by adding chloric acid and sodium bicarbonate.

Mn ions removal degree in acidic and alkaline media at different sorbents doses was studied. It was established that sample's sorption capacity with various doses in acidic medium differs insignificantly. The alkaline pH effect on Mn removal efficiency by calcite and Pyrolox was studied.

The manganese removal effectiveness was increased significantly in comparison with sorption in acid medium. Model solution purification efficiency from manganese ions by calcite increased significantly at pH > 8.5. The natural calcite material contributes to effective manganese removal from water by self-adjusting pH value to alkaline medium. Purification efficiency of model solution in the acid and alkaline media by calcite and Pyrolox was calculated.

The equilibrium ratio of manganese ions reducing concentration for accounting different sorbents initial concentrations in solution was introduced. The dependence of equilibrium ratio of reducing manganese ions concentration in solution and pH value from medium contact time was constructed.

The main processes regularities were established and optimal conditions of aqueous solutions purification from manganese ions were determined.

Key words: *manganese ions, calcite, Pyrolox, pH solution, simulated solutions*

ЛІТЕРАТУРА

REFERENCES

- 1 Кульский Л.А. Технология очистки природных вод. — 2-е изд., перераб. и доп./ Кульский Л.А., Строкач П.П. — Киев: Вища шк., 1986. — 352 с.
 - 2 Журба М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: издание второе, переработанное и дополненное. Учебное пособие / Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. — М.: Издательство АСВ, 2004. — 496 с.
 - 3 Николадзе Г.И. Водоснабжение: Учеб. для вузов./ Николадзе Г.И., Сомов М.А. — М.: Стройиздат, 1995. — 688 с.
 - 4 Юдович Я.Э. Геохимия марганца/ Я.Э. Юдович, М.П. Кутрис. — Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2014. — 540 с.
 - 5 Шнюков Е.Ф. Марганцевые руды Украины / Е.Ф.Шнюков, Г.Н.Орловский, Н.А.Панченко. — Киев: Наук. думка, 1993. — 172 с.
 - 6 Водяницкий Ю.Н. Минералогия и геохимия марганца (обзор литературы) / Ю.Н. Водяницкий // Почвоведение. — 2009. — №10. — С. 1256 — 1265.
 - 7 Булыгин С.Ю. Микроэлементы в сельском хозяйстве/ С.Ю. Булыгин, Демишев Л.Ф., Доронин В.А. и др. — Дн-вск: Січ, 2007. — 100с.
 - 8 Кудашкин М.И. Эффективность медных и марганцевых удобрений при разных системах земледелия и типах агроландшафта. / М.И. Кудашкин // Земледелие. — 2011. — №1. — С. 14 — 16
- Kulsky L.A. Technology of natural water purification. (Kiev: Vishka shk., 1986). [In Russian].
- Zhurba M.G. Water supply. Designing of systems and constructions: the second edition, revised and enlarged. Textbook / Zhurba MG, Sokolov L.I., Govorova Zh.M. (Moscow: ASV Publishing House, 2004). [In Russian].
- Nikoladze G.I. Water supply: Proc. for high schools. / Nikoladze G.I., Somov M.A. (Moscow: Stroiizdat, 1995). [In Russian].
- Yudovich Ya.E. Geochemistry of manganese / Ya.E. Yudovich, M.P. Cuthrice. (Syktyvkar: IG Komi Scientific Center of the UrB RAS, 2014). [In Russian].
- Shnyukov E.F. Manganese ores of Ukraine / E.F. Shnyukov, G.N. Orlovsky, N.A.Panchenko. (Kiev: Science. Dumka, 1993). [In Russian].
- Vodyanitsky Yu.N. Mineralogy and geochemistry of manganese (review of literature) / Yu.N. Vodyanitsky // Pochvovedenie. 2009. 10. 1265. doi: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12902067>
- Bulygin S.Yu. Microelements in agriculture / S.Yu. Bulygin, Demishev LF, Doronin VA and others. (Dn-vsk: Sich, 2007). [In Russian].
- Kudashkin M.I. Efficiency of copper and manganese fertilizers under different farming systems and types of agrolandscape. Kudashkin // Agriculture. 2011. 1. 14

- 9 Виговська Г.П. Структура отходов в Украине, их источники и количественные показатели / Г.П. Виговська// Родная природа, 2004, № 3—4. — С. 21—24. Vigovska G.P. The structure of waste in Ukraine, their sources and quantitative indicators / G.P. Vigovska // Native nature. 2004. 3—4. 21.
- 10 Проданчук Н.Г. Изучение процесса образования подвижных форм микроэлементов и прогнозирование безопасности продукции сельскохозяйственного производства/ Н.Г. Проданчук, А.Н. Строй, А.И. Самчук // Проблемы харчування. — 2007. — №3. — С. 5—16. Prodanchuk N.G. Study of the process of formation of mobile forms of trace elements and prediction of the safety of agricultural products / N.G. Prodanchuk, A.N. Story, A.I. Samchuk // Problems kharchuvannya. 2007. 3. 5.
- 11 Руководство по обеспечению качества питьевой воды. III изд., Т.1 (Рекомендации) // Всемирная организация здравоохранения. — Женева, 2004 г. — 121 с. Guidelines for the quality of drinking water (Recommendations) // World Health Organization. - Geneva, 2004. 3(1). 121.
- 12 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості : ДСТУ 7525:2014. — [Чинний від 2015-02-01]. — К.: Мінекономрозвитку України, 2014. — 91 с. (Національний стандарт України). Drinking water. Requirements and methods of quality control. [DSTU 7525 : 2014]
- 13 Фрог Б.Н. Водоподготовка/ Б.Н. Фрог, А.П. Левченко. — М.: Издательство МГУ, 1996. — 680 с. Frog B.N. Water treatment / B.N. Frog, AP Levchenko. (Moscow: Moscow State University, 1996). [In Russian].
- 14 Кравченко О.В. Дослідження біоценозів завантаження фільтрів знезалізнення та деманганациї та методика заселення ними цеоліту / О.В. Кравченко // Технологии органических и неорганических веществ. — 2015. — С. 39 — 43. Kravchenko O.V. Investigation of biocenosis loading of non-freezing and demaganization filters and the method of zeolite placement by them / O.V. Kravchenko // Technologies of organic and inorganic substances. 2015.
- 15 Николадзе Г.И. Улучшение качества подземных вод / Г.И. Николадзе. — М.: Стройиздат, 1987. — 240 с. Nikoladze G.I. Improvement of groundwater quality. (Moscow: Stroyizdat, 1987).