

УДК 628.31; 628.316; 628.316.6.094.3; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2023-3.12>
<https://orcid.org/0000-0001-7773-6057>
<https://orcid.org/0000-0002-1139-5488>
<https://orcid.org/0000-0002-9664-442x>
<https://orcid.org/0000-0003-4721-9758>

АҒЫНДЫ СУЛАРДЫ ОРГАНИКАЛЫҚ ЛАСТАҒЫШТАРДАН ТАЗАРТУ ӘДІСТЕРІ



М.С. ИЛМУРАТОВА,
докторант,
Ilmuratova97@mail.ru



Д. МҰҚТАЛЫ,
доктор PhD,
dinara.muktaly@mail.ru



Т.В. ШАКИЕВА,
химия ғылымдарының
кандидаты,
Shakievatatyana@mail.ru



Л.Р. САСЫКОВА,
химия ғылымдарының
кандидаты, физикалық
химия, катализ және мұнай
химиясының профессоры,
Larissa.rav@mail.ru

ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ,
Қазақстан Республикасы, 050040, Алматы қ., әл-Фараби даңғылы, 71

Судың органикалық және бейорганикалық қосылыстар, ауыр металдар, бояғыштар, радиоактивті және фармацевтикалық қосылыстармен ластануы оны пайдалануға айтарлықтай әсер етеді. Әлемдегі жаһандану, құрылымдық өзгерістер, экономикалық даму - судың ластануын тудыратын ластаушы заттардың шығарылуына үлкен ықпал етеді. Сондықтан ағынды сулар мен ағынды сулардан ластаушы заттарды кетіретін тазарту және оны қалпына келтіру маңызды мәселелердің бірі. Бұл әдеби шолуда судың ластану мәселелері, оның көздері және суда кездесетін ластаушы заттардың түрлері қарастырылып, тазарту әдістері, соның ішінде нанокөмірді катализаторлар қатысында суды ластаушы заттардан, атап айтқанда фенолдан тазартудың жолдары талқыланады. Соңғы уақыттарда өндіріс құнының, жоғары бетінің, кеуек көлемінің және экологиялық тұрақтылықтың артықшылықтарына байланысты магнитті және көміртекті нанокөмірді қолданатын қолданбалы нанотехнология өзіне назар аудартуда. Әдеби шолуда суларды залалсыздандыру үшін төмен дайындық құны, жоғары бетінің ауданы, кеуектер көлемі және қоршаған ортаның тұрақтылығы сияқты артықшылықтары бар ауыспалы және сирек жер металдарына негізделген магнитті нанокөмірді катализаторларға көңіл аударылған. Магниттік көміртекті нанокөмірді тазарту әдетте сулы ерітінділерден ластаушы заттарды адсорбциялауда тамаша өнімділікті көрсетеді, сондықтан суды тазартуда нанотехнологияны қолдануды кеңейту үлкен маңызға ие.

Сондықтан ағынды суларды ластаушы заттардан тазартуда магнитті, көміртекті нанокөмірді пайдаланудың артықшылықтары атап көрсетіледі.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: Магнитті композит, кобальт ферриті, тотықтыру, су ерітінділерін тазарту.

МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗИТЕЛЕЙ

М.С. ИЛМУРАТОВА, докторант, Ilmuratova97@mail.ru

Д. МҰҚТАЛЫ, доктор PhD, dinara.muktaly@mail.ru

Т.В. ШАКИЕВА, кандидат химических наук, Shakievatatyana@mail.ru

Л.Р. САСЫКОВА, кандидат химических наук, Larissa.rav@mail.ru

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. АЛЬ-ФАРАБИ,
Республика Казахстан, 050040, г. Алматы, пр-т аль-Фараби, 71

Загрязнение воды органическими и неорганическими соединениями, тяжелыми металлами, красителями, радиоактивными и фармацевтическими соединениями оказывает значительное влияние на ее использование. Глобализация, структурные изменения, экономическое развитие во всем мире - все это способствует выбросу загрязняющих веществ, вызывающих загрязнение воды. Вот почему очистка и восстановление сточных вод, удаляющих загрязняющие вещества, является одним из самых важных вопросов. В этом литературном обзоре рассматриваются проблемы загрязнения воды, ее источники и типы загрязняющих веществ, обнаруженных в воде, а также обсуждаются методы очистки, включая способы очистки воды от загрязняющих веществ, в частности фенола, в присутствии нанокөмірді катализаторов. В последнее время все больше внимания уделяется прикладным нанотехнологиям с использованием магнитных и углеродных нанокөмірді из-за преимуществ стоимости производства, высокой поверхности, объема пор и экологической устойчивости. В литературном обзоре основное внимание уделяется магнитным нанокөмірді катализаторам на основе чередующихся и редкоземельных металлов с такими преимуществами, как низкая стоимость подготовки для обеззараживания вод, высокая площадь поверхности, объем пор и устойчивость к окружающей среде.

Магнитные углеродные нанокomпозиты обычно демонстрируют превосходные характеристики адсорбции загрязняющих веществ из водных растворов, поэтому расширение использования нанотехнологий при очистке воды имеет большое значение.

Следовательно подчеркиваются преимущества использования магнитных углеродных нанокomпозитов при очистке сточных вод от загрязняющих веществ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Магнитный композит, феррит кобальта, окисление, очистка водных растворов.

METHODS FOR TREATING WASTEWATER FROM ORGANIC POLLUTANTS

M. ILMURATOVA, Doctoral student, *Ilmuratova97@mail.ru*

D. MUKTALY, Doctor of PhD, *dinara.muktaly@mail.ru*

T. SHAKIYEVA, Candidate of chemical sciences, *Shakievatatyana@mail.ru*

L. SASSYKOVA, Candidate of chemical sciences, *Larissa.rav@mail.ru*

AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY,
Republic of Kazakhstan, 050040, Almaty, 71, Al-Farabi Ave

Water pollution by organic and inorganic compounds, heavy metals, dyes, radioactive and pharmaceutical compounds has a significant impact on its use. Globalization, structural changes, economic development around the world-all this contributes to the release of pollutants that cause water pollution. That is why wastewater treatment and recovery, removing pollutants from wastewater and wastewater, is one of the most important issues. This literature review examines the problems of water pollution, its sources and types of pollutants found in water, and also discusses purification methods, including methods of water purification from pollutants, in particular phenol, in the presence of nanocomposite catalysts. Recently, more and more attention has been paid to applied nanotechnology using magnetic and carbon nanocomposites due to the advantages of production cost, high surface area, pore volume and environmental sustainability. The literature review focuses on magnetic nanocomposite catalysts based on alternating and rare earth metals with advantages such as low cost of preparation for water disinfection, high surface area, pore volume and environmental resistance. Magnetic carbon nanocomposites usually demonstrate excellent adsorption characteristics of pollutants from aqueous solutions, therefore, the expansion of the use of nanotechnology in water purification is of great importance.

Consequently, the advantages of using magnetic carbon nanocomposites in wastewater treatment from pollutants are emphasized.

KEY WORDS: magnetic composite, cobalt ferrite, oxidation, aqueous solutions purification.

1. Ағынды сулардың ластану мәселесі

1.1 Әлемдік судың қазіргі жағдайы

Гидросфера-барлық бос суларды біріктіретін планетамыздың маңызды құрамдас бөліктерінің бірі. Ол жер бетінің шамамен 70% алады. Еркін күйдегі судың жалпы қоры 1386 млн. км³ құрайды. Егер жер шарын осы сумен біркелкі жауып тастаса, онда оның қабаты 3700 м. болар еді, сонымен бірге судың 97-98% - ы теңіздер мен мұхиттардың тұзды сулары, тек 2-3% - өмірге қажетті тұщы су. Жердегі тұщы судың 75% - ы мұз түрінде, оның едәуір бөлігі жер асты сулары, ал тек 1% - ы тірі организмдер үшін қол жетімді [1].

XX ғасырда бүкіл әлемдік суды тұтынудың көлемі 12 есе артып, жылына 5 000 км³-ке жетті. Бұл әлемдегі барлық өзендердің жылдық ағынының шамамен 14%

құрайды. Өзендер әлемдегі сумен жабдықтаудың басым көзі болып қала береді. Әлемдік су тұтынуының [1] шамамен 70%-ы ауыл шаруашылығына, 13%-ы өнеркәсіпке, 10%-ы коммуналдық тұрмыстық қажеттіліктерге, 7%-ы су шаруашылығының өз қажеттіліктеріне (гидроэнергетика, кеме қатынасы, балық шаруашылығы және т. б.) тиесілі.

Өзендер әрқашан тұщы судың көзі болды, бірақ қазіргі уақытта олар қалдықтарды тасымалдай бастады. Дренажды аумақтағы қалдықтар өзен арналары арқылы теңіздер мен мұхиттарға ағып кетеді. Пайдаланылған өзен суының көп бөлігі өзендер мен су объектілеріне ағынды сулар түрінде оралады. Сонымен қатар, тұтынылатын судың мөлшері тазарту қондырғылар санының өсуінен асып түседі, бұл су ресурстарының ластану проблемасының негізгі факторларының бірі болып табылады. Сонымен қатар, биологиялық тазалауды қоса алғанда, ең жетілдірілген тазалау кезінің өзінде барлық еріген бейорганикалық заттар мен органикалық ластаушы заттардың 10% - ы тазартылған ағынды суларда қалады.

Мұндай су қайтадан таза табиғи сумен бірнеше рет сұйылтылғаннан кейін ғана тұтынуға жарамды болуы мүмкін, сондықтан ағынды сулардың абсолютті мөлшерінің, ең болмағанда тазартылған және өзендердің су ағынының қатынасы маңызды. Әлемдік су шаруашылығы балансы ағынды суларды сұйылтуға әлемнің тұщы су ресурстарының шамамен 20% - ы жұмсалатынын көрсетті. 2000 жылға арналған есептеулер болжамы бойынша суды тұтыну нормалары азаяды және тазарту барлық ағынды суларды қамтиды дегенімен жыл сайын ағынды суларды сұйылту үшін 30-35 мың км тұщы су қажет болатындығын көрсетті. Бұл дегеніміз, бүкіл әлемдегі өзен ағынының ресурстары таусылуға жақын екенін және әлемнің көптеген аймақтарында олардың таусылғандығының белгісі. 1 км тазартылған ағынды су 10 км өзен суын "ластаса", ал тазартылмаған су одан - 3-5 есе көп ластайды [2]. Тұщы судың мөлшері азаймайды, бірақ оның сапасы күрт төмендейді, ол тұтынуға жарамсыз болады.

Халық саны өсіп, табиғи ортаның жағдайы нашарлаған сайын әр адамды таза және жеткілікті сумен қамтамасыз ету қиынға соғады. Шешімнің негізгі мақсаты қоршаған ортаның ластануын азайту және ағынды суларды басқару тәсілін жақсарту болып табылады.

Неғұрлым тұйық, тұрақты экономика дегеніміз - экожүйелердің ластануын азайту және ағынды суларды тазартудың, қайта өңдеудің тиімділігін арттыру, оны су, энергия және қоректік заттар көзі ретінде қауіпсіз қайта пайдалану.

Халықтың өсуіне, жеделдетілген урбанизацияға және экономикалық дамуға байланысты пайда болған ағынды сулардың мөлшері және олардың жалпы ластануы бүкіл әлемде өсуде.

Көбінесе суды ластаушы өнеркәсіп пен ауыл шаруашылығы болып табылады. Суару кезінде химиялық тыңайтқыштар мен пестицидтерді, сондай-ақ тазартылмаған ағынды суларды пайдаланудың артуы жер асты және жер үсті суларын ластайды. Көптеген аудандардағы өнеркәсіп қалдықтарды тікелей су ағындарына төгеді.

Суды көп тұтынатын химия және целлюлоза қағаз өнеркәсібі, қара және түсті металлургия. Энергетиканың дамуы суға деген қажеттіліктің күрт артуына әкеледі.

Ағынды суларды залалсыздандыру, тазарту және кәдеге жарату қажеттілігі артуда, сондықтан ағынды суларды басқаруға көп көңіл бөлінеді. Бүкіл әлемде судың,

энергияның, қоректік заттардың және басқа да алынатын материалдардың ықтимал қол жетімді және тұрақты көзі ретінде ағынды суларды қауіпсіз қайта пайдалану айтарлықтай бағаланбайды.

Қалалардағы тазартылмаған ағынды сулар күрделі мәселе болып табылады. Кедей қалалық жерлерде ағынды сулардың едәуір бөлігі тікелей жақын маңдағы дренаждық каналға немесе су қоймасына төгіледі. Тұрмыстық ағынды сулар, адам қалдықтары, улы химикаттар және медициналық қалдықтар ауаға еніп, жиі қоныстанған тұрғын аудандарда қоршаған ортаны ластайды.

Қазақстан аумағындағы су көздерінің өнеркәсіптік қалдықтармен жалпы ластануынан туындаған экологиялық дағдарыс еліміздің басты мәселелердің бірі болып табылады. Ірі қалалар мен өнеркәсіптік кәсіпорындарға жақын орналасқан табиғи су айдындарын қорғау мәселесі жыл сайын маңызды бола түсуде. Су объектілерінің ластануының негізгі себебі жеткіліксіз тазартылған өнеркәсіптік, ауыл шаруашылығы, нөсер және коммуналдық-тұрмыстық сарқынды суларды су қоймаларына ағызу болып табылады. Сонымен қатар, органикалық және бейорганикалық ластаушы заттар жер асты көздеріне де енеді және де адам тұрмыстық қажеттіліктер үшін пайдаланатын су бассейндерінің акваторияларына өте улы қосылыстар көптеп түседі.

Табиғи ресурстарға антропогендік жүктеменің одан әрі бақылаусыз артуы табиғи тепе-теңдіктің жаһандық бұзылуына әкелуі мүмкін, бұл адам өмірінің табиғи тепе-теңдігінің бұзылуына әкеледі. Бұл қоршаған ортаны қорғау жөніндегі мемлекеттік органдар белгілеген ластануға қарсы күрес жөніндегі нысаналы көрсеткіштерге жауап беретін тазарту құрылыстарын жобалау мен салу қажеттігін негіздейді. Осы бағыттағы алдағы жұмыстың ауқымы қабылданған шешімдердің маңызды негіздемесін талап етеді және ағынды суларды жою мен тазартуға қатысты бірқатар нақты мәселелерді анықтайды.

1.2 Өндірістік ағынды сулардың ластануы

Дүниежүзілік су қорларының химиялық және биологиялық ластануы жыл сайын артып келе жатқан жаһандық проблема, бүкіл адамзат қауымын аландатып отыр. Бұл мәселе Қазақстанға да тән. Өнеркәсіптің жедел өсуі, ауыл шаруашылығының дамуы, мегаполистердің қалыптасуы және планета халқының тез өсуі өнеркәсіптік және коммуналдық ағынды сулармен ластанған судың үлкен массасының пайда болуына әкелді. Нәтижесінде ауыз су көздерінің ластану деңгейі апатты түрде жоғары және тұщы су тапшылығына қауіп төндіреді.

Өндірістік ағынды сулар әртүрлі технологиялық процестерде суды пайдалану нәтижесінде пайда болады. Олардың саны, құрамы және ластаушы заттардың концентрациясы келесі факторлармен анықталады: өнеркәсіптік өндіріс түрі және технологиялық процестің сипаты, бастапқы шикізат пен шығарылатын өнімнің құрамы, бастапқы таза судың құрамы, технологиялық процестердің режимі. Әр түрлі кәсіпорындардың ағынды суларындағы ластаушы заттардың концентрациясы бірдей емес, жекелеген цехтарда немесе жалпы кәсіпорында уақыт өте келе өзгеріп отырады.

Өндірістік ағынды сулар негізінен қалдықтармен және өндіріс шығарындыларымен ластанған. Олардың сандық және сапалық құрамы әр түрлі және өнеркәсіп саласына, оның технологиялық процестеріне байланысты. Олар екі негізгі топқа бөлінеді.

Бірінші топқа – қорғасын, мырыш, никель кең байыту зауыттарының және қышқылдар, сілтілер, ауыр металл иондары және т.б. бар азот-тук, сода, сульфат зауыттарының ағынды сулары жатады.

Екінші топқа – мұнай өңдеу зауыттары, мұнай-химия зауыттарының, органикалық синтез кәсіпорындарының, кокс-химия және т.б. кәсіпорындардың - құрамында әртүрлі мұнай өнімдері, аммиак, альдегидтер, шайырлар, фенолдар және басқа да зиянды заттары бар ағынды сулары жатады.

Мұнай өндіру мен тасымалдаудың ұлғаюымен лито, гидро және атмосфераның ластануының өсуі байқалады. Жыл сайын осы салада ондаған мың тонна қалдықтар жиналады. Су объектілері бұрғылау және мұнай газ өндіру кезінде ерекше ластануға ұшырайды. Судың ластануы физикалық және органолептикалық қасиеттердің өзгеруінен (мөлдірліктің, иістердің, дәмнің бұзылуы), сульфаттардың, нитраттардың көбеюінен, суда еріген ауаның оттегінің, патогендік бактериялардың және басқа ластаушы заттардың азаюынан көрінеді. Су бетіне түскен мұнай су бағанына еніп, төменгі жауын-шашында жиналады және осылайша су организмдерінің барлық топтарына теріс әсер етеді. Мұнай өңдеу саласының қарқынды дамуы тірі организмдердің популяциясын ұзақ уақыт бойы мұнаймен ластану жағдайында болуға және оған бейімделуге мәжбүр етті [3,4].

Тотығу процестерінің негізінде бұл топтың ағынды суларының зиянды әсері салдарынан судағы оттегінің мөлшері азаяды, оған биохимиялық қажеттілік артады, судың органолептикалық көрсеткіштері нашарлайды.

2. Өнеркәсіптік ағынды суларды тазарту әдістері

2.1 Ағынды суларды тазарту әдістерінің түрлері

Қазіргі уақытта ағынды суларды тазарту торларда, құм ұстағыштарда және бастапқы тұндырғыштарда механикалық өңдеуді, аэротенктерде биохимиялық өңдеуді, кейіннен екінші тұндырғыштарда тұндыруды, сарқынды суларды зарарсыздандыруды, ал кейбір жағдайларда Қазақстанның көптеген қалалық тазарту құрылыстарында түрлі әдістермен қосымша тазартуды қамтитын классикалық схема бойынша жүзеге асырылады. Тазарту қондырғыларының көпшілігі 1960-1980 жылдары жобаланған және салынған. Әдетте, тазарту қондырғыларының жобалық қуаты қала өнеркәсібін дамытуға негізделген. Алайда, қазіргі уақытта басқарудың жаңа әдістеріне көшумен жаңа өнеркәсіптік кәсіпорындардың құрылысы күрт қысқарды, бірқатар зауыттардың өндірістік қуаты қысқарып, кейбір зауыттар өздерінің жергілікті қуаттарын енгізді.

Заманауи санитарлық-техникалық құрылғыларды, су есептегіштерін пайдаланудың арқасында тазарту құрылыстарына халықтан түсетін тұрмыстық сарқынды сулардың мөлшері азаюда. Көптеген тазарту қондырғыларындағы жобалық және нақты мәндер арасындағы айтарлықтай айырмашылық тазарту қондырғыларының технологиялық режимінің кейбір бұзылуына әкеледі, бұл тазартылған ағынды сулардың сапасыздығынан көрінеді. Қазақстанда қалыптасқан әлеуметтік-экономикалық жағдайларға байланысты сарқынды суларды тазартумен айналысатын ұйымдардың көпшілігі пайдалануға, жаңғыртуға және одан да көп жаңа жоғары технологиялық тазарту құрылыстарын салуға қаражат тапшылығын сезінуде. Осыған қарамастан, бұл бағытта жұмыс жүргізілуде. Сонымен қатар, соңғы жылдары ағынды суларды

биологиялық және механикалық тазарту жетілдірілуде. Ағынды суларды тазарту және оларды ағынды суларды тазарту циклынан шығару, содан кейін кәдеге жарату прогрессивті болып саналады.

Қазіргі уақытта көптеген экономикалық және техникалық дамыған мемлекеттер қоршаған ортаға қауіп төндіретін тұнба шөгінділерін пайдаланудан бас тартты, өйткені тұнба шөгінділері қазіргі уақытта да, ұзақ мерзімді перспективада да экологиялық проблема болып табылады. Қала шегінде айналымнан алынған жерлерді қайтару бойынша инженерлік іс-шараларды жүзеге асыру экологиялық маңыздылығымен қатар жоғары экономикалық және әлеуметтік маңыздылыққа ие: шөгінділерді алып тастау, өңдеу және қауіпсіз жою керек, ал босатылған аумақты тұрғын үй немесе басқа да ұтымды пайдалану үшін қайта өңдеу керек [5].

Өнеркәсіптік ағынды суларды тазарту [6] ішінара немесе тұтастай алғанда биологиялық процестер арқылы жүзеге асырылуы мүмкін, мысалы, санитарлық ағынды сулар жағдайында немесе тек өндірістік ағынды суларға арналған процестер арқылы. Өнеркәсіптік тазарту қондырғыларын жоспарлауға әсер ететін маңызды факторлар:

- тұрақты емес, кейде маусымдық түрде шығарылатын қалдықтар
- қалдықтардың жоғары концентрациясы
- биологиялық ыдырамайтын және улы кейбір қалдықтар.

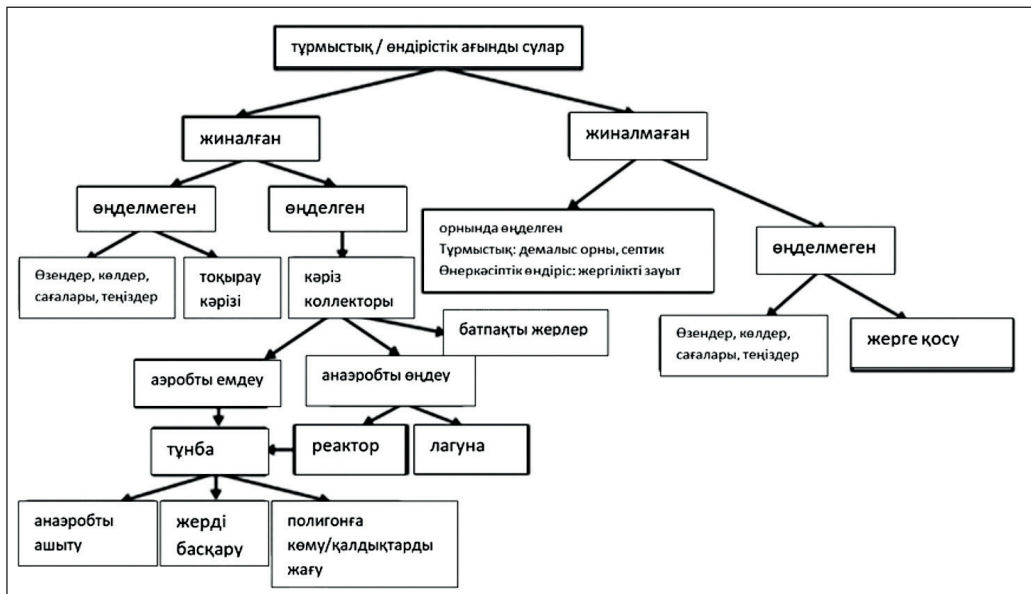
Қалдықтарды жою әдісіне және олардағы компоненттердің табиғатына байланысты өңдеу келесі процестердің кез келгенінен немесе бірнешеуінен тұруы мүмкін:

- туралау
- бейтараптандыру
- физикалық өңдеу
- химиялық өңдеу
- биологиялық өңдеу

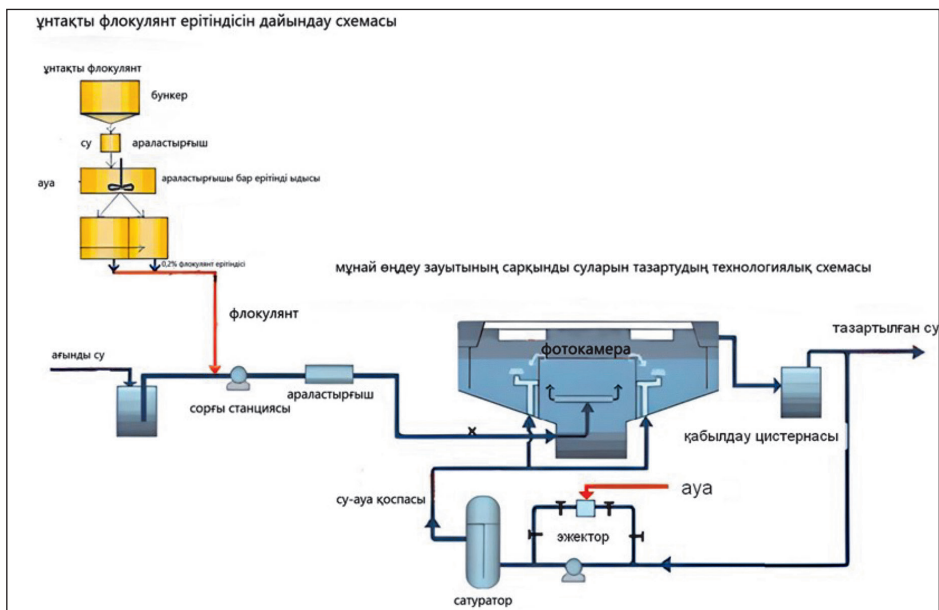
Өнеркәсіптік қалдықтар қалалық ағынды сулармен бірге өңделгенде немесе ағынға шығарылғанда, қалдықтар дозалау деп аталатын алдын ала орнату операциясынан өтуі мүмкін. Дозалау тұрмыстық қалдықтардың немесе будың шығынына белгіленген пропорцияда қалдықтардың қабылдау кәрізіне немесе ағынына төгілуін бақылаудан тұрады.

Бұл тазарту құрылғысын шамадан тыс жүктеуден қорғауға ғана емес, сонымен қатар тазартылатын ағынды сулардың санитарлық сапасын жақсартуға көмектеседі. Өнеркәсіптік қалдықтарды химиялық немесе биологиялық өңдеуден немесе екеуін бірге өткізбес бұрын, өлшенетін заттарды тұндыру және флотация сияқты физикалық операциялар арқылы бөлу қажет болуы мүмкін. Тұндырғыштар қалдықтардағы тұндырылатын қатты заттардың пайызы жоғары болған жағдайда, ал флотация өте төмен тұндыру сипаттамалары бар ұсақ бөлшектерді бөлу үшін қолданылады. Флотация жүйеге ауа көпіршіктерін үздіксіз беру арқылы сумен араластырылады. Қалдық бөлшектері көбік көпіршіктеріне жабысады және олармен бірге қалқып шығады. Осылайша сұйықтықтың бетіне көтерілген бөлшектер майсыздандыру арқылы жойылады. Тұрмыстық-өндірістік ағынды суларды тазарту процестері мен жолдары *1-2 суреттерде* қысқаша көрсетілген.

Өнеркәсіптік ағынды суларды тазарту әдістерін механикалық, химиялық, физика-химиялық және биологиялық деп бөлуге болады, бірақ олар бірге қолданылған



1-сурет – Ағынды суларды тазарту процестерінің кезеңдерін көрсететін технологиялық схема



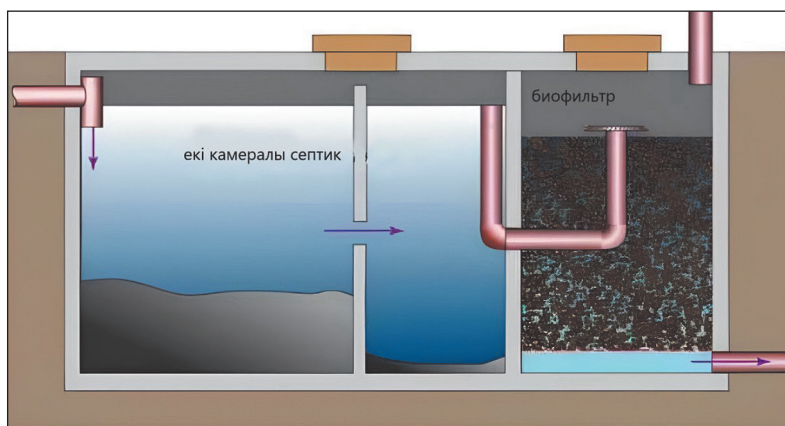
2-сурет – Мұнай өнеркәсібінің ағынды суларын тазартудың технологиялық схемасы

кезде ағынды суларды тазарту және залалсыздандыру әдісі аралас деп аталады. Әрбір нақты жағдайда осы немесе басқа әдісті қолдану ластану сипатымен және қоспалардың зияндылық дәрежесімен анықталады. Механикалық әдістің мәні мынада: ағынды сулардан механикалық қоспалар тұндыру және сүзу арқылы жойылады.

Ірі дисперсті бөлшектер мөлшеріне қарай торлармен, електермен, құм тұзақтарымен, септиктермен, әртүрлі конструкциялардағы көң ұстағыштармен ұсталады, ал беттік ластаушы заттар – мұнай ұстағыштармен, бензомай тұзақтарымен, тұндырғыштармен және т. б. ұсталады. Механикалық әдіс - тұрмыстық ағынды сулардан ерімейтін ірі қоспалардың 60-75% - на дейін, ал өнеркәсіптік бөлшектерден 95% - ға дейін тазартады. Химиялық әдіс-ағынды суларға әртүрлі химиялық реагенттер қосылады, олар ластаушы заттармен әрекеттеседі және оларды ерімейтін шөгінділер ретінде тұндырады. Химиялық тазарту арқылы ерімейтін қоспалардың 95% - ға дейін және еритін қоспалардың 25% - ға дейін азаюына қол жеткізіледі. Өңдеудің физика-химиялық әдісімен ағынды сулардан жұқа дисперсті және еріген бейорганикалық қоспалар алынып тасталады және органикалық және нашар тотығатын заттар жойылады, көбінесе физика-химиялық әдістерден коагуляция, тотығу, сорбция, экстракция, электролиз және т.б. кеңінен қолданылады. Ол ағынды сулардағы органикалық заттарды ыдыратудан және металдарды, қышқылдарды және басқа бейорганикалық заттарды жоюдан тұрады. Электролиттік тазарту арнайы құрылыстарда -электролизерлерде жүзеге асырылады. Ағынды суларды электролиз арқылы тазарту қорғасын және мыс зауыттарында, бояу және басқа да салаларда тиімді.

Ағынды сулар биологиялық тазартудан бұрын механикалық, содан кейін патогендік бактерияларды жою және химиялық тазарту, сұйық хлормен немесе хлорлы әкпен хлорлау әдісімен тазартылады. Дезинфекциялау үшін басқа физика-химиялық әдістер де қолданылады (ультрадыбыстық, электролиз, озондау және т. б.)

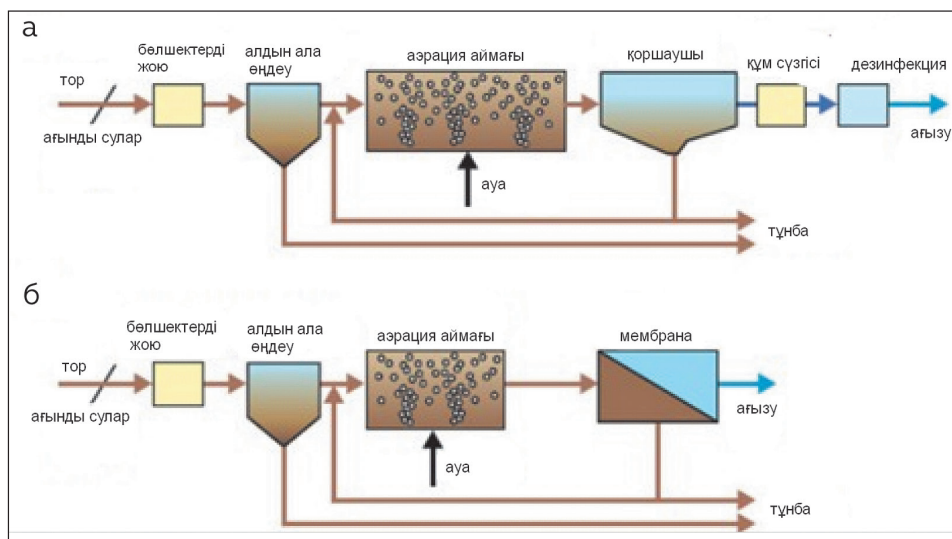
Биологиялық әдіс коммуналдық ағынды суларды тазарту кезінде үлкен нәтиже береді. Ол мұнай өңдеу, целлюлоза-қағаз өнеркәсібі, жасанды талшық өндірісі кәсіпорындарының қалдықтарын тазарту кезінде де қолданылады. Биофилтрация органикалық құрамы мен концентрациясы әр түрлі заттардан ағынды суларды тазарту үшін пайдалынады. Бұл процесс әмбебап, өйткені ол ағынды сулардың аз ағынына, сондай-ақ жеке муниципалитет құрған ағындарға бейімделуі мүмкін. Бұл тұрғыда септиктен кейін орналасқан биофилтр тазалау тиімділігіне нұқсан келтірместен байқалған өзгергіштікке төтеп бере алатын сенімді процесс болып табылады (3- сурет).



3-сурет – Өнеркәсіптік ағынды суларды биологиялық тазарту қондырғысы

Ағынды суларды тазарту тәжірибесінде мембраналық әдістерді қолдану мембранаға берілетін суды алдын-ала терең тазарту қажеттілігіне, сондай-ақ қолданылатын жабдықтың қымбаттығына байланысты шектеулі қолданысқа ие болды. Алайда, ағынды суды төгу алдында немесе оны айналым циклінде пайдалану кезінде терең тазарту және тұзсыздандыру қажеттілігі туындауы мүмкін. Мембраналық биореакторлардың мембраналық бөлігі микро ластаушы заттардың бөлінуіне жол бермейтін алдыңғы процестің бөлшектерімен бітеліп қалу мүмкіндігі олардың қолданыстағы технологияларының тиімсіздігін арттырады [7,8].

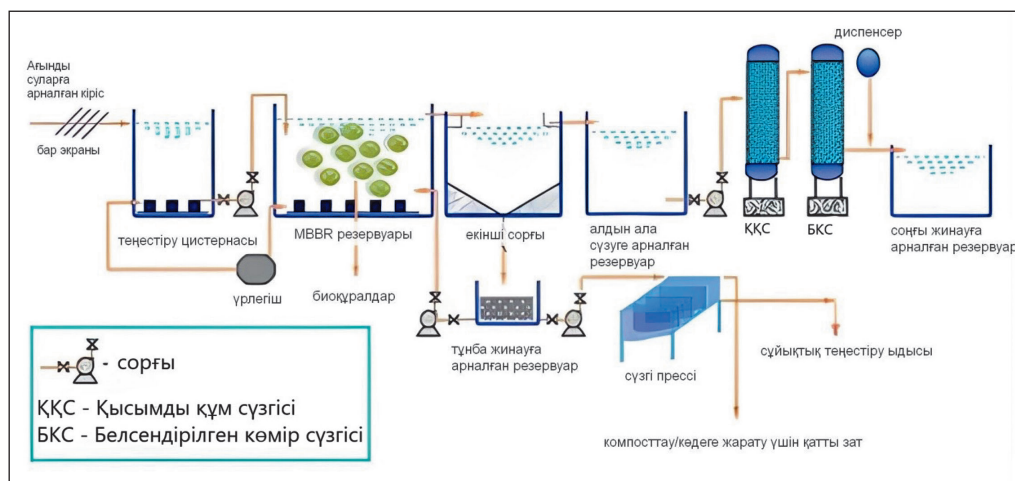
Классикалық ағынды суларды тазарту мен мембраналық ағынды суларды тазартудың салыстырмалы схемалары 4 суретте келтірілген.



4-сурет – Классикалық ағынды суларды тазарту схемасын (а) және мембраналық ағынды суларды тазарту схемасын; (б) салыстыру

Жылжымалы қабатты биопленкалы реактор (MBBR) – бұл коммуналдық және өнеркәсіптік қолдануға жарамды белсенді шламға негізделген биологиялық технология, оның технологиялық схемасы 5 суретте келтірілген.

Технология органикалық заттарды тазарту, нитрификация және денитрификация үшін қолданылады. Тұнба ішкі бетінің үлкен ауданы бар пластикалық тасымалдағыштарда жиналады. Жылжымалы қабаты бар биореакторлық жүйелер ағынды сулардың ағымдағы қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін икемді, үнемді және оңай жұмыс істейтін құрал және болашақта дизайн шеңберінде үлкен жүктемелерді және төгудің қатаң талаптарын қанағаттандыру үшін кеңейту мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Жылжымалы қабатты биореактор (MBBR) процестері сенімділікті арттырады, жұмысты жеңілдетеді және дәстүрлі ағынды суларды тазарту жүйелеріне (ASP) қарағанда аз орын қажет етеді.



5-сурет – Жылжымалы қабатты биопленкалы реактордың технологиялық схемасы (MBBR)

2.2 Оттегімен тотықтыру әдісі

Мұнай-химия, химия, сондай-ақ целлюлоза-қағаз өнеркәсібі кәсіпорындарының ағынды суларын тазарту үшін оттегімен тотықтыру әдісі қолданылады. Ағынды суларды тазарту үшін ауадағы оттегін пайдаланудың артықшылығы - оның арзандығы, оны алу үшін қосымша жабдық қажет емес, ал кемшілігі - тотығу қабілеттілігінің жоғарылығы реакция уақытын арттырады, сонымен қатар майларды қоса алғанда барлық көмірсутектер оттегімен қоспада жарылғыш болып табылады. Ең қауіптісі - ерімейтін жанғыш қоспалар. Оттегімен тотықтыру процесі айналымы валенттілік көрсететін металл оксидтері немесе гидроксидтері және белсендірілген көмір катализаторлары қатысында жүргізіледі [9]. Катализаторларды қолдану процесінің айтарлықтай қарқындылығын арттырады, сондай-ақ дәстүрлі технология кемшіліктерін болдырмауға мүмкіндік береді және қолданыстағы тазарту қондырғыларын қайта құру кезінде елеулі артықшылықты қамтамасыз етеді [10].

Ағынды суларды оттегімен байыту үшін ағынды сулардың көлеміне, қоспалардың концентрациясына және өндіріс ерекшеліктеріне байланысты үздіксіз немесе мерзімді режимде жұмыс істейтін көпіршікті типтегі құрылғылар жиі қолданылады. Оттегімен тотықтыру әдісі әртүрлі профильдегі кәсіпорындардың ағынды суларын тазарту үшін жиі қолданылады [11]. Сулы ерітінділерде органикалық заттарды оттегімен тотықтыру үшін катализаторларды табу өзекті мәселе болып табылады.

Тотығу процесі ағынды суларды тазарту үшін жеткілікті мөлшерде гидроксил иондары сияқты оттегінің белсенді түрлерін шығаруды қамтиды. Белсенді формалар-бұл тотығу-тотықсыздану потенциалы жоғары бос радикалдар, яғни олар өздерін тотықсыздандыру арқылы басқа молекулаларды оңай тотықтыра алады. Бұл радикалдар озық тотығу процесін бастаудың кілті болып табылады [12,13]. Олар күрделі улы ластаушы заттарды улы емес қарапайым заттарға айналдырады. Олар сондай-ақ селективті емес болып шықты. Бұл радикалдарда тотығу процесіне жауап беретін кем дегенде бір жұпталмаған электрон бар. Мұндай радикалдардың бірнеше мысалдары гидроксил радикалы ($\text{HO}\cdot$), алкоксил радикалы ($\text{RO}\cdot$), супероксидті

анионды радикал (O_2^{\bullet}) және т.б. олардың ішінде гидроксил ең белсенді және көптеген органикалық лақтаушы заттарға әсер ететіні байқалды. Органикалық лақтаушы заттарға радикалдардың бұл шабуылы сутекті бөліп алу (ОН немесе C–H, N–H тобынан), электронды тасымалдауды қамтитын әртүрлі радикалдар арасындағы өзара әрекеттесу бастапқы жолдармен жүзеге асырылады. Мұны мысалмен түсіндіруге болады, бірінші кезең оттегі молекуласын қосу немесе электронды тасымалдау арқылы пероксил радикалының түзілуін қамтиды, нәтижесінде аралық өнім пайда болады және лақтаушы бейорганикалық қышқылдардың қосымша түзілуімен минералданады [14]. Реакцияның жүруі үшін органикалық қосылыстардың тотықтырғышқа жақындығы маңызды [15].

Лақтаушы заттардың ыдырау механизмі – олар бастапқыда көміртегі қосылыстарымен қосылып, оттегінің қатысуымен (R-НО) түзеді. Олар әрі қарай реакцияға түсіп, реактивті белсенді түрлер түзеді және лақтаушы заттарды бұзады [16,17].

3. Тотықтырудың каталитикалық әдістері

Өндірістік ағынды суларды суда еріген органикалық заттардан толық тазарту мәселесі ең маңызды және сонымен бірге шешілуі қиын мәселелердің бірі болып табылады. Отандық және шетелдік әзірлемелердің көптігіне қарамастан, бұл мәселені шешілген деп санауға болмайды. Мұның бірнеше себептері бар. Біріншіден, химиялық құрамы мен қалыптасуы мен өмір сүру жағдайлары бойынша жүйелердің әртүрлілігі әр нақты жағдай үшін жеке зерттеулер жүргізуді қажет етеді, бұл әрдайым мүмкін емес. Екіншіден, жеткілікті толық тазарту технологиясы, әдетте, іс жүзінде толық болу қиын болатын ерекше шарттардың сақталуын талап етеді. Үшіншіден, терең тазартудың көптеген тиімді әдістері үлкен экономикалық және ресурстық шығындармен, тапшы реагенттерді қолданумен, содан кейін оларды қалпына келтірумен, кәдеге жаратумен немесе көмумен байланысты және кейбір кәсіпорындар үшін мұның бәрін орындау өте қиын. Сондықтан өнеркәсіптік ағынды суларды тазартудың жаңа тиімді әдістерін табу әлі де өзекті болып табылады. Әдебиеттік шолуға сәйкес, соңғы онжылдықта ағынды суларды тазартудың ылғалды-ауамен тотықтырудың каталитикалық (КБИАТ) әдістері дамыды.

Соңғы екі-үш онжылдықта ғалымдар қазіргі тотығу процестерінің әртүрлі түрлерін – Фентонның тотығуы, ылғалды ауаның тотығуы, ультрадыбыстық тотығу, сульфатқа негізделген тотығу, фотохимиялық тотығу, озондау, гамма-сәулелену немесе катодты сәулелену және электрохимиялық тотығу, акустикалық-кавитациялық процестер және каталитикалық озық жетілдірілген тотығу процестерін (Advanced Oxidation Processes-AoPS) сынап көрді. AoPS-нің барлық осы түрлерінің негізгі кезеңі реактивті белсенді бөлшектердің түзілуі болып табылады [15, 18, 19]. Оның негізгі мақсаты кейбір бейорганикалық лақтаушы заттардан басқа пайда болған тұрақты органикалық заттарды жою. Тазалаудың тиімділігі ең алдымен AoPS түрлеріне, мақсатты лақтаушы заттардың физикалық/химиялық қасиеттері және пайдалану шарттарына байланысты. Бұл соңғы бес жыл ішінде AoPS жоғары дамыған технология және органикалық заттардың көп мөлшері мен рН деңгейі төмен ағынды суларды тазарту үшін қолданылатын дамып келе жатқан зерттеу нысаны болып қала берді. Бұл жағдайлар оларды басқа биологиялық әдістермен тазартуға мүмкіндік бермейді. Олар сондай-ақ қайталама өңдеу кезінде жойылмаған патогендерді инактивациялау үшін қолданылады [20].

Фентон негізіндегі тотығу - бұл сутегі асқын тотығын темір негізіндегі катализатормен және кобальт, мыс және марганец сияқты басқа металдармен, сондай-ақ реактивті бөлшектерді алу үшін көміртегі негізіндегі материалдармен белсендіру. Фотохимиялық тотығу процесі тотықтырғышпен бірге гидроксил радикалдарын, электронды тесіктерді және сульфат радикалдарын түзетін TiO_2 фото негізіндегі катализаторды қамтиды [21].

Электрохимиялық тотығу процесі электрокатализаторлармен белсендіруді қамтиды. Ағынды суларды органикалық ластанудан тазартудың перспективті әдістерінің бірі- катализаторларды қолдану арқылы озондау. Озонмен каталитикалық тотықтыруды электрондық өнеркәсіпте, жүн бояу өнеркәсібінде, фенол-формальдегидті қолдану ұсынылады [22-24]. Катализатор ретінде мыс және хром тотықтарының қоспасы, темір, марганец, церий, кобальт, титан тотықтары қолданылады. Құрамында жоғары сілтілі органикалық қосылыстардың ерітінділері бар ағынды суды озонның дозасы 90-100 мг/л мөлшерінде бес минуттық өңдеу олардың айналым дәрежесін 70-80%-дан 92-95%-ға дейін арттырады. Озонның суда ерігіштігі шектеулі, ерігіштігін арттыру үшін жоғары қысым қолданылады және процесс автоклавтарда жүзеге асырылады. Озон жоғары тотықтырғыш агент бола отырып, реактивті бөлшектерді алу үшін озонның адсорбциясы мен активтену механизмін ұстанады. Бұл реактивті қосылыстар ластанған суды жоғарыда сипатталған механизммен тазартуға көмектеседі [25]. Озон оттегіге қарағанда күшті тотықтырғыш болса да, оны кеңінен қолдануға химиялық тұрақсыздық және оны қолданар алдында алу қажеттілігі кедергі келтіреді, бұл арнайы жабдықты – озонаторларды қолдануды талап етеді және бұл ағынды суларды тазарту процесін қымбаттатады, ал реакция өнімдерінде адам денсаулығына қауіпті заттарға қатысты озонидтер болуы мүмкін.

Сонымен қатар ағынды суды тазалауда иммобилизацияланған ферменттерге негізделген биокатализаторлар да қолдананады, олар гетерогенді жағдайларда реакциялар жүргізуге және каталитикалық белсенді компоненттердің жылжымалы фазамен тасымалдануын болдырмауға мүмкіндік береді. Тасымалдаушы иммобилизацияланған ферменттің микроортасының ажырамас бөлігі бола отырып, соңғысының белсенділігін едәуір арттыра алады. Иммобилизация сонымен қатар биокатализаторды пайдалану уақытын едәуір ұзартуға және биокаталитикалық процесі жүргізуге кететін шығындарды азайтуға мүмкіндік береді. Тазарту қондырғысы жүйесінде иммобилизацияланған ферменттерді қолдану бірегей қымбат энергияны қажет ететін жабдықты құруды көздемейді, ал биокаталитикалық процестер суды тазарту мен тазартудың басқа кезеңдерімен үйлесімді түрде біріктірілуі мүмкін.

3.1. Магнитті нанокөмпозиттер қатысында тотықтыру арқылы тазарту

Өнеркәсіптік кәсіпорындардың ағынды суларындағы зиянды заттардың концентрациясын төмендету үшін көптеген әдістердің ішінде каталитикалық тазарту ең тиімді әдістердің бірі болып табылады. Органикалық қосылыстардың каталитикалық тотығу реакциялары іс жүзінде қайтымсыз және қолайлы катализаторлар болған кезде улы заттарды көмірқышқыл газы мен судың зиянсыз өнімдеріне айналдыруға мүмкіндік береді.

Ауыспалы металдардың нанобөлшектерін пайдалану мүмкіндігі ерекше назар аударуға тұрарлық, бұл химиялық процестердің бағыты мен жылдамдығын айтар-

лықтай өзгертуге мүмкіндік береді. Соңғы онжылдықта синтезделген кластерлік және нанөөлшемді бөлшектердің қасиеттерінің көп қырлылығы оларды органикалық қосылыстардың терең тотығу процестерінде қолдануға мүмкіндік береді. Алайда, мұндай жүйелерді сәтті қолдану металдардың нанодисперсті бөлшектерінің түзілу ерекшеліктерін, морфологиясын, құрылымы мен тұрақтылығын, нанобөлшектердің бетіндегі субстраттар мен реакция өнімдерінің сорбция ерекшеліктерін физикалық-химиялық талдауды, кинетика мен реакция механизмін зерттеуді қамтитын жүйелі зерттеу жағдайында ғана мүмкін болады. Физика-химиялық зерттеу және наноқұрылымды жүйелерді талдау, жинақталған тәжірибе мұндай жүйелерді алдын-ала белгіленген қасиеттермен синтездеуге мүмкіндік береді. Нанодисперсті магнитті катализаторлар суды ластаушы заттардың жоғары тотығу жылдамдығын, әртүрлі функционалды топтары бар қосылыстардың кең спектрінің тиімді тотығуын, каталитикалық қасиеттерін айтарлықтай жоғалтпай төмен құны мен ұзақ қызмет ету мерзімін, сондай-ақ жоғары механикалық беріктігі мен каталитикалық улануға қарсы иммунитетін қамтамасыз етеді. Сондықтан ағынды суларды залалсыздандыру үшін ауыспалы және сирек жер металдарына негізделген магнитті нанокомпозитті катализаторлар пайдаланылуда, өйткені нанокомпозиттердің төмен дайындық құны, жоғары бетінің ауданы, кеуектер көлемі және қоршаған ортаның тұрақтылығы сияқты артықшылықтары бар. Магниттік көміртекті нанокомпозиттер әдетте сулы ерітінділерден ластаушы заттарды адсорбциялауда тамаша өнімділікті көрсетеді, сондықтан суды тазартуда нанотехнологияны қолдануды кеңейту үлкен маңызға ие.

Көміртек негізіндегі [26] композиттердің әртүрлі қасиеттері суды тазарту процестеріндегі ластаушы заттардың адсорбция дәрежесіне әсер етеді. Көміртегі негізіндегі нанокомпозиттердің көпшілігі ауыл шаруашылығы қалдықтарынан алынған биомассадан алынады. Жаңғақ қабығынан және күріш қабығының қалдықтарынан алынған магнитті белсендірілген көмір нанокомпозиттері ластаушы су жүйелерінен 78% Cd(II) алып тастай алады. Бұл нанокомпозиттер фармацевтикалық препараттарды, бояғыштарды және промазин, ципрофлоксацин, амоксициллин, родамин 6G, метил көк, фенол және фенантрен сияқты органикалық ластаушы заттарды кетіру тиімділігін арттыру арқылы ағынды суларды тазартуды жақсартады.

Екі рет көміртегімен қапталған Fe_3O_4 магниттік нанобөлшектері [27] зерттеліп, олардың суды ластаушы заттардың бірі - органикалық бояғыштардан тазартатын құрылғыларда қолдану ұсынылған.

Жұмыста [28,29] магниттік материал ретінде перспективалы зерттеу объектісі болып табылатын кобальт (II) ферритіне негізделген композициялық материалдар алынып, оларды су дайындау және өнеркәсіптік кәсіпорындардың экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету жүйелерінде, органикалық бояғыштар өндірістік процесінде пайдалану ұсынылған.

Химиялық бірлескен тұндыру әдісімен гидролизденген цилиндрлік люфа (ГЦЛ) негізіндегі жаңа магниттік адсорбент синтезделген және оның су ортасынан екі валентті никель иондарын адсорбциялық алып тастау әлеуеті [30] зерттеу жұмысында бағаланған. Оңтайлы жағдайларда ГЦЛ және ГЦЛ / $CoFe_2O_4$ магниттік композит көмегімен Ni^{2+} иондарын жою тиімділігі сәйкесінше 96,38 және 99,13% -ды құрайтындығы анықталған. Синтезделген адсорбенттерді қайта пайдалану кезін-

де 8 циклден кейін адсорбция тиімділігінің айтарлықтай төмендеуі байқалмағаны анықталған. Сонымен қатар, ағынды суларды тазартудың нақты нәтижелері ГЦЛ/CoFe₂O₄ магниттік композит кеме жасау ағынды суларынан ластаушы заттарды кетірудің тамаша өнімділігіне ие екенін атап көрсетілген.

Стероидты емес қабынуға қарсы препараттар (NSAIDS) ағынды суларда [31] жиі кездесетін фармацевтикалық препараттардың бірі болып табылады және ауыз суға түсуі мүмкін. Магниттік нанокompозит әртүрлі NSAIDS-терді: ибупрофенді (ИП), кетопрофенді (КП), напроксенді (НК) және ағынды сулардан диклофенак натрий тұзын (ДФ) кетіру үшін қолданылуға ұсынылған. Магнитті-бөлінетін нанокompозиттің қатты фазалық өндірісі темір оксидінің прекурсорлары (Fe₃O₄) және графен нанопластикалары (ГНП) көмегімен оңтайландырылып, олардың нанокompозитпен молекулалық өзара әрекеттесетіні анықталған және ағынды сулардан NSAIDS-ті тез және 71,0% -ға дейін жою үшін нанокompозитті сәтті қолдануға қол жеткізілген.

Кобальт (II) ферриті CoFe₂O₄ катализаторлар [32,33], органикалық бояғыштардың адсорбенттері [34,35] ретінде су дайындау процесінде, сонымен қатар органикалық / бейорганикалық каталитикалық белсенді материалдар, бейорганикалық / бейорганикалық композициялар алуда, фотокаталитикалық реакцияларда кеңінен қолданылуда. [32,33,36,37].


Кобальт ферритінің нанобөлшектері [38] мен нанокompозиттері ластаушы заттардың жоғары адсорбциялық қабілеті, тамаша фотокаталитикалық және микробқа қарсы белсенділігі сияқты бірегей қасиеттеріне байланысты зерттеушілердің үлкен назарын аударды. Бұл жұмыста ағынды суларды тазартудың экономикалық тиімділігі мен тұрақтылығының негізі болып табылатын пайдаланудан кейін кобальт ферритін алудың және қайта пайдаланудың мүмкін жолдары қамтылған. Осы шолуда кобальт ферритінің нанобөлшектері мен нанокompозиттердің ағынды суларды тазарту үшін қолданылуы, уыттылықтың артықшылықтары мен аспектілеріне қатысты ағымдағы суды тазартуды оның артықшылықтары атап көрсетілген.

Наноөлшемді магнитті композит CoFe₂O₄ [39] ағынды суды әр түрлі морфологиялық белгілерімен микроорганизмдер мен органикалық ластаушы заттардан жоғары сапалы тазарту үшін пайдалануға болатыны анықталған. Ал MgFe₂O₄ магниттік нанобөлшектерге негізделіп синтезделген материалдар ауыр металл иондарынан сулы ерітінділерді сорбциялық тазарту және бояғыштар мен тотығуы қиын органикалық қосылыстардың каталитикалық ыдырауы үшін перспективті материалдар болып табылатыны айқындалған.

Бұл жұмыста [40] суды ластаушы ауыр металдардан (Co және Cr) және органикалық заттардан (нитрофенолдар, НФ), тазартуда құрамында магниттік композиттері бар (Fe₃O₄/хитозан, Fe₃O₄/хитин) катализаторлары қатысында экологиялық таза және тиімді әдіс ұсынылған. Композиттің барлық компоненттері - табиғи және биоүйлесімді материалдар, арзан және қолжетімді.

Қорытындылай келе, ағынды суларды тазарту ең маңызды мәселе болып келеді. Қарастырылған гетерогенді фотокаталитикалық жүйелер негізінде, тотықтырғыш ретінде O₂, O₃, H₂O₂ пайдалана отырып, суды уытты ағзалардан тазартудың жоғары тиімді, энергияны көп қажет етпейтін тәсілдерін жасау гидросфера экологиясының перспективті бағыттарының бірі болып табылады.

Ағынды суларды тазарту үшін ең оңтайлы катализаторлар - құрамында темір бар наноөлшемді магниттік композиттер, мысалы, темір оксиді немесе кобальт ферриті. Наноөлшемділік бетінің үлкен ауданы, магниттілік катализаторды оңай бөлуге көмектеседі. Мұндай катализаторлар тұрақты қызмет ете алады. Бұл экономикалық жағынан тиімді болып саналады.

Сулы ерітінділерді органикалық, бейорганикалық қоспалардан тазарту үшін каталитикалық белсенді материалдар ретінде магниттік композициялық материалдарды қолдану химиялық және көмір өнеркәсібінің қалдықтары негізінде өндірістік циклдерде, органикалық бояғыштарды пайдаланатын өнеркәсіптік кәсіпорындарда ағынды суларды тазарту жүйелерінде және экология қауіпсіздігін қамтамасыз етуде қолдану үшін жаңа, тиімділігі жоғары каталитикалық жүйелерді дайындау, оның артықшылықтары мен кемшіліктерін салыстыру болашақ зерттеулердің негізгі мәселесі болып табылады. 

«Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Білім және Ғылым министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (Грант № AP09260687 Өндірістік ағынды сулардағы улы қосылыстарды шығару және жою технологиясы)».

ӘДЕБИЕТТЕР

- 1 Шимова О.С. Основы экологии и экономика природопользования. – Минск, БГЭУ., 2001. – 367 с. [Shimova, O.S. Osnovy ekology i ekonomiki prirodopol'zovaniya. – Minsk, BGEU., 2001. – 367 s.]
- 2 Антропогенное воздействие на гидросферу. www.nezachetovnet.ru/free/problemi_ekologii [Antropogennoe vozdejctvie na gidrocferu. www.nezachetovnet.ru/free/problemi_ekologii]
- 3 Киреев М.А., Надиров Н.К. Экологические проблемы в нефтедобывающей отрасли Казахстана и пути их решения // Нефть и газ. – 1998. – № 4. – С. 130-137. [Kireev M.A., Nadirov N.K. Ekologicheskie problemy v neftedobyvayushej otrasli nvironmental Kazahstana i puti ih resheniya // Neft' i gaz. – 1998. – № 4. – S. 130-137.]
- 4 Надиров Н.К. Водонефтяная смесь и проблемы ее разделения // Нефть и газ. – 2010. – №3. – С. 72-78. [Nadirov N.K. Vodoneftyanaya smes' i problemy eye resheniya // Neft' i gaz. – 2010. – № 3. – S. 72-78.]
- 5 Chen J., Luo J., Luo Q., Pang Z. Wastewater Treatment: Application of New Functional Materials // De Gruyter, China Environment Publishing Group Co., Ltd. – 2018. –324 p. – ISBN: 978-3-11-054278-3.
- 6 Muralikrishna, I. V., & Manickam. Industrial Wastewater Treatment Technologies, Recycling, and Reuse // Environmental Management. – 2017. – P.295–336.
- 7 Gagol M., Darvishi Cheshmeh Soltani R., Przyjazny A., Boczkaj G. Effective degradation of sulfide ions and organic sulfides in cavitation-based advanced oxidation processes (AOPs) // Ultrasonics Sonochemistry. – 2019. –Vol.58. – P. 104610
- 8 Garrido-Cardenas J.A., Esteban-García B., Agüera A., Sánchez-Pérez J. A., Manzano-Agugliaro F. Wastewater Treatment by Advanced Oxidation Process and Their Worldwide Research Trends // Int J Environ Res Public Health. – 2019. – Vol.17(1) – P.1-19.
- 9 Wang Xiang. Liu Jun, Liu Jian-ping, Shi Gao-ming. Scheme of processing and production of cotton pulp // Zhongguo jishui paishui China Water and Wastewater. – 2011. – Vol.27(6). – P.73-78.
- 10 Фаттахова А. М., Абдрахманова Ю. Ф., Кирсанова А. Г., Хангильдин Р. И., Мартяшева В. А., Шарафутдинова Г. М. Катализаторы для процесса окисления в водной

- среде // Башкирский химический журнал. – 2010. – № 5. – С. 16–20. [Fattahova A.M., Abdrahmanova Yu. F., Kirsanova A. G., Hangil'din R. I., Martyasheva V. A., Sharafutdinova G. M. Katalizatory dlya processa okisleniya v vodnoi srede // Bashkirskij hemicheskij zhurnal. –2010. – №5. – С. 16-20.]
- 11 Козлов А. И., Беликова Т. А, Грунский В. Н., Новоселов А. С., Пономарев Б.А. Очистка СВ предприятий после стабилизации нитратов целлюлозы от неиногенных поверхностно-активных веществ методом каталитического окисления кислородом воздуха // Хим. промышленность сегодня. – 2009. – № 8. – С. 16-21. [Kozlov A. I., Belikova T. A., Grunsky V. N., Novoselov A. S., Ponomarev B.A. Ozhistka SV predpriyatij posle stabilizacii nitratov cellyulozy ot neinogennyh poverhnostno-aktivnyh veshstv metodom kataliticheskogo okisleniya kislorodom vozduha // Him.promyshlennost' segodnya. – 2009. – № 8. – С. 16-21.]
 - 12 Mierzwa-Hersztek M., Gondek K, Klimkowicz-Pawlas A., Baran A., Bajda T. Sewage sludge biochars management—Ecotoxicity, mobility of heavy metals, and soil microbial biomass // Environmental toxicology and chemistry. – 2018. – Vol.37(4). – P.1197-1207. <https://doi.org/10.1002/etc.4045>
 - 13 Moreira F.C., Boaventura R. A.R., Brillas E., Vilar V. J.P. Electrochemical advanced oxidation processes: A review on their application to synthetic and real wastewaters // Applied Catalysis B: Environmental. – 2017.– Vol.202. – P.217-261.
 - 14 Garcia-Segura S., Brillas E. Applied photoelectrocatalysis on the degradation of organic pollutants in wastewaters // Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews. – 2017. – Vol.31. – P.1-35.
 - 15 Al Mayyahi A., Abed Al-Asadi H.A. Advanced Oxidation Processes (AOPs) for Wastewater Treatment and Reuse: A Brief Review // Asian Journal of Applied Science and Technology. –2018. – Vol.2(3). – P. 18-30.
 - 16 Saharan K.V., Pinjari D., Gogate R.P., Pandit A.B. Advanced Oxidation Technologies for Wastewater Treatment // Industrial Wastewater Treatment. – 2014. – P.141-191.
 - 17 Fernandes A.R., Ramakrishna V.R., Bethi V. MnO₂ as a terminal oxidant in Wacker oxidation of homoallyl alcohols and terminal olefins // Organic and Biomolecular Chemistry. – 2020. – Vol.18. – P. 6115-6125. <https://doi.org/10.1039/D0OB01344G>
 - 18 Cako E., Dinesh K., Soltani R.D.Ch., Boczkaj G. Ultrafast degradation of brilliant cresyl blue under hydrodynamic cavitation based advanced oxidation processes (AOPs)// Water Resources and Industry. – 2020. –Vol. 24. – P.100134
 - 19 Gaḡol M., Przyjazny A., Boczkaj G. Effective method of treatment of industrial effluents under basic pH conditions using acoustic cavitation – A comprehensive comparison with hydrodynamic cavitation processes// Chemical Engineering and Processing. – 2018. – Vol.128. –P.103-113.
 - 20 Yang Deng., Renzun Zhao. Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Wastewater Treatment //Curr Pollution Rep. – 2015. – Vol. 1 – P.167–176. <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0015-z>
 - 21 Razali, N. 'Aliaa, & Othman, S. A. Study of Photocatalytic Performance of Doping Titanium Dioxide (TiO₂) // Journal of Science and Mathematics Letters. – 2021. – Vol.9.– P.72–79. <https://doi.org/10.37134/jsml.vol9.sp.9.2021>
 - 22 Фазуллина Э.П. Назаров Б.Г., Гриценко А.Ю., и др. О повышении использования озона при обесцвечивании сточных вод // Труды МХТИ им. Д.И. Менделеева. – М.: 1979. – Вып.109. – С. 82-87. [Fazullina, E.P., Nazarov B.G., Gricenko A.YU., i dr. O povyshenii ispol'zovaniya ozona pri obescvечvanii stochnyh vod // Tруды MHTI im.D.I. Mendeleeva. – М.: 1979. – Вып. 109. – С. 82-87.]

- 23 Воронцов, А.В. Козлов Д.В. и др. Фотокаталитическое окисление на TiO₂. Фотокатализаторы для жидкофазных и газофазных процессов и фотокаталитическая деструкция имитантов боевых отравляющих веществ в жидкой фазе // Кинетика и катализ. – 2006. – Т.46. – № 2.– С.205–218. [Voroncov A.V., Kozlov D.V. i dr. Fotokataliticheskoe okislenie na TiO₂. Fotocatalisatory dlya zhidkofaznyh i gazofaznyh processov i fotokataliticheskaya destrukciya imitantov boevykh otravlyayushih veshestv v zhidkoi faze // Kinetika i kataliz. – 2006. – Т.46. – № 2.– S.205–218.]
- 24 Кочетков А.Ю. Панфилова И.В. и др. Новые гетерогенные катализаторы на полимерных носителях. НПО «Катализ» // Экология и промышленность России. – 2002. – №3 – С.34-36. [Kochetkov A.Yu., Panfilova I.B. i dr. Novye geterogennoe katalizatory na polimernykh nositelyah. NPO "Katalyz" // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. –2002. – № 3 – P.34-36.]
- 25 Oturan M.A., Aaron J.J. Advanced Oxidation Processes in Water/ Wastewater Treatment: Principles and Applications: A Review// Critical Reviews in Environmental Science and Technology. – 2014. – Vol.44 – P. 2577-2641. <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.829765>
- 26 Barasarathi J., SannasiAbdullah P., ChijiokeUche P. Application of magnetic carbon nanocomposite from agro-waste for the removal of pollutants from water and astewater //Chemosphere.–2022.–Vol.305.–P.135384. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135384>
- 27 Lin C.R., Ivanov O.S., Edelman I.S., Knyazev Y.V., Zharkov S.M., Petrov D.A., Sokolov A.E., Svetlitsky E.S., Velikanov D.A., Solovyov L.A., et al. Carbon Double Coated Fe₃O₄@C@CNanoparticles: Morphology Features, Magnetic Properties, Dye Adsorption. // Nanomaterials. – 2022. – Vol.12(3). – P.376. <https://doi.org/10.3390/nano12030376>
- 28 Шабельская Н.П., Егорова М.А., Арзуманова А.В., Яковенко Е.А., Забабурин В.М., Вяльцев А.В. Получение композиционных материалов на основе феррита кобальта (II) для очистки водных растворов // Изв. вузов. Химия и хим. Технология. – 2021. – Т. 64. – Вып. 2. – С. 95-102. [Shabel'skaya N.P., Egorova M.A., Arzumanova A.V., Yakovenko E.A., Zababurin V.M., Vyaltsev A.V. Preparation of composite materials based on cobalt (II) ferrite for purification of aqueous solutions. Izv. universities. Chemistry and chemical technology. –2021. – Vol. 64. – Issue 2. – P. 95-102.]
- 29 Раджабов А.М., Шабельская Н.П., Таранушич В.А., Сушкова С.Н., Ульянова В.А. Получение и свойства перспективных композиционных материалов на основе CoFe₂O₄ // Изв. вузов. Техн. науки. – 2022. – № 1. – С. 60 – 65. <http://dx.doi.org/10.17213/1560-3644-2022-1-60-65> [Radzhabov A.M., Shabel'skaya N.P., Taranushich V.A., Sushkova S.N., Ul'yanova V.A. Poluchenie i svoystva perspektivnykh kompozitsionnykh materialov na osnove CoFe₂O₄ // Izv.vuzov. Tehn.nauk. – 2022. – No. 1. – P. 60-65. <http://dx.doi.org/10.17213/1560-3644-2022-1-60-65>]
- 30 Alizadeh M., Jamaledin Peighambardoust S., Foroutan R., Azimi H. Surface magnetization of hydrolyzed Luffa Cylindrica biowaste with cobalt ferrite nanoparticles for facile Ni²⁺ removal from wastewater // Environmental Research. – 2022. – Vol.212. – P. 113242 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113242>
- 31 Al-Khateeb L.A., Hakami W., Abdel Salam M., Sanari J.A., El-Shaheny R., El-Maghraby M. Solid phase-fabrication of magnetically separable Fe₃O₄@graphene nanoplatelets nanocomposite for efficient removal of NSAIDs from wastewater. Perception of adsorption kinetics, thermodynamics, and extra-thermodynamics // Analytica Chimica Acta. –2022. – Vol.1223. – P.340158. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2022.340158>
- 32 Zhu Z., Ma C., Yu K., Lu Z., Liu Z., Yan Y., Tang X., Huo P. Fabrication of CoFe₂O₄-modified and HNTs-supported g-C₃N₄ heterojunction photocatalysts for enhancing MBT

- degradation activity under visible light // *Journal of Materials Science*. – 2020. – Vol. 55(10). – P. 4358 – 4371.
- 33 Sheoran A., Kaur J., Kaur P., Kumar V., Tikoo K.B., Agarwal J., Bansal S., Singhal S. Graphene based magnetic nanohybrids as promising catalysts for the green synthesis of β -amino alcohol derivatives // *Journal of Molecular Structure*. – 2020. – Vol. 1204. – P. 127522.
 - 34 Dos Santos J.M.N., Pereira C.R., Pinto L.A.A., Frantz T., Lima E.C., Foletto E.L., Dotto G.L. synthesis of a novel CoFe_2O_4 / chitosan magnetic composite for fast adsorption of indigotine blue dye // *Carbohydrate Polymers*. – 2019. – Vol.217. – P. 6-14.
 - 35 Olusegun S.J., Freitas E.T.F., Lara L.R.S., Stumpf H.O., Mohallem N.D. Effect of drying process and calcination on the structural and magnetic properties of cobalt ferrite // *Ceramics International*. – 2019. – Vol. 45. – № 7. – P. 8734 – 8743.
 - 36 Fan Y., Zhou Z., Feng Y., Zhou Y., Wen L., Shih K. Degradation mechanisms of ofloxacin and cefazolin using peroxymonosulfate activated by reduced graphene oxide- CoFe_2O_4 composites. // *Chemical Engineering Journal*. – 2020. – Vol. 383.– P. 123056.
 - 37 Bigham A., Aghajanian A.H., Saudi A., Rafienia M. Hierarchical porous Mg_2SiO_4 - CoFe_2O_4 nanomagnetic scaffold for bone cancer therapy and regeneration: Surface modification and in vitro studies // *Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol.109. – P.110579.
 - 38 Kelebogile Mmesesi O., Masunga N., Kuvarega A., Nkambule TI T., Mamba B.B., Kefeni K.K. Cobalt ferrite nanoparticles and nanocomposite: Photocatalytic, antimicrobial activity and toxicity in water treatment // *Materials Science in Semiconductor Processing*. – 2021. – Vol.123. – P.105523. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2020.105523>
 - 39 Алтунина Л. К., Сваровская Л.И., Терехова О. Г., Магаева А. А., Итин В. И. Сорбционная активность наноразмерных порошков SnO_2 и CoFe_2O_4 // *Химия в интересах устойчивого развития*. – 2011. – Т. 19. – С. 237—242. [Altunina L. K., Swarovskaya L. I., Terehova O. G., Magaeva A. A., Itin V. I. Sorpcionnaya aktivnost' nanorazmernih poroshkov SnO_2 and CoFe_2O_4 // *Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya*. – 2011. – Т. 19.– S. 237-242]
 - 40 Самойлова Н. А., Краюхина М. А. Магнитный композит на основе хитина для удаления загрязняющих веществ из водных сред. // *Известия Академии наук. Серия химическая*. – 2020.- № 6. - С. 1157-1164. [N. A. Samojlova, M. A. Krayuhina Magnitnyj komposit na osnove hitina dlya udaleniya zagryaznyayushih vrshectv iz vodnyh sred // *Izvestiya Akademii nauk. Seriya Hemicheskaya*. – 2020.- № 6. - S. 1157-1164.]