

FTAMP 61.01.77 : 70.85.29

Г.Б. Курманбаев¹ – негізгі автор, ©
Ш.М. Умбетова², У. Умбетов³,
Н.С. Кулмурзаев⁴, Ж.С. Асанова⁵



^{1,2}Техн. ғылым. канд., ³Техн. ғылым. д-ры, профессор, ⁴Экон. ғылым. канд.,
⁵Магистр

ORCID

¹<https://orcid.org/0009-0002-0683-9926> ²<https://orcid.org/0000-0001-7716-9822>
³<https://orcid.org/0000-0001-6931-7944> ⁴<https://orcid.org/0000-0003-1240-1912>
⁵<https://orcid.org/0000-0003-4456-9891>



¹Қызылорда Ашық университеті, Қызылорда, Қазақстан
^{2,4,5}Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан
³Болашақ университеті, Қызылорда, Қазақстан



²umbetova-37@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/FQKJ4566>

АҚАБА СУЛАРДЫ ОЗОН ЖӘНЕ АТМОСФЕРАЛЫҚ ОТТЕГІ АРҚЫЛЫ ТАЗARTY

Аңдатпа. Өндірістік ақаба сулардың, әсіресе мұнай өнімдерімен ластануының артуы жағдайында оларды тиімді тазарту әдістерін іздеу өзекті мәселе болып отыр. Ластанудың негізгі көзі – дәстүрлі әдістермен жоюы қиын көмірсутектер. Бұл зерттеуде озон мен атмосфералық оттегі қоспасын марганец диоксиді катализаторының әртүрлі концентрациясында пайдалану арқылы ақаба суларды тотығу әдісі ұсынылды. Органикалық синтез зауытының нақты су үлгілерінде 500-ден астам тәжірибе жүргізілді. Салыстырмалы талдау озонның тазарту тиімділігі жоғары екенін көрсетті (53%-ға дейін), ал оттегімен өңдеу кезінде бұл көрсеткіш 41% болды. Сонымен қатар, озон жарық өткізгіштікті арттыруда да басымдық танытты. Озон үшін MnO₂ катализаторының оңтайлы концентрациясы 1-2 г/л екені анықталды. Ұсынылған әдіс экологиялық және экономикалық тұрғыдан тиімді, катализаторды бірнеше рет қолдануға мүмкіндік береді және көмірсутектердің жоғары концентрациясы бар суларды тазартуда перспективалы болып табылады.

Тірек сөздер: суды озондау, ақаба сулар, атмосфера, су тазарту, ластану, концентрация.



Курманбаев, Г.Б. Ақаба суларды озон және атмосфералық оттегі арқылы тазарту [Мәтін] / Г.Б. Курманбаев, Ш.М. Умбетова, У. Умбетов, Н.С. Кулмурзаев, Ж.С. Асанова // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2025. – №4(90). – Б.303-310. <https://doi.org/10.55956/FQKJ4566>

Кіріспе. Қазіргі индустрияның даму жағдайында өндірістік қалдықтардың табиғи суларға түсуі жиілеп, оларды тиімді тазарту мәселесі өзекті бола түсуде [1]. Ластаушы заттардың көлемі ғана емес, олардың химиялық әртүрлілігі мен уыттылығы да артып келеді [2]. Дәстүрлі тазарту әдістері, әсіресе органикалық ластағыштарды жою мен шламдарды өңдеу саласында, тиімділігін жоғалтып отыр [3]. Ағаш өңдеу, целлюлоза-қағаз, металлургия және химия өнеркәсібі сияқты салалар суды қиын ыдырайтын заттармен ластайтын негізгі көздерге жатады [4].

Соңғы жылдары суды органикалық ластағыштардан тазарту үшін тотығу технологияларын қолдану кеңінен таралуда. Тотығу агенттері ретінде озон, хлор және хлор диоксиді сияқты заттар пайдаланылады [5-6]. Сонымен қатар, озон мен ультракүлгін сәуле, сутегі асқын тотығы мен екі валентті темір иондары, сондай-ақ сутегі асқын тотығы мен ультракүлгін сәуленің комбинациясы сияқты күрделі тотығу жүйелері де қолданылады [8].

Бұл әдістердің негізі – органикалық қосылыстарды төмен молекулалық салмақты және уытсыз бейорганикалық заттарға дейін ыдырату. Озон – ең тиімді тотығу агенттерінің бірі, себебі ол тіпті қиын тотығатын органикалық заттарды көмірқышқыл газы мен суға дейін ыдырата алады [9]. Озон тек өндірістік ақаба суларды ғана емес, ауыз суды халықаралық стандарттарға сай тазарту үшін де қолданылады [10]. Дегенмен, озонды өндіру көп энергияны қажет етеді, бұл оның негізгі кемшілігі болып табылады [11].

Ақаба суларды тазартудың тағы бір әдісі – атмосфералық ауадан алынған оттегіні пайдалану. Бұл әдіс экологиялық және технологиялық тұрғыдан қауіпсіз, әрі энергияны аз қажет етеді [12]. Алайда, бұл әдіс органикалық заттардың жоғары концентрациясы кезінде тиімділігін жоғалтады [13]. Сондықтан, ақаба суларды тотығу арқылы тиімді тазартудың жаңа жолдарын іздеу әлі де маңызды.

Қазіргі таңда әртүрлі ластағыштарға арналған тазарту әдістері көп болғанымен, әмбебап әрі жоғары тиімді әдіс әлі табылған жоқ [14]. Осы зерттеуде озон мен атмосфералық оттегіні қолдана отырып, марганец диоксидін катализатор ретінде пайдалану арқылы ақаба суларды тазартудың жаңа әдісі ұсынылады.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Зерттеудің шарттары – озон мен атмосфералық оттегіні пайдалану арқылы ақаба суларды тазартудың тиімді әдісін әзірлеу.

Міндеттері:

а) тотығу процесінде катализаторлардың тиімділігін бағалау және гидроксидтік пен пероксидтік радикалдардың түзілуін зерттеу;

ә) екі түрлі тотығу әдісінің тиімділігін салыстырып, ең тиімді катализатор концентрациясын анықтау.

Эксперименттер арнайы құрастырылған құрылғыда орындалды. Қондырғы келесі бөліктерден тұрды: ауа ағынын тазарту және кептіру блогы бар компрессор, озон генераторы, ротаметр, тотығу реакциясы жүретін реактор, газ анализаторы және озон қалдықтарын жоятын дегазатор. Атмосфералық оттегімен жұмыс істегенде озон генераторына ток берілмеді.

Әрбір тотығу әдісі бойынша 270 реттен, жалпы 540 тәжірибе жүргізілді. Бұл тәжірибелерде марганец диоксидінің әртүрлі концентрациялары қолданылды.

Зерттеу нысаны ретінде органикалық синтез зауытының ағынды сулары алынды. Бұл суларда ароматты және алифатты көмірсутектердің жоғары концентрациясы анықталды. Олар жоғары уыттылықпен және оттегіні көп тұтынуымен ерекшеленеді. Сонымен қатар, суларда сілтілік деңгейі жоғары болғандықтан, оларды күкірт қышқылымен бейтараптандыру қажет болды. Нәтижесінде түзілген сульфаттар мен шайыр эмульгаторларының мөлшері рұқсат етілген шектен асып кетті. Осы себептер зерттеуді жүргізуге негіз болды.

Әр тәжірибеде реакторға 1 литр ағынды су құйылып, оған марганец диоксидінің келесі концентрациялары қосылды: 0,01, 0,05, 0,1, 0,2, 0,5, 1,0, 2,0, 4,0 және 8,0 г/л. Әр концентрация үшін 30 қайталау жасалды. Озон мен

ауа қоспасы 3,0 г/л озон концентрациясымен және 80 л/сағ шығынымен берілді. Атмосфералық оттегімен де дәл осындай параметрлер қолданылды. Эксперименттер бөлме температурасында (20-22°C) жүргізілді, бұл кинетикалық аймақ шарттарына сәйкес келеді.

Оттегі тұтыну деңгейі бихромат әдісімен анықталды. Бұл әдісте органикалық заттар калий бихроматы мен күкірт қышқылының 1:1 қатынасындағы ерітіндісімен тотығады. Бұл әдіс химиялық оттегі тұтынуын дәл анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, жарық өткізгіштік коэффициенті 5 см кювета және 400 нм толқын ұзындығы арқылы өлшенді.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Барлық мәліметтер Excel бағдарламасына енгізілді. Орташа мәндер мен стандартты қателіктер есептелді. Өртүрлі эксперимент нәтижелерінің айырмашылығын бағалау үшін Стьюденттің t-тесті қолданылды. Сенімділік деңгейі $p \leq 0,05$ деп алынды. Жарық өткізгіштік пен тазарту тиімділігі пайызбен көрсетілді.

Зерттеу нәтижелері бойынша, озон мен атмосфералық оттегі қоспаларын қолдану арқылы ақаба суларды тотығу арқылы тазарту тиімділігі өңдеу уақытына және катализатор концентрациясына тікелей байланысты екені анықталды. Ең жоғары тотығу белсенділігі тазарту процесі басталғаннан кейінгі алғашқы 15-30 минут аралығында байқалды.

Озонмен өңдеу кезінде алғашқы 15 минут ішінде химиялық оттегі тұтыну деңгейінің төмендеуі атмосфералық оттегімен салыстырғанда айтарлықтай жоғары болды ($p \leq 0,05$). 30 минуттан кейін екі әдістің де тиімділігі тұрақтанып, оттегі тұтыну деңгейі өзгеріссіз қалды. Алайда, марганец диоксиді катализаторының қатысуымен озон қолданылған жағдайда, атмосфералық оттегімен салыстырғанда оттегі тұтыну деңгейі едәуір төмен болды ($p \leq 0,05$).

Катализатор концентрациясы 0,1-0,5 г/л-ден 1-2 г/л-ге дейін артқанда, екі тотығу әдісі де жоғары тиімділік көрсетті. 30 минуттық өңдеуде озонмен тазарту тиімділігі 53%-ға, ал атмосфералық оттегімен – 41%-ға жетті. Бұл озонның катализатор қатысқан жағдайда да тиімдірек екенін көрсетеді ($p \leq 0,05$). Бұл жоғары тиімділікті марганец диоксидінің екі электронды тотығу реакциясына қатысып, манганаттар түзуімен түсіндіруге болады. Бұл қосылыстар сілтілік ортада көмірсутектермен әрекеттесіп, қайтадан тұрақты марганец диоксидіне айналады.

Соңғы уақытта суды ультракүлгін сәулемен тазарту әдісін хлорлауға балама ретінде қолдану үрдісі байқалуда. Бұл әдістің тиімділігі судың мөлдірлігіне байланысты болғандықтан, зерттеуде жарық өткізгіштік көрсеткіші де ескерілді.

Катализатор қатысқан жағдайда жарық өткізгіштіктің ең жоғары көрсеткіші озонмен 1 сағат өңдегенде 83%-ға жетті (0,01 г/л концентрациясында). Атмосфералық оттегімен бұл көрсеткіш 52% болды ($p \leq 0,05$), бірақ катализатор концентрациясы 1 г/л-ге дейін арттырылды. Бұл озонның тиімділігі жоғары екенін және жарық өткізгіштікке жету үшін атмосфералық оттегімен салыстырғанда аз катализатор қажет екенін көрсетеді. Озонның жоғары тиімділігі оның қос байланыстармен әрекеттесіп, қосылу реакцияларын жүргізу қабілетіне байланысты. Ал атмосфералық оттегі гидроксил және пероксид радикалдары арқылы байланыстарды үзу арқылы әрекет етеді.

Катализатор концентрациясы 1 және 2 (0,01 және 0,05 г/л) болғанда, жарық өткізгіштік көрсеткіштерінде айтарлықтай айырмашылық байқалмады. Алайда, 1 сағаттық өңдеуден кейін рН деңгейінің едәуір төмендеуі тіркелді

(кесте 1): озон үшін – $p \leq 0,01$, атмосфералық оттегі үшін – $p \leq 0,05$. Ең үлкен төмендеу алғашқы 15–30 минутта байқалды, кейін рН деңгейі баяу төмендеді ($p \leq 0,02$).

Кесте 1

Катализатор концентрациясы, өңдеу уақыты және тотығу әдісіне байланысты ағынды судың рН көрсеткіштері

Катализатор концентрациясы (г/л)	Озонмен өңдеу			Катализатор концентрациясы (г/л)	Атмосфералық оттегімен өңдеу		
	15 мин	30 мин	60 мин		15 мин	30 мин	60 мин
1	8,50	7,91	7,42	1	8,78	8,19	7,98
2	8,52	7,84	7,35	2	8,68	8,03	7,76
3	8,10	7,52	7,03	3	8,54	7,96	7,67
4	8,00	7,30	7,01	4	8,50	7,95	7,59
5	7,74	7,03	6,37	5	8,43	7,91	7,52
6	7,58	6,89	6,15	6	8,43	7,88	7,46
7	7,52	6,91	6,11	7	8,40	7,85	7,40
8	7,50	6,82	6,40	8	8,31	7,79	7,29
9	7,55	6,90	6,47	9	8,25	7,74	7,21

Катализатор концентрациясы 0,5 г/л-ден жоғары болғанда, өңдеудің алғашқы 30 минутынан кейін су құрамында көмірсутектер анықталмады. Бұл атмосфералық оттегі үшін ең тиімді концентрация – 2 г/л, ал озон үшін – 1 г/л екенін көрсетті. Тиімділік көрсеткіштері: озонмен – 53%, оттегімен – 42%. Жарық өткізгіштік: озонмен – 62%, оттегімен – 43%.

Зерттеу барысында зауыттан алынған жоғары көмірсутек концентрациясы бар су үлгілері зерттелді. Катализатор қатысқан жағдайда көмірсутектердің ең жоғары тотығуы оны енгізгеннен кейінгі алғашқы 30 минутта байқалды. Бұл ретте қолданылған тотығу агентінің түрі айтарлықтай рөл атқармады.

Атмосфералық оттегімен өңдеу кезінде катализатор концентрациясы 2 г/л болғанда тазарту тиімділігі едәуір артты ($p \leq 0,05$), ал озон үшін бұл көрсеткіш 1 г/л деңгейінде болды ($p \leq 0,05$, 2-кесте).

Кесте 2

Катализатор қосылғаннан кейін 30 минуттан соң озон және атмосфералық оттегімен өңделген ағынды судың сипаттамалары

Катализатор концентрациясы, г/л Mn^{4+}	Оттегі тұтыну коэффициенті (mgO_2/l)	Сілтілік деңгейі ($mg-экв/l$),	Жарық өткізгіштік (%)
1	2	3	4
Озонмен өңдеу			
0,001	7379	808	7
0,01	6708	800	7
0,02	6547	792	11
0,04	6413	784	13
0,1	6440	784	19
0,25	6118	784	17
0,5	5849	784	21
1,0	5474	768	25
2,0	5044	768	34
4,0	5071	768	33
8,0	4991	768	34

2-кестенің жалғасы

1	2	3	4
Атмосфералық оттегімен өңдеу			
0,001	7513	808	6
0,01	6923	808	9
0,02	6815	808	9
0,04	6815	808	9

Жарық өткізгіштік 35%-ға жеткен мәндер озон мен катализатор (2, 4, 8 г/л) қолданылғанда байқалды. Ал атмосфералық оттегімен бұл көрсеткіш тек 26% болды ($p \leq 0,05$). Сонымен қатар, озонмен өңдеу кезінде сілтіліктің төмендеуі де айтарлықтай жоғары болды (2-кесте). Бұл өзгерістер катализатор концентрациясы 1-8 г/л аралығында болғанда, алғашқы 30 минут ішінде байқалды. Атмосфералық оттегі үшін тиімді диапазон – 4-8 г/л ($p \leq 0,05$). Хромато-масс-спектрометриялық талдау нәтижесінде сілтіліктің төмендеуі органикалық қышқылдардың түзілуімен байланысты екені анықталды.

Мұнай-газ өнеркәсібі қоршаған ортаға ең көп зиян келтіретін салалардың бірі болып табылады. Бұл салада өндірілетін шикізаттың басым бөлігі көмірсутектерден тұрады [15], ал олар органикалық химия мен энергия үнемдеу технологияларында кеңінен қолданылады. Жыл сайын әлемде шамамен 3,5 миллиард тонна мұнай өндіріледі, оның 1%-ы қоршаған ортаға түссе де, бұл шамамен 35 миллион тоннаны құрайды. Бұған қоса, мұнай құбырларындағы апаттар, танкерлердегі төгілулер мен мұнай өңдеу зауыттарындағы өрттер экологиялық жағдайды одан әрі нашарлатады.

Қазіргі таңда мұнай өнімдерімен ластанған суларды тазартуға арналған физика-химиялық және биологиялық әдістердің түрлері көп. Ең жиі қолданылатын әдістердің бірі – коагуляция. Бұл әдісте алюминий мен темірдің оксигидраттары коагулянт ретінде пайдаланылады [16], сондай-ақ мұнай өңдеу қалдықтары да қолданылады. Коагулянттар мен флокулянттардың қоспалары еріген және ерімейтін көмірсутектерді тиімді бөлуге мүмкіндік береді [17]. Алайда, бұл әдістің кемшілігі – көп мөлшерде тұнба түзілуі, ал біздің әдісте мұндай құбылыс байқалмады. Сонымен қатар, бұл тұнбаны қайта өңдеу үшін ұзақ уақыт кептіру қажет (1,5-2 сағат).

Флотация әдісі ерімейтін көмірсутектердің 45-55%-ын, ал еріген түрлерінің 35-45%-ын жоя алады. Біздің әдіс орташа есеппен 50%-дан жоғары тиімділік көрсетті. Сонымен қатар, флотация кезінде оттегі тұтыну деңгейі 49%-ға дейін төмендесе, біздің әдісте бұл көрсеткіш 40-53% аралығында болды. Қысыммен флотация сияқты жетілдірілген әдістер де қолданылады, бірақ олардың энергия шығыны жоғары, бұл озон өндіруге кететін шығынмен шамалас.

Электрохимиялық әдіс көмірсутектерді анодта тотығу және катодта қалпына келтіру арқылы бөлуге бағытталған. Бұл әдісте алюминий мен темірден жасалған электродтар қолданылады, бірақ оның да энергия шығыны жоғары [18,19].

Соңғы жылдары адсорбция әдісі де кеңінен қолданылуда, оның тиімділігі 55%-ға дейін жетеді. Алайда, әртүрлі ластағыштарға әртүрлі адсорбенттер қажет, ал олардың физика-химиялық қасиеттері де әртүрлі. Біздің әдісте қолданылған марганец диоксиді катализаторы жоғары тиімділік көрсетті және оны кемінде бес рет қайта қолдануға болады, бұл оның экономикалық тиімділігін арттырады.

Қорытынды. Зерттеу нәтижелері озонды қолдану арқылы ақаба суларды тазарту атмосфералық оттегімен салыстырғанда анағұрлым тиімді екенін көрсетті. Бұл әсіресе көмірсутектердің жоғары концентрациясы бар суларды өңдеу кезінде байқалды. Тотығу процесінің тиімділігін арттыру үшін марганец диоксиді катализаторы қолданылды. Озонмен тазарту кезінде катализатордың тиімді концентрациясы 1-8 г/л аралығында, ал атмосфералық оттегі үшін – 4-8 г/л аралығында болды. Бұл озонды қолданғанда катализатордың шығыны аз болатынын көрсетеді.

Сонымен қатар, озон тек жоғары тазарту тиімділігін ғана емес, сонымен бірге судың жарық өткізгіштігін арттыру және сілтілікті төмендету сияқты қосымша артықшылықтар көрсетті. Марганец диоксиді катализаторы бірнеше рет қолдануға жарамды екені дәлелденді. Екінші циклде 2 г/л концентрациясында озонмен – 37%, ал оттегімен – 32% тазарту деңгейіне қол жеткізілді. Үшінші және төртінші циклдерде оттегі үшін тиімділік айтарлықтай өзгермеді ($p \geq 0,05$), ал озон үшін аздап төмендеді – 34% ($p \leq 0,05$). Бесінші циклде бұл көрсеткіштер озон үшін – 33%, оттегі үшін – 30% болды.

Осы нәтижелерге сүйене отырып, марганец диоксидін катализатор ретінде кемінде бес рет қолдануға болатыны анықталды, себебі оның белсенділігі 1-4% шегінде ғана төмендейді. Алайда, үздіксіз тазарту процесінде катализатордың толық дезактивациясын болдырмау үшін оны жаңартып отыру және пайдаланылған тұнбаны жүйеден шығару қажет.

Ұсынылған технология көмірсутектердің жоғары концентрациясы бар ақаба суларды тазарту үшін тиімді әрі үнемді әдіс ретінде ұсынылады.

Әдебиеттер тізімі

1. Rahman Hosseinzadeh Selective Oxidation of Hydrocarbons and Alcohols Using Phen-MCM-41 as an Efficient Co-Catalyst in Combination with NHPI-Based Nano-Magnetic Catalyst // Organic Preparations and Procedures International. – 2020. – Vol. 52, No. 2. – P. 99-109.
2. Yuan Sun et al. Oxidative degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in contaminated industrial soil using chlorine dioxide // Chemical Engineering Journal. – 2020. – Vol. 394. – P. 124857.
3. Durmusoglu E. et al. Health risk assessment of BTEX emissions in the landfill environment // Journal of Hazardous Materials. – 2010. – Vol. 176. – P. 870-877.
4. Tiantian Song et al. Adsorption Behaviors of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Oxygen Derivatives in Wastewater on N-Doped Reduced Graphene Oxide // Separation and Purification Technology. – 2021. – Vol. 254. – P. 117565.
5. Tian X. et al. A comprehensive review on toxic petrochemical wastewater pretreatment and advanced treatment // Journal of Cleaner Production. – 2020. – Vol. 245. – P. 118692.
6. Flores-Chaparro C.E. et al. Pillared graphene oxide composite as an adsorbent of soluble hydrocarbons in water: pH and organic matter effects // Journal of Environmental Management. – 2020. – Vol. 259. – P. 110044.
7. Backvall, J.E. Modern Oxidation Methods. – Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2012. – 300 p.
8. Mohammadi L. et al. Petroleum Hydrocarbon Removal from Wastewaters: A Review // Processes. – 2020. – Vol. 8. – P. 1-34.
9. Gkorezis P. et al. The Interaction between Plants and Bacteria in the Remediation of Petroleum Hydrocarbons: An Environmental Perspective // Frontiers in Microbiology. – 2016. – Vol. 7. – P. 1836.

10. Xie H. et al. Catalytic combustion of volatile aromatic compounds over CuO-CeO₂ catalyst // Korean Journal of Chemical Engineering. – 2017. – Vol. 34. – P. 1944-1951.
11. Ji H. et al. Degradation of petroleum hydrocarbons in seawater by simulated surface-level atmospheric ozone: Reaction kinetics and effect of oil dispersant // Marine Pollution Bulletin. – 2018. – Vol. 135. – P. 427-440.
12. Najafi A.R. et al. Enhancing biosurfactant production from an indigenous strain of *Bacillus mycoides* by optimizing the growth conditions using a response surface methodology // Chemical Engineering Journal. – 2010. – Vol. 163. – P. 188-194.
13. Silliman B.R. et al. Degradation and resilience in Louisiana salt marshes after the BP—Deepwater Horizon oil spill // Proceedings of the National Academy of Sciences USA. – 2012. – Vol. 109. – P. 11234.
14. Ahmed F. et al. A Review on Environmental Contamination of Petroleum Hydrocarbons and its Biodegradation // International Journal of Environmental Science and Natural Resources. – 2018. – Vol. 11. – P. 63-69.
15. Logeshwaran P. et al. Petroleum hydrocarbons (PH) in groundwater aquifers: An overview of environmental fate, toxicity, microbial degradation and risk-based remediation approaches // Environmental Technology & Innovation. – 2018. – Vol. 10. – P. 175-193.
16. Li Y. et al. Temporal and spatial trends of total petroleum hydrocarbons in the seawater of Bohai Bay, China from 1996 to 2005 // Marine Pollution Bulletin. – 2010. – Vol. 60. – P. 238-243.
17. Vilve M. et al. Degradation of 1,2-dichloroethane from wash water of ion-exchange resin using Fenton's oxidation // Environmental Science and Pollution Research. – 2010. – Vol. 17. – P. 875-884.
18. Lu Y. et al. Study on the removal of indoor VOCs using biotechnology // Journal of Hazardous Materials. – 2010. – Vol. 182. – P. 204-209.
19. Campo R. et al. Petrochemical slop wastewater treatment by means of aerobic granular sludge: Effect of granulation process on bio-adsorption and hydrocarbons removal // Chemical Engineering Journal. – 2019. – Vol. 378. – P. 122247.

Зерттеу жұмыстары ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылған АР26199445 «Суды озондау арқылы өңдеудің интеллектуалды жүйесін әзірлеу» жоба аясында орындалды.

Материал редакцияға 02.11.25 түсті, 20.11.25 қабылданды.

**Г.Б. Курманбаев¹, Ш.М. Умбетова², У. Умбетов³,
Н.С. Кулмурзаев², Ж.С. Асанова²**

¹Кызылординский открытый университет, Кызылорда, Казахстан

²Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан

³Университет Болашақ, Кызылорда, Казахстан

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД С ПОМОЩЬЮ ОЗОНА И АТМОСФЕРНОГО КИСЛОРОДА

Аннотация. В условиях роста загрязнения промышленных сточных вод, особенно нефтепродуктами, поиск эффективных методов их очистки становится актуальной задачей. Основным источником загрязнения являются углеводороды, которые трудно удалить традиционными методами. В данном исследовании предложен метод окисления сточных вод с использованием смеси озона и атмосферного кислорода при различных концентрациях катализатора диоксида марганца. На реальных пробах воды органического синтеза было проведено более 500 экспериментов. Сравнительный анализ показал, что эффективность очистки озоном выше (до 53%), тогда как при обработке кислородом этот показатель составил 41%. Кроме того, озон проявил преимущество в повышении

светопроницаемости. Оптимальная концентрация катализатора MnO_2 для озона составила 1-2 г/л. Предложенный метод является экологически и экономически эффективным, позволяет многократно использовать катализатор и является перспективным для очистки вод с высоким содержанием углеводов.

Ключевые слова: озонирование воды, сточные воды, атмосфера, очистка воды, загрязнение, концентрация.

**G.B. Kurmanbayev¹, Sh.M. Umbetova², U. Umbetov³,
N.S. Kulmurzaev², Zh.S. Asanova²**

¹Kyzylorda Open University, Kyzylorda, Kazakhstan

²Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

³Bolashak University, Kyzylorda, Kazakhstan

TREATMENT OF WASTEWATER USING OZONE AND ATMOSPHERIC OXYGEN

Abstract. With the increasing pollution of industrial wastewater, particularly by petroleum products, the search for effective treatment methods has become an urgent task. The main source of contamination is hydrocarbons, which are difficult to remove using traditional methods. This study proposes a wastewater oxidation method using a mixture of ozone and atmospheric oxygen at various concentrations of a manganese dioxide catalyst. More than 500 experiments were conducted on real water samples from an organic synthesis plant. Comparative analysis showed that ozone provided higher purification efficiency (up to 53%), while treatment with oxygen resulted in a 41% efficiency. In addition, ozone demonstrated superiority in improving light transmittance. The optimal concentration of MnO_2 catalyst for ozone was determined to be 1-2 g/L. The proposed method is environmentally and economically efficient, allows for repeated use of the catalyst, and is promising for treating waters with high concentrations of hydrocarbons.

Keywords: water ozonation, wastewater, atmosphere, water treatment, pollution, concentration.