

УДК 543.42.613

*О.І. Юрченко^а, М.В. Ніколенко^б, О.М. Бакланов^а, Т.В. Черножук^а***ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОЧАСТОТНОГО УЛЬТРАЗВУКУ ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ СОРБЦІЇ ГУМІНОВИХ РЕЧОВИН ІЗ РОЗСОЛІВ**^а Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків, Україна^б ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна

Для інтенсифікації сорбційного концентрування гумінових речовин із хлоридно-натрієвих розсолів запропоновано використання високочастотного ультразвуку. Експериментально встановлено оптимальні параметри використання ультразвуку: частота 11,0–12,0 МГц, інтенсивність 7,5–8,5 Вт/см², час дії не менше, ніж 2,0 хв. При дії високочастотного ультразвуку ступінь вилучення гумінових речовин із розсолів з концентрацією хлориду натрію 150 г/л підвищується порівняно з використанням ультразвуку низької частоти на сорбенті вофатит від 91,3–93,2% до 97,3–98,2%, а на сорбенті диетиламіноетилцелюлози (ДЕАЕЦ) від 93,2–95% до 98,1–99,0%. Крім того, вплив високочастотного ультразвуку дозволяє кількісно (ступінь вилучення і90%) сорбувати гумінові речовини з більш концентрованих розсолів. На сорбенті вофатит кількісна сорбція гумінових речовин можлива до концентрації хлориду натрію 200 г/л, а на сорбенті ДЕАЕЦ – 250 г/л. Розроблено методику спектрофотометричного визначення вмісту гумінових речовин у розсолах з нижньою межею визначення гумінових кислот 0,002 мг/л і фульвокислот 0,001 мг/л.

Ключові слова: розсоли, гумінові речовини, високочастотний ультразвук, нижня межа визначення, спектрофотометрія, метрологічні характеристики.

DOI: 10.32434/0321-4095-2022-143-4-109-114

Вступ

Природні хлоридно-натрієві розсоли є сировиною для одержання важливого харчового продукту – кухонної солі чреним або вакуум-випарним способами. При цьому вміст важких металів, таких як свинець, мідь і кадмій, нормується санітарно-протиепідемічними нормами та правилами [1–3]. Природні хлоридно-натрієві розсоли містять гумінові речовини (ГР) – гумінові та фульвокислоти, що утворюють міцні комплексні з'єднання з важкими металами, ускладнюючи їх попереднє концентрування екстракцією, сорбцією, співосадженням і, як результат, кількісне визначення [3]. У зв'язку з цим інформація про вміст гумінових речовин у природних розсолах є дуже важливою.

Основним етапом визначення ГР у розсолах є їх попереднє концентрування. Найбільш ефективним вважається сорбція на сорбентах вофатиті та диетиламіноетилцелюлозі (ДЕАЕЦ).

Однак ступінь вилучення гумінових речовин із природних розсолів не перевищує 80% [4,5].

Автори роботи [6] показали підвищення ефективності адсорбції гумінових речовин на активному вугіллі дією ультразвуку частотою 20 кГц інтенсивністю 60 Вт/см² протягом 1 хв.

В роботі [7] використано ультразвук різних частот та інтенсивностей для інтенсифікації масообмінних процесів. Було використано ультразвук з частотою від 100 кГц до 5 МГц і інтенсивністю до 12 Вт/см². Встановлено, що з підвищенням частоти ультразвуку ступінь сорбції гумінових речовин на активованому вугіллі зростає і досягає максимального значення 96% при використанні ультразвуку з частотою 5 МГц і інтенсивністю 8 Вт/см². Показана необхідність продовження досліджень з використанням ультразвуку більш високої частоти.

Нами раніше було показано, що використання низькочастотного ультразвуку з частотою

© О.І. Юрченко, М.В. Ніколенко, О.М. Бакланов, Т.В. Черножук, 2022



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Use of high-frequency ultrasound to intensify the sorption of humic substances from brines

35–45 кГц, інтенсивністю 0,5–3,0 Вт/см² протягом більше 1,0 хв для інтенсифікації сорбційного концентрування дозволяє підвищити ступінь вилучення гумінових речовин із розсолів концентрацією 150 г/л, порівняно з використанням механічного перемішування, на сорбенті вофатит від 73–76% до 91–93%, а на сорбенті ДЕАЕЦ – від 78–80% до 93–95% [8].

Без впливу ультразвуку кількісна сорбція (ступінь вилучення і90%) гумінових речовин із розсолів можлива на сорбенті вофатит до концентрації по хлориду натрію 40 г/л, а на сорбенті ДЕАЕЦ – 100 г/л [4,5].

Відомо, що використання височастотного ультразвуку для інтенсифікації масообмінних процесів вважається більш ефективним, ніж низькочастотного, завдяки більшій інтенсивності акустичних течій [9]. Так, використання височастотного ультразвуку з частотою 2–4 МГц для інтенсифікації співосадження свинцю, міді та кадмію дозволяє досягти ступеня вилучення 98–99%, а низькочастотного – 94–95% [3,9].

Наскільки нам відомо, використання височастотного ультразвуку для інтенсифікації сорбційного концентрування ГР із розсолів в літературі не описано.

Дана робота присвячена вивченню використання височастотного ультразвуку для інтенсифікації сорбції гумінових речовин із розсолів.

Методика експерименту

Вміст ГР встановлювали спектрофотометрично за їх власним поглинанням з використанням спектрофотометра СФ-46 та сорбції на сорбентах вофатит та диетиламіноетилцелюлозі виробництва фірми «Reanal» (Угорщина), що рекомендується для аналізу природних вод. Підготовку сорбентів проводили відповідно до рекомендацій [4,5].

Для приготування модельних розчинів ГР готували препарати гумінових кислот (ГК) та фульвокислот (ФК), виділених з розсолів соляного озера Барса-Кельмес (Казахстан) і соляних басейнів Генічеського солезаводу (Україна) за методикою, наведеною в [10,11].

Використовували п'єзоелектричні випромінювачі ультразвуку (УЗ) з резонансними частотами 10, 11, 12 та 13 МГц виробництва дослідно-експериментального машинобудівного заводу Українського науково-дослідного інституту соляної промисловості типу ЦТС-19М, виготовлені з цирконату титану-свинцю із захисним покриттям із фторопласту, що підключалися до лампового генератора ультразвуку типу 24-

УЗГИ-К-1,24М (Україна) [9,11].

Інтенсивність УЗ визначали розрахунковим та експериментальним методами з використанням ультразвукових торсійних ваг ІМУ-3 та ультразвукового аналізатора швидкості ультразвуку УЗАС-7 (Україна) [3,9]. Результати обох методів виявилися досить близькими.

Досліди здійснювали в такий спосіб. Модельні розчини ГК або ФК (50 мг/л) приливали до розчинів хлориду натрію, встановлювали необхідну величину рН розчину за допомогою соляної кислоти або гідроксиду натрію, вводили сорбент та діяли ультразвуком з частотою 10,5–13,0 МГц та інтенсивністю 7,0–9,0 Вт/см² протягом 1,5–3,5 хв. Також ті ж самі модельні розчини обробляли низькочастотним ультразвуком за встановлених нами раніше оптимальних умов: частотою 35–45 кГц, інтенсивністю 0,5–3,0 Вт/см² протягом більше 1,0 хв [8]. У зв'язку з тим, що при дії УЗ температура змінювалася від 20 до 24°C досліди також виконували при використанні ультратермостата УТ-15 та реактора з водяною сорочкою для підтримання стабільних температур (20,0±0,5)°C та (24,0±0,5)°C.

Після відокремлення сорбентів фільтруванням десорбували гумінові речовини розчином 0,1 М гідроксиду натрію [4,8]. Десорбцію виконували під дією УЗ із частотою 45 кГц, інтенсивністю 3,0 Вт/см² протягом 2 хв [8]. В одержаному розчині спектрофотометрично визначали вміст гумінових кислот та фульвокислот [8].

Поділ ГР на ГК та ФК виконували підкисленням концентрату соляною кислотою до рН 1,0 з нагріванням розчину до 60°C. Фракцію ГК відокремлювали мембранною фільтрацією (0,45 мкм) [4,5,10]. Осад ГК розчиняли на фільтрі 0,1 М розчином натрій гідроксиду. Концентрації ГК і ФК встановлювали спектрофотометрично при довжинах хвиль 415 і 280 нм відповідно [4,5,8].

Результати та обговорення

Під дією височастотного УЗ ступінь вилучення ГР із розчинів з концентрацією хлориду натрію 150 г/л підвищується порівняно з використанням УЗ низької частоти на сорбенті вофатит від 91,3–93,2% до 97,3–98,2%, а на сорбенті ДЕАЕЦ – від 93,2–95% до 98,1–99,0% (табл. 1). Крім того, вплив височастотного УЗ дозволяє кількісно (ступінь вилучення ≥90%) сорбувати ГР з більш концентрованих розсолів. На сорбенті вофатиті кількісна сорбція ГР можлива до концентрації хлориду натрію 200 г/л, а на сорбенті ДЕАЕЦ – 250 г/л (табл. 1).

Оптимальними параметрами УЗ є наступні:

Таблиця 1

Вплив концентрації хлориду натрію та параметрів ультразвуку на ступінь вилучення гумінових речовин *

Параметри ультразвуку	Концентрація NaCl, г/л	Ступінь вилучення ГР, %			
		на сорбенті вофатит		на сорбенті ДЕАЕЦ	
		ГК	ФК	ГК	ФК
УЗ із частотою 11 МГц, інтенсивністю 7,5 Вт/см ² , час дії 2 хв **	150	97,3	98,2	98,1	99,0
	200	90,5	93,4	97,4	98,2
	250	78,1	83,6	90,3	92,1
	300	45,1	63,4	57,2	68,4
УЗ із частотою 45 кГц, інтенсивністю 3,0 Вт/см ² , час дії 2 хв [8] ***	150	91,3	93,2	93,2	95,5
	200	28,2	65,3	47,4	70,5
	250	3,2	12,4	38,4	41,3
	300	–	–	12	23

Примітки: * – у цій таблиці і у наступних наведені усереднені результати шести дослідів. ** – наведені оптимальні параметри ультразвуку згідно з здійсненими дослідженнями (табл. 2–4). *** – наведені для порівняння оптимальні параметри ультразвуку згідно з даними [8].

частота 11,0–12,0 МГц, інтенсивність 7,5–8,5 Вт/см², час дії не менше, ніж 1 хв (табл. 2–4).

З табл. 2 видно, що найкращі результати було отримано при використанні ультразвуку частотою 11,0–12,0 МГц. Саме при цих параметрах ультразвуку спостерігаються найбільш інтенсивні акустичні течії, що сприяють найбільш ефективному перемішуванню, що є визначальним фактором при інтенсифікації даного процесу [11,12].

Як видно з результатів дослідів з вивчення впливу інтенсивності ультразвуку на ступінь вилучення гумінових речовин (табл. 3), найкращі результати було отримано при використанні УЗ з інтенсивністю 7,5–8,5 Вт/см². Слід зазначити, що при інтенсивності ультразвуку більше, ніж 8,5 Вт/см², спостерігається різке зниження ступеня вилучення ГР, що свідчить про їхне руйнування при таких параметрах ультразвуку, частоті та інтенсивності [7]. Менші значення ступеня вилучення при інтенсивності ультразвуку менше, ніж 7,5 Вт/см², ймовірно, пов'язано

із недостатньою інтенсивністю акустичних течій за таких параметрів ультразвуку [11,12]. Слід також зазначити, що зміна температури дослідів з 20 до 24°C практично не вплинула на отримані результати (табл. 3).

Як видно з результатів досліджень впливу часу дії ультразвуку на ступінь вилучення гумінових речовин (табл. 4), час дії ультразвуку повинен бути не менше, ніж 2,0 хв.

Правильність запропонованої методики визначення ГР у розсолах перевірено методом добавок на зразках природних розсолів (табл. 5). З отриманих даних видно, що вміст ГК у розсолах не перевищує 0,043 мг/л, а вміст ФК – 12,008 мг/л. Таким чином, в розсолах в розчиненому та колоїдному станах присутні, головним чином, ФК.

Слід також зазначити, що використання низькочастотного ультразвуку для інтенсифікації десорбції гумінових речовин згідно з даними [8] виявилось більш ефективним, ніж використання високочастотного ультразвуку, що ймовірно

Таблиця 2

Вплив частоти ультразвуку на ступінь вилучення гумінових речовин *

Сорбент	Ступінь вилучення ГК, % / ступінь вилучення ФК, %				
	частота ультразвуку, МГц				
	10,5	11,0	12,0	12,5	13,0
Вофатит	88,3/89,1	90,5/93,4	91,0/93,5	84,7/90,3	87,0/89,5
ДЕАЕЦ	82,1/89,2	97,4/98,2	96,1/97,9	89,5/93,7	88,7/90,9

Примітка: * – використовували модельний розсіл з концентрацією хлориду натрію 200 г/л. Введено ГК 2 мг/л, ФК 10 мг/л. Кількість сорбенту ДЕАЕЦ 1 г, сорбенту вофатит 2 г [4,5]. Для десорбції використовували 15 мл 0,1 М розчину гідроксиду натрію. Десорбцію виконували під дією УЗ із частотою 45 кГц, інтенсивністю 3,0 Вт/см² протягом 2 хв [8]. Інтенсивність ультразвуку 7,5 Вт/см², час дії 2 хв.

Таблиця 3

Вплив інтенсивності ультразвуку на ступінь вилучення гумінових речовин *

Сорбент	Ступінь вилучення ГК, %/ступінь вилучення ФК, %				
	інтенсивність ультразвуку, Вт/см ²				
	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0
Вофатит **	85,2/90,0	90,5/93,4	91,2/93,8	84,3/90,5	11,5/16,7
ДЕАЕЦ **	90,1/90,9	97,4/98,2	96,3/97,2	89,0/93,3	12,3/19,1
Вофатит ***	85,3/90,1	90,7/93,5	91,3/93,7	84,3/90,6	11,6/16,6
ДЕАЕЦ ***	90,4/90,9	97,3/98,3	96,4/97,3	89,2/93,1	12,4/19,2

Примітка: * – використовували модельний розсіл з концентрацією хлориду натрію 200 г/л. Введено ГК 2 мг/л, ФК 10 мг/л. Кількість сорбенту ДЕАЕЦ 1 г, сорбенту вофатит 2 г [4,5]. Для десорбції використовували 15 мл 0,1 М розчину гідроксиду натрію. Десорбцію виконували під дією УЗ із частотою 45 кГц, інтенсивністю 3,0 Вт/см² протягом 2 хв [8]. Частота ультразвуку 11,0 МГц, час дії 2 хв. Досліди виконували в умовах стабільних температур: ** – 20°C та *** – 24°C.

Таблиця 4

Вплив часу дії ультразвуку на ступінь вилучення гумінових речовин *

Сорбент	Ступінь вилучення ГК, %/ступінь вилучення ФК, %				
	час дії ультразвуку, хв				
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Вофатит	85,2/90,0	90,5/93,4	91,3/93,5	90,7/93,2	90,4/93,6
ДЕАЕЦ	90,1/90,9	97,4/98,2	97,5/98,0	97,2/98,0	97,3/98,3

Примітка: * – використовували модельний розсіл з концентрацією хлориду натрію 200 г/л. Введено ГК 2 мг/л, ФК 10 мг/л. Кількість сорбенту ДЕАЕЦ 1 г, сорбенту вофатит 2 г [4,5]. Для десорбції використовували 15 мл 0,1 М розчину гідроксиду натрію. Десорбцію виконували під дією УЗ із частотою 45 кГц, інтенсивністю 3,0 Вт/см² протягом 2 хв [8]. Частота ультразвуку 11,0 МГц, інтенсивність ультразвуку 7,5 Вт/см².

Таблиця 5

Результати визначення гумінових і фульвокислот у розсолах

Об'єкт аналізу	Введено ГК та ФК, мг/л	Знайдено мг/л /S _t (n=6)	
		ГК	ФК
Розсіл ТОВ Слов'янська солевидобувна компанія	0	0,012/0,063	1,059/0,047
	ГК 0,05; ФК 1,00	0,061/0,044	2,035/0,039
Розсіл Генічеського солезаводу	0	0,034/0,057	9,783/0,045
	ГК 0,05; ФК 5,00	0,083/0,049	14,494/0,053
Розсіл Геройського солезаводу	0	0,022/0,052	10,371/0,056
	ГК 0,05; ФК 5,00	0,071/0,050	15,124/0,049
Розсіл Долинського солезаводу	0	0,014/0,065	9,439/0,054
	ГК 0,05; ФК 5,00	0,062/0,08	14,342/0,063
Розсіл Болехівського солезаводу	0	0,023/0,053	9,375 /0,053
	ГК 0,05; ФК 5,00	0,071/0,048	14,149/0,064
Розсіл озера Світлиця (Казахстан)	0	0,037/0,048	8,761/0,06
	ГК 0,05; ФК 5,00	0,086/0,060	13,528/0,052
Розсіл озера Барса-Кельмес (Казахстан)	0	0,043/0,047	12,008/0,053
	ГК 0,05; ФК 5,00	0,090/0,062	16,788/0,049

пов'язано з необхідністю часткового руйнування сорбенту під час десорбції [9].

Висновки

Вивчено закономірності сорбції ГР з розсолів на сорбентах вофатит та ДЕАЕЦ при інтенсифікації під дією високочастотного ультразвуку. Встановлені оптимальні параметри ультразвуку: частота, інтенсивність та час дії. При дії високочастотного УЗ ступінь вилучення гумінових речовин із розсолів підвищується порівняно з використанням УЗ низької частоти. Також вплив високочастотного УЗ дозволяє кількісно (ступінь вилучення $\geq 90\%$) сорбувати ГР з більш концентрованих розсолів. При цьому на сорбенті вофатит кількісна сорбція ГР можлива до концентрації хлориду натрію 200 г/л, а на сорбенті ДЕАЕЦ – 250 г/л. Розроблено методику спектрофотометричного визначення вмісту гумінових речовин у розсолах з нижньою межею визначення гумінових кислот 0,002 мг/л, фульвокислот – 0,001 мг/л. Правильність запропонованої методики визначення ГР у розсолах перевірено методом добавок на зразках природних розсолів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Sharma A., Anthal R. Fulvic acid isolation and characterisation from water of a Ramsar Lake Mansar, J&K, India // *Appl. Water Sci.* – 2022. – Vol.12. – Art. No. 1.
2. Xiao K., Horn H., Abbt-Braun G. «Humic substances» measurement in sludge dissolved organic matter: a critical assessment of current methods // *Chemosphere.* – 2022. – Vol.293. – Art. No. 133608.
3. Аналітична хімія кухонної солі та розсолів / Бакланов О.М., Чмиленко Ф.О., Авдеєнко А.П., Бакланова Л.В. – Краматорськ: ДДМА, 2011. – 288 с.
4. Сорбционное концентрирование фульвокислот при анализе вод / Тулюпа Ф.М., Попович Г.М., Лантух Г.В. и др. // *Химия и технол. воды.* – 1989. – Т.11. – № 7. – С.611-613.
5. Сорбционное концентрирование гуминовых кислот из вод / Попович Г.М., Тулюпа Ф.М., Лантух Г.В., Корюкова Л.В. // *Химия и технол. воды.* – 1989. – № 3. – С.241-244.
6. Stepniak L., Olesiak P., Stanczyk-Mazanek E. Comparison of ultrasound-assisted sorption under different conditions of the process // *Chem. Eng. Trans.* – 2013. – Vol.32. – P.493-498.
7. Breitbach M., Bathen D. Influence of ultrasound on adsorption processes // *Ultrason. Sonochem.* – 2001. – Vol.8. – No. 3. – P.277-283.

8. Бакланов А.Н., Сидорова Л.П., Чмиленко Ф.А. Концентрирование гуминовых веществ из рассолов с использованием ультразвука // *Химия и технол. воды.* – 2000. – Т.22. – № 3. – С.281-289.

9. Yurchenko O., Baklanov A., Chernozhuk T. Chemical applications of ultrasound. On the use of ultrasound in the analyses and technology of brines and sodium chloride solutions. – Lambert academic publishing, 2021. – 185 p.

10. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. – 272 с.

11. *Ultrasound-assisted* dispersive microsolid-phase extraction approach for preconcentration of trace cobalt and nickel and sensitive determination in water, food and tobacco samples by flame atomic absorption spectrometry / Gouda A.A., El Sheikh R., Khedr A.M., Al Ezz S.A., Gamil W., El-Gabry M.M., Youssef E.H. // *Int. J. Environ. Anal. Chem.* – 2021. – Vol.5. – P.1-8.

12. Маргулис М.А. Звукохимические реакции и сонолюминесценция. – М.: Химия, 1986. – 288 с.

Надійшла до редакції 01.02.2022

USE OF HIGH-FREQUENCY ULTRASOUND TO INTENSIFY THE SORPTION OF HUMIC SUBSTANCES FROM BRINES

O.I. Yurchenko^a, M.V. Nikolenko^b, O.M. Baklanov^{a,}, T.V. Chernozhuk^a*

^a V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

^b Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

* e-mail: baklanov_oleksandr@meta.ua

To intensify the sorption concentration of humic substances from sodium chloride brines, the use of high-frequency ultrasound has been proposed. The optimal parameters of ultrasound were experimentally established as follows: frequency of 11.0–12.0 MHz, sound intensity of 7.5–8.5 W/cm², and duration of action not less than 2.0 min. Under the action of high-frequency ultrasound as compared to the use of low-frequency ultrasound, the degree of extraction of humic substances from brines with a concentration of sodium chloride of 150 g/l increases from 91.3–93.2% to 97.3–98.2% and from 93.2–95.0% to 98.1–99.0% on wofatit sorbent and diethylaminoethyl cellulose sorbent, respectively. In addition, the effect of high-frequency ultrasound allows quantitatively sorbing humic substances from more concentrated brines (degree of extraction $\geq 90\%$). Moreover, quantitative sorption of humic substances is possible up to a concentration of sodium chloride of 200 g/l and 250 g/l on the wofatit sorbent and diethylaminoethyl cellulose sorbent, respectively. We developed a method for spectrophotometric determination of the content of humic substances in brines with the lower limits of determination of 0.002 mg/l and 0.001 mg/l for humic acids and fulvic acids, respectively.

Keywords: brines; humic substances; high-frequency ultrasound; lower limit of determination; spectrophotometry; metrological characteristics.

REFERENCES

1. Sharma A, Anthal R. Fulvic acid isolation and characterisation from water of a Ramsar Lake Mansar, J&K, India. *Appl Water Sci.* 2022; 12: 1. doi: 10.1007/s13201-021-01536-9.
2. Xiao K, Horn H, Abbt-Braun G. «Humic substances» measurement in sludge dissolved organic matter: a critical assessment of current methods. *Chemosphere.* 2022; 293: 133608. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.133608.
3. Baklanov OM, Chmilenko FO, Avdeenko AP, Baklanova LV. *Analitychna khimiya kukhonnoyi soli ta rozsoliv* [Analytical chemistry of table salt and brines]. Kramators'k: DDMA; 2011. 288 p. (in Ukrainian).
4. Tulyupa FM, Popovich GM, Lantukh GV. Sorbtionnoe kontsentriruvanie ful'vokislot pri analize vod [Sorption concentration of fulvic acids when analyzing waters]. *Khimiya i Tekhnologiya Vody.* 1989; 11(7): 611-613. (in Russian).
5. Popovich GM, Tulyupa FM, Lantukh GV, Koryukova LV. Sorbtionnoe kontsentriruvanie guminovykh kislot iz vod [Sorption concentration of humic acids from waters]. *Khimiya i Tekhnologiya Vody.* 1989; 11(3): 241-244. (in Russian).
6. Stepniak L, Olesiak P, Stanczyk-Mazanek E. Comparison of ultrasound-assisted sorption under different conditions of the process. *Chem Eng Trans.* 2013; 32: 493-498. doi: 10.3303/CET1332083.
7. Breitbach M, Bathen D. Influence of ultrasound on adsorption processes. *Ultrason Sonochem.* 2001; 8: 277-283. doi: 10.1016/S1350-4177(01)00089-X.
8. Baklanov AN, Sidorova LP, Chmilenko FA. Kontsentriruvanie guminovykh veshchestv iz rassolov s ispol'zovaniem ul'trazvuka [Ultrasound-assisted sorption concentration of humic substances from brines]. *Khimiya i Tekhnologiya Vody.* 2000; 22(3): 281-289. (in Russian).
9. Yurchenko O, Baklanov A, Chernozhuk T. *Chemical applications of ultrasound. On the use of ultrasound in the analyses and technology of brines and sodium chloride solutions.* Lambert Academic Publishing; 2021. 185 p.
10. Orlov DS, Grishina LA. *Praktikum po khimii gumusa* [The practical guide on chemistry of humus]. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo Universiteta; 1981. 272 p. (in Russian).
11. Gouda AA, El Sheikh R, Khedr AM, Al Ezz SA, Gamil W, El-Gabry MM, Youssef EH. Ultrasound-assisted dispersive microsolid-phase extraction approach for preconcentration of trace cobalt and nickel and sensitive determination in water, food and tobacco samples by flame atomic absorption spectrometry. *Int J Environ Anal Chem.* 2021; 5: 1-8. doi: 10.1080/03067319.2021.1928106.
12. Margulis MA. *Zvukokhimicheskiye reaktsii i sonolyuminesentsiya* [Acoustochemical reaction and sonoluminescence]. Moscow: Khimiya; 1986. 288 p. (in Russian).