References

1. Duruibe J., M.O.C. Ogwuegbu, Ekwurugwu J.N. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of Physical Sciences*. 2007. 2 (5). pp. 112–118.
2. Mirbagheri S.A., Hosseini S.N. Pilot plant investigation on petrochemical wastewater treatment for the removal of copper and chromium with the objective of reuse. *Desalination*. 2005. Vol. 171. pp. 85–93.
3. Mohsen-Nia M., Montazeri P., Modarress H. Removal of Cu^{2+} and Ni^{2+} from wastewater with a chelating agent and reverse osmosis processes. *Desalination*. 2007. Vol. 217. pp. 276–281.
4. Zhang L.N., Wu Y.J., Qu X.Y., Li Z.S., Ni J.R. Mechanism of combination membrane and electro-winning process on treatment and remediation of Cu^{2+} polluted water body. *J. Environ. Sci.* 2009. Vol. 21. pp. 764–769.
5. Heidmann I., Calmano W. Removal of Zn (II), Cu (II), Ni (II), Ag (I) and Cr (VI) present in aqueous solutions by aluminium electrocoagulation. *J. Hazard. Mater.* 2008. Vol. 152. P. 934–941.
6. Cifuentes L., Garcha I., Arriagada P., Casas J.M. The use of electrodialysis for metal separation and water recovery from $\text{CuSO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-Fe}$ solutions. *Sep. Purif. Technol.* 2009. Vol. 68. pp. 105–108.
7. Kang S.Y., Lee J.U., Moon S.H., Kim K.W. Competitive adsorption characteristics of Co^{2+} , Ni^{2+} , and Cr^{3+} by IRN-77 cation exchange resin in synthesized wastewater. *Chemosphere*. 2004. Vol. 56. pp. 141–147.
8. Alyüz B., Veli S. Kinetics and equilibrium studies for the removal of nickel and zinc from aqueous solutions by ion exchange resins. *J. Hazard. Mater.* 2009. Vol. 167. pp. 482–488.
9. Bilyavsky S.O., Sarahman R.B., Halysh V.V., Trus I.M. [Optimization of technology for obtaining sorbents from vegetable waste], *Ecologichni nauki [Ecological Sciences]*. 2018. Vol. 21. pp. 212–217. (Ukr.)
10. Goncharuk V.V., Radovenchik V.M., Gomelya M.D. [Dismantled and victorious of highly dispersed sorbents in magnetic properties]. Kiev : Grafika, 2003. 263 p. (Ukr.)
11. Bozhenko O.M., Omelchuk Yu.A., Gomelya M.D. [Obtaining highly selective sorbents for the extraction of copper from the waters of NPP cooling systems]. *Zbirnik naukovykh prats Sevastopolskogo Nacionalnogo Uni-versitetu Yadernoi Energetyky ta Promyslovosti*. 2009. Iss. 4. pp. 148–154. (Ukr.)
12. Surovtsev I.V., Halimova V.M., Mank V.V., Copylevich V.A. [The determination of heavy metals in aquatic ecosystems by the method of inverse chronopotentiometry]. *Khimiya i tehnologiya vody. Chemistry and Water Technology*. 2009. 31 (6). pp. 677–687. (Rus.)

Received December 8, 2019

УДК 628.161.2:621.564.31
DOI: 10.33070/etars.1.2020.07

Деремешко Л.А., канд. хим. наук, **Балакина М.Н.**, канд. хим. наук,
Семинская О.О., канд. хим. наук, **Кучерук Д.Д.**, докт. хим. наук,
Гончарук В.В., докт. хим. наук, акад. НАН Украины
Институт коллоидной химии и химии воды НАН Украины, Киев
 бул. Акад. Вернадского, 42, 03142 Киев, Украина, e-mail: bantam@ukr.net

Обессоливание хлоридно-сульфатных соленых вод электродиализатором усовершенствованной конструкции

Исследован процесс обессоливания и предельного концентрирования имитатов соленых хлоридно-сульфатных вод электродиализным аппаратом усовершенствованной конструкции. Показана его высокая эффективность: установлено, что при плотности тока $1,0 \text{ А/дм}^2$ в течение 63–105 мин можно обессолить имитат с исходной концентрацией NaCl 4,3–8,6 г/дм³ до содержания хлорид-ионов ниже их ПДК в питьевой воде при одновременном концентрировании рассолов до 110,7–135,8 г/дм³. При введении в исходный раствор ионов SO_4^{2-} наблюдалось снижение содержания ионов Cl^- и повышение содержания ионов SO_4^{2-} в дилуате из-за усиления конкурирующего переноса последних через ионообменную мембрану. В связи с этим для достижения ПДК этих ионов в питьевой воде продолжительность процесса электродиализа должна быть увеличена. *Библ. 12, рис. 3, табл. 2.*

Ключевые слова: соленые воды, электродиализ, обессоливание, концентрирование, дилуат, рассол.

Подземные воды юга Украины, относящиеся к Причерноморскому артезианскому бассейну, являются основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения на большей части юга этой территории. Так, потребность г. Херсона полностью удовлетворяется за счет подземных вод, в г. Николаеве используются подземные и поверхностные воды. На долю крупных городов приходится около 20–30 % общего водоотбора, при этом основная часть подземных вод отбирается из одиночных скважин [1]. На большей части бассейна воды слабосолоноватые, с минерализацией 1–3 г/дм³, на юго-западной периферии (от р. Дуная до г. Одессы) подземные воды основных водоносных горизонтов имеют минерализацию до 3–5 г/дм³ [2]. В соответствии с требованиями, предъявляемыми в настоящее время к питьевой воде по общей минерализации — 1000 мг/дм³ [3], упомянутые воды подлежат частичному обессоливанию. Получение питьевой воды из вод типа солоноватых посредством обессоливания широко практикуется в регионах, испытывающих ее острую нехватку [4].

К наиболее распространенным методам обессоливания воды относятся ионный обмен, электродиализ, обратный осмос и дистилляция. Выбор метода обессоливания определяется производительностью установки, качеством исходной и очищенной воды и осуществляется на базе технико-экономического сравнения вариантов. Ориентировочно, при общем солесодержании воды 1,5–15 г/дм³ рекомендуется применять обратный осмос или электродиализ [5]. Однако одной из важнейших стадий мембранной технологии является переработка концентрата, в процессе же обратноосмотического обессоливания, хотя и образуется концентрат с солесодержанием значительно более высоким, чем исходная вода, но недостаточным для дальнейшей переработки, тогда как концентрирование растворов — одно из основных свойств электродиализной технологии.

Цель данной работы — исследование процесса электродиализного обессоливания и предельного концентрирования модельных растворов хлоридно-сульфатных солоноватых вод электродиализатором усовершенствованной конструкции.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены на опытном образце электродиализатора-концентратора усовершенствованной конструкции (ЭДК), разработанной в Институте коллоидной химии и

химии воды НАН Украины. Ее особенность состоит в том, что для отвода рассола отдельно из каждой камеры концентрирования применены тонкие полимерные трубки с целью разъединения камер концентрирования с коллектором и создания условий для исключения образования тока утечки, ликвидируя таким образом разогрев и оплавление мембран и прокладок [6]. Кроме того, при проведении электродиализа в камеры концентрирования не подается исходный раствор, благодаря чему не происходит разбавление рассолов, образовавшихся в этих камерах за счет переноса гидратированных ионов через ионообменные мембраны, что позволяет получать концентрат с высоким солесодержанием и в минимальном объеме (предельное концентрирование, то есть процесс, при использовании которого достигается в данных условиях максимально возможная концентрация рассола при обессоливании растворов), что значительно упрощает его дальнейшую переработку.

При проведении экспериментов использовали ионообменные мембраны МК-40 и МА-40 с рабочей поверхностью 1,0 дм² каждая. Исходный раствор подавали в камеры обессоливания ЭДК в проточно-рециркуляционном режиме, его объем составлял 1,0 дм³. Исследования проведены при постоянной температуре раствора $t = 20 \pm 0,5$ °С, которую поддерживали термостатированием. Значение рН исходного раствора составляло 6,6–6,8.

Содержание ионов Cl^- и SO_4^{2-} в исходных растворах, дилуате и рассоле определяли в соответствии с методиками [7, 8]. Для приготовления модельных растворов использовали хлорид и сульфат натрия классификации ХЧ и ЧДА.

Результаты и обсуждение

Повышение исходной концентрации хлорида натрия ($C_{\text{исх}}$) от 4,3 до 10,6 г/дм³ при постоянной плотности тока $i = 1,0$ А/дм² и продолжительности процесса электродиализа $\tau = 65$ мин приводило к резкому возрастанию его концентрации в дилуате ($C_{\text{д}}$), при этом только для $C_{\text{исх}} = 4,3$ г/дм³ достигалась предельно допустимая концентрация (ПДК) ионов Cl^- в питьевой воде (250 мг/дм³ [3]) (рис.1, а, кривая 1). Содержание хлорида натрия в рассоле ($C_{\text{р}}$) увеличилось от 68,2 до 81,4 г/дм³ (рис.1, а, кривая 2), что можно объяснить уменьшением влияния на процесс электродиализа (ЭД) поляризационных явлений на мембранах, а также осмотического переноса воды и диффузии через них ионов. Напряжение (U) в аналогичных условиях снижа-

Рис.1. Влияние исходной концентрации хлорида натрия на его концентрацию в дилюате (1) и рассоле (2) (а), напряжения (3) и удельной производительности по рассолу (4) (б) при $i = 1,0$ А/дм² и $\tau = 65$ мин.

лось с 60,2 до 5,8 В (рис.1, б, кривая 3), что вызвано уменьшением электрического сопротивления системы мембрана — раствор. Удельная производительность пары мембран (МК-40 и МА-40) по рассолу (Q_p) в зависимости от $C_{исх}$ изменялась незначительно (рис.1, б, кривая 4), что соответствует закономерностям электроосмотической проницаемости ионообменных мембран [9].

С увеличением продолжительности процесса ЭД растворов NaCl в интервале его исходных концентраций от 4,3 до 10,4 г/дм³ при $i = 1,0$ А/дм² уменьшалось его содержание в дилюате (рис.2, а, кривые 1–4). Однако, если содержание ионов Cl^- ниже их ПДК в питьевой

воде обеспечивалось при $C_{исх} = 4,3$ г/дм³ за 65 мин (кривая 1), при $C_{исх} = 6,2$ г/дм³ за 75 мин (кривая 2), при $C_{исх} = 8,6$ г/дм³ за 105 мин (кривая 3), то при $C_{исх} = 10,4$ г/дм³ (кривая 4) ПДК за это же время не достигалась, что можно объяснить недостаточной величиной движущей силы процесса в последнем случае.

В аналогичных условиях содержание хлорида натрия в рассоле изменялось в интервале 110,7–135,8 г/дм³, при этом чем выше была исходная концентрация, тем большим было солесодержание рассола (рис.2, а, кривые 1–4). Некоторое уменьшение C_p со временем, по-видимому, обусловлено усилением осмотического и диффузионного переноса соответственно воды и ионов через мембраны.

При обессоливании растворов хлорида натрия с $C_{исх}$ от 4,3 до 8,6 г/дм³ (рис.2, б, кривые 1''–3'') электрическое напряжение U на электродах в начале процесса изменялось незначительно, однако в дальнейшем резко возрастало, что свидетельствовало об увеличении сопротивления системы мембрана — раствор и приближении к величине предельного тока. Такое явление не наблюдалось для раствора с $C_{исх} = 10,4$ г/дм³, где значение U на протяжении 105 мин электролиза увеличилось от 5,0 до 10,5 В (рис.2, б, кривая 4'').

Удельная производительность в этих условиях изменялась в интервале 1,0–1,2 дм³/(м²·ч) (рис.2, б, кривые 1'''–4'''), что указывало на незначительное влияние $C_{исх}$ и τ на Q_p . Наблюдаемые экспериментальные зависимости находятся в соответствии с закономерностями электроосмотического переноса растворов через ионообменные мембраны [9], электроосмотическая проницаемость ионообменных мембран практически не зависит от концентрации исходного раствора.

С увеличением τ при $i = 1,0$ А/дм² уменьшался выход по току (η) во всем интервале исследованных значений $C_{исх}$ (табл.1), что можно объяснить усилением поляризации мембран. Осо-

Таблица 1. Влияние продолжительности процесса ЭД и исходной концентрации хлорида натрия $C_{исх}$ на выход по току η , %

τ , мин	$C_{исх} = 4,3$ г/дм³	$C_{исх} = 6,2$ г/дм³	$C_{исх} = 8,6$ г/дм³	$C_{исх} = 10,4$ г/дм³
20	85,2	87,7	90,5	91,4
40	62,5	71,9	73,8	76,5
60	47,2	61,6	68,1	71,9
80	—	—	62,5	63,7
100	—	—	55,7	57,9

Рис.2. Кинетика электродиализного обессоливания (C_d) (1–4) и концентрирования (C_p) (1'–4') (а), напряжения (U) (1''–4'') и удельной производительности по рассолу (Q_p) (1'''–4''') (б) при исходном содержании хлорида натрия, г/дм³: 4,3 (1–1'''); 6,2 (2–2'''); 8,6 (3–3'''); 10,4 (4–4'''). Кинетика электродиализного обессоливания (C_d) (1–4) и концентрирования (C_p) (1'–4') (а), напряжения (U) (1''–4'') и удельной производительности по рассолу (Q_p) (1'''–4''') (б) при исходном содержании хлорида натрия, г/дм³: 4,3 (1–1'''); 6,2 (2–2'''); 8,6 (3–3'''); 10,4 (4–4''').

бенно наглядно это видно для $C_{исх} = 4,3$ г/дм³, что вызвано избыточным значением i и наиболее быстрым выходом процесса ЭД на режим разложения воды. Повышение $C_{исх}$ способствовало увеличению значения η в результате снижения влияния поляризации мембран. В исследуемом процессе ЭД наблюдались более низкие значения η , чем в обычных условиях (85–95 % [10]), что, по-видимому, обусловлено более интенсивным осмотическим переносом воды и об-

ратной диффузией ионов через ионообменные мембраны в связи с достижением более высоких значений C_p .

С повышением плотности тока от 0,4 А/дм² до 1,0 А/дм² в результате обессоливания раствора хлорида натрия с концентрацией 6,9 г/дм³ при $\tau = 105$ мин резко снижалась концентрация дилуата, и при $i = 1,0$ А/дм² достигалась ПДК и ниже ионов Cl^- в питьевой воде (рис.3, а, кривая 1). В аналогичных условиях повышалось содержание хлорида натрия в рассоле от 91,3 до 125,7 г/дм³ (рис.3, а, кривая 2) в результате увеличения движущей силы процесса ЭД.

Возрастание i от 0,4 до 0,6 А/дм² привело к повышению напряжения на электродах от 2,2 до 6,8 В, однако при $i = 0,6$ А/дм² оно резко возрастало (рис.3, б, кривая 3), что вызвано, как и в предыдущем случае, ростом электролитического сопротивления системы мембрана – раствор и приближением к величине предельного тока. Величина i в этих условиях незначительно влияла на Q_p (рис.3, б, кривая 4), что согласуется с закономерностями электроосмоса [9].

В табл.2 показана зависимость состава дилуата и рассола при электродиализном обессоливании и предельном концентрировании раствора хлорида натрия с исходной концентрацией 5,4 г/дм³ от содержания в нем ионов Cl^- и SO_4^{2-} при достижении ПДК по этим ионам в питьевой воде.

При изучении влияния сульфат-ионов на характеристики электродиализного процесса обессоливания и предельного концентрирования раствора хлорида натрия установлено, что для достижения ПДК ионов Cl^- и SO_4^{2-} в дилуате при повышении концентрации ионов SO_4^{2-} в исходном растворе от 0,46 до 4,03 г/дм³, постоянном значении $C_{исх} = 5,4$ г/дм³ и величине $i = 1,0$ А/дм² необходимо увеличивать продолжительность процесса ЭД от 78 до 122 мин. При этом в каждом эксперименте величина конечного напряжения возрастала до около 70,0 В.

В этих условиях по-разному изменялись концентрации ионов Cl^- и SO_4^{2-} в дилуате: со-

Таблица 2. Зависимость состава дилуата и рассола от содержания в растворе HCl ионов Cl^- и SO_4^{2-} при достижении ПДК по этим ионам в питьевой воде

$C_{исх} SO_4^{2-}$, г/дм³	τ , мин	$C_d Cl^- (SO_4^{2-})$, г/дм³	$C_p Cl^- (SO_4^{2-})$, г/дм³
0,46	78,0	0,09 (0,02)	71,37 (8,80)
0,98	86,0	0,09 (0,03)	74,45 (13,44)
1,90	103,0	0,06 (0,05)	67,39 (24,96)
4,03	122,0	0,05 (0,12)	53,26 (39,84)

Рис.3. Зависимость электродиализного обессоливания C_d (1) и концентрирования C_r (2) (а), напряжения U (3) и удельной производительности по рассолу Q_r (4) (б) от плотности тока при исходном содержании хлорида натрия 6,95 г/дм³ и продолжительности процесса $\tau = 105$ мин.

держание ионов Cl^- уменьшалось, а ионов SO_4^{2-} увеличивалось (см. табл.2). Аналогичным образом изменялось соотношение их концентраций в рассоле. Такое явление можно объяснить повышением содержания сульфат-ионов и усилением влияния их конкурирующего переноса через мембрану на ионы Cl^- . Удельная производительность рассольного пакета мембран при этом уменьшалась с 1,1 до 0,96 дм³/(м²·ч).

Солесодержание полученных рассолов позволяет осуществлять разделение хлоридов и сульфатов кристаллизацией с использованием пропиточного кристаллизатора непрерывного

действия, использование которого позволяет выделить в твердую фазу 90–95 % сульфата натрия [11], который может быть использован, например, при производстве кальцинированной соды [12].

Выводы

Показана высокая эффективность процесса обессоливания и предельного концентрирования имитаторов хлоридно-сульфатных соленых вод в ЭДК усовершенствованной конструкции. Изучены основные закономерности этого процесса и определены его технологические параметры.

Установлено, что при плотности тока $i = 1,0$ А/дм² в течение 63–105 мин можно обессолить раствор хлорида натрия с исходной концентрацией 4,3–8,6 г/дм³ до содержания хлор-ионов ниже их ПДК в питьевой воде при одновременном концентрировании в рассольных камерах до 110,70–135,8 г/дм³. Повышение концентрации ионов SO_4^{2-} в растворе хлорида натрия увеличивало время достижения количества ионов Cl^- и SO_4^{2-} ниже значений их ПДК в питьевой воде, что можно объяснить усилением отрицательного влияния конкурирующего переноса через мембрану ионов SO_4^{2-} на ионы Cl^- .

Использование предложенного ЭДК для обессоливания минерализованных хлоридно-сульфатных вод с предельным концентрированием рассола позволяет в дальнейшем эффективно перерабатывать полученные рассолы.

Список литературы

1. Мала гірнича енциклопедія/За ред. В.С. Білецького. 2004. Т. 3. Донецьк : Східний видавничий дім, 2004. 752 с.
2. Причерноморский артезианский бассейн. — https://ru.wikipedia.org/wiki/Prichernomorskiy_artezianskiy_basseyn 23.07.2019.
3. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 26 с.
4. Всемирная Организация Здравоохранения. Нутриенты в питьевой воде. Вода, санитария, охрана здоровья и окружающей среды. — http://stlfilter.com.ua/index.php?route=blog/article&article_id=1 25.09.2019
5. Обессоливание и опреснение воды. — http://ros-pipe.ru/tekh_info/tekhnicheskie-stati/vodoprovodnye-sistemy-i-oborudovanie/otrasle-vye-resheniya/obessolivanie-i-opresnenie-vody/ 25.09.2019
6. Пат. 95026 Укр., МПК С 02 F 1/469, В 01 D 61/42. Електродіалізатор-концентратор. В.В.Гон-

- чарук, Д.Д. Кучерук, М.М. Балакіна. № а 2010 04111; заявл. 08.04.2010; опубл. 25.06.2011. Бюл. № 12.
7. ДСТУ ISO 9297:2007. Якість води. Визначення хлоридів. Титрування нітратом срібла із застосуванням хромату як індикатора (метод Мора). Київ : Держспоживстандарт України, 20102007. 10 с.
8. ГОСТ 4389-72. Вода питьевая. Методы определения содержания сульфатов. 9 с.
9. Гребенюк В.Д. Электродиализ. Киев : Техника, 1976. 160 с.
10. Ковалев В.В., Ковалева О.В. Теоретические и практические аспекты электрохимической обработки воды. Кишинэу : Изд.-полиграф. центр Молдавского госуниверситета, 2003. 414 с.
11. Максим В. И., Скоробогач Е. В. Переработка растворов после опреснения сульфатно-хлоридных минерализованных вод. *Химия и технология воды*. 1989. Т. 11, № 3. С. 263–266
12. Аболонин Б.Е., Кузнецова И.М., Харлампиди Х.Э. Основы химических производств. М. : Химия, 2001. 472 с.

Поступила в редакцию 03.02.20

Деремешко Л.А., канд. хім. наук, **Балакіна М.М.,** канд. хім. наук,
Семінська О.О., канд. хім. наук, **Кучерук Д.Д.,** докт. хім. наук,
Гончарук В.В., докт. хім. наук, акад. НАН України
Інститут колоїдної хімії та хімії води НАН України, Київ
бул. Акад. Вернадського, 42, 03142 Київ-142, Україна, e-mail: bantam@ukr.net

Знесолення хлоридно-сульфатних солонуватих вод електродіалізатором удосконаленої конструкції

Досліджено процес знесолення та граничного концентрування імітацій солонуватих хлоридно-сульфатних вод електродіалітичним апаратом удосконаленої конструкції. Показано його високу ефективність: встановлено, що при густині струму $1,0 \text{ А/дм}^2$ протягом 63–105 хв можна знесолити імітат із вихідною концентрацією NaCl $4,3\text{--}8,6 \text{ г/дм}^3$ до вмісту хлорид-іонів нижче за їхню ГДК у питній воді за одночасного концентрування розсолів до $110,7\text{--}135,8 \text{ г/дм}^3$. При введенні у вихідний розчин іонів SO_4^{2-} спостерігалось зниження вмісту іонів Cl^- та підвищення вмісту іонів SO_4^{2-} у ділюаті через посилення конкуруючого переносу останніх через іонообмінну мембрану. У зв'язку з цим для дослідження ГДК цих іонів у питній воді тривалість процесу електродіалізу повинна бути збільшена. *Бібл. 12, рис. 3, табл. 2.*

Ключові слова: солонуваті води, електродіаліз, знесолення, концентрування, ділюат, розчин.

Deremeshko L.A., Candidate of Chemistry Sciences,
Balakina M.M., Candidate of Chemistry Sciences,
Seminskaya O.O., Candidate of Chemistry Sciences,
Kucheruk D.D., Doctor of Chemistry Sciences,
Goncharuk V.V., Academician of National Academy of Sciences of Ukraine,
Doctor of Chemistry Sciences
*Institute of Colloid and Water Chemistry of National Academy of Sciences
of Ukraine, Kiev*
42, Academic Vernadskyi Ave., 03142 Kiev, Ukraine, e-mail: bantam@ukr.net

Desalination of Chloride-Sulfate Brackish Water with an Electrodialyzer with Improved Design

It has been studied that the process of desalination and preconcentration of imitates of brackish chloride-sulfate water with electrodialyzer with improved designs provides high efficiency: it was found that at a current density of 1.0 A/dm^2 for 63–105 min, simulate

with an initial concentration of NaCl of 4.3 can be desalted — 8.6 g/dm³ to a chloride-water content below the MPC level in drinking water while concentrating brines to 110.7–135.8 g/dm³. When SO₄²⁻ ions are introduced into the initial solution, a decrease in the content of Cl⁻ ions and an increase in the content of SO₄²⁻ ions in the dilute are observed due to the intensification of the competing transfer of the latter through the ion-exchange membrane. In this regard, in order to achieve the MPC of these ions in drinking water, the duration of the electrodialysis process should be increased. *Ref. 12, Fig. 3, Tab. 2.*

Key words: brackish water, electrodialysis, desalination, concentration, diluate, brine.

References

1. Mala ghirnycha encyklopedija [Small mountain encyclopedia]. Ed. V.S.Biletskyj. 2004. Donetsk : Skhidnyj vydavnychyj dim, 2004. 752 p. (Ukr.)
2. Prichernomorskiy artezianskiy basseyn. — <https://ru.wikipedia.org/wiki/23.07.2019>. (Rus.)
3. DSTU 7525:2014. Voda pytna. Vymoghy ta metody kontroljuvannya jakosti. [Drinking water. Quality control requirements and methods]. Kiev : Minekonomrozvytku Ukrainy, 2014. 26 p. (Ukr.)
4. Vsyemirnaya Organizatsiya Zdravookhranyeniya. Nutrienty v pitevoy vode. Voda, sanitariya, okhrana zdorovya i okruzhayushchey sredy. [World Health Organization. Nutrients in drinking water. Water, sanitation, health and the environment]. — http://stlfilter.com.ua/index.php?route=blog/article&article_id=1 25.09.2019. (Rus.)
5. [Desalination and demineralization]. — http://ros-pipe.ru/tekh_info/tehnicheskie-stati/vodoprovodnye-sistemy-i-oborudovanie/otraslevye-resheniya/obessolivanie-i-opresnenie-vody. 25.09.2019. (Rus.)
6. Pat. 95026 Ukr., MPC C 02 F 1/469, B 01 D 61/42. Elektrodializator-konzentrator. [Desalination and demineralization]. V.V.Ghoncharuk, D.D. Kucheruk, M.M.Balakina. No. a 201004111; zayavl. 08.04.2010. Publ. 25.06.2011, Bull. 12. (Ukr.)
7. DSTU ISO 9297:2007. Jakistj vody. Vyznachennja khlorydiv. Tytruvannya nitratom sribla iz zastosu-
- vannjam khromatu jak indykatora (metod Mora). [Water quality. Determination of chlorides. Titration of silver nitrate using chromate as an indicator (Mora method). Kiev : Derzhspozhivstandart Ukrainy, 2010. 10 p. (Ukr.)
8. GOST 4389-72. Voda pitevaya. Metody opredeleniya soderzhaniya sulfatov. [Drinking water. Methods for determination of sulphate content]. Moscow : Izdatelstvo standartov, 1972. 9 p. (Rus.)
9. Grebenyuk V.D. Elektrodializ. [Electrodialysis]. Kiev : Tekhnika, 1976. 160 p. (Rus.)
10. Kovalev V.V., Kovaleva O.V. Teoreticheskie i prakticheskie aspekty elektrokhimicheskoy obrabotki vody. [Theoretical and practical aspects of electrochemical water treatment]. Kishineu : Moldavsky gosudarstvennyy universitet, 2003. 414 p. (Rus.)
11. Maksin V. I., Skorobogach Ye. V. Pererabotka rastvorov posle opresneniya sulfatno-khlordnykh mineralizovannykh vod. [Processing solutions after desalination of sulphate-chloride mineralized water]. *Khimiya i tekhnologiya vody* [Chemistry and Water Technology]. 1989. 11 (3). pp. 263–266. (Rus.)
12. Abolonin B.Ye., Kuznetsova I.M., Kharlampidi Kh.E. Osnovy khimicheskikh proizvodstv. [Fundamentals of chemical production]. Moscow : Khimiya, 2001. 472 p. (Rus.)

Received February 3, 2020