

ӨНЕРКӘСІПТІК ҚАЛДЫҚТАРДЫ АДСОРБЦИЯЛЫҚ ТАЗАРТУ ӘДІСТЕРІ

ОРЫНБАСАР Р.О. , ЕСЕНОВА С.А. , БОЛАТ А.Д. 

Орынбасар Райгүл Орынбасарқызы - Химия ғылымдардың кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

E-mail: raihaan_06_79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6198-3018>

***Есенова Сымбат Абайқызы** – Студент, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

E-mail: esenovasymbat9@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-6113-7289>

Болат Ақмарал Даулетқызы - Студент, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

E-mail: bolatakmaral@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-0960-2705>

Аңдатпа. Бұл зерттеу жұмысында өнеркәсіптік ағын сулардағы органикалық және бейорганикалық ластанушыларды адсорбциялық әдістер арқылы тиімді тазарту жолдары жан-жақты қарастырылды. Ағын суларды тазарту – қазіргі таңда жаһандық деңгейде өзекті экологиялық мәселелердің бірі болып отыр. Өндірістік мекемелерден шығатын ағын сулардың құрамында түрлі ауыр металдар, мұнай өнімдері, фенолдар, нитраттар мен басқа да улы қосылыстар кездеседі. Бұл заттар табиғи экосистемаларға кері әсер етіп, адам денсаулығына зиян тигізуі мүмкін. Сондықтан мұндай суларды тазарту әдістерін жетілдіру аса маңызды.

Зерттеу барысында сорбент ретінде табиғи цеолит пен грек жаңғағының қабығынан алынған белсендірілген көмір қолданылды. Аталған материалдар жергілікті табиғи ресурстардан алынған, арзан, экологиялық қауіпсіз және жоғары адсорбциялық қабілетке ие. Бұл олардың тазарту жүйелерінде тиімділігін арттырады.

Өртүрлі өндірістік аймақтардан алынған су үлгілеріне лабораториялық тәжірибелер жүргізіліп, тазарту тиімділігі сандық және сапалық тұрғыдан бағаланды. Тәжірибе нәтижесінде екі сорбент те ауыр металдар мен органикалық ластанушыларды тиімді түрде сорбциялағаны анықталды. Белсендірілген көмір органикалық қосылыстарды жоюда өте жоғары нәтиже көрсетсе, цеолит ауыр металл иондарын сіңіруде ерекше тиімділікке ие болды. Сонымен қатар, тазартылған судың физика-химиялық қасиеттері: рН, мөлдірлік, иіс, тұздылық, еріген оттегі деңгейі және басқа да параметрлер айтарлықтай жақсарғаны байқалды.

Қолданылған сорбенттердің қайта пайдалануға жарамдылығы да зерттеліп, олардың регенерациядан кейін де тиімділігін сақтағаны дәлелденді. Жалпы алғанда, бұл әдістер өнеркәсіптік ағын суларды тазартуда экологиялық жағынан қауіпсіз, үнемді және болашағы зор технология ретінде бағаланды.

Түйін сөздер: өндірістік ағын су, ластанушылар, адсорбция, цеолит, белсендірілген көмір, грек жаңғағы, тазарту, экология.

Кіріспе. Өндірістік, ауыл шаруашылық және тұрмыстық шығарындылардың шамадан тыс көбеюі табиғаттың қалдықтарды табиғи жолмен — бактериялар, су, ауа мен күн сәулесі арқылы ыдырату қабілетін және экологиялық тепе-теңдікті бұзды. Бұл жағдай бүкіл адамзат үшін экологиялық апаттар мен дағдарыстар туындатуда.

Адамзат қоғамының үдемелі дамуы мен қоршаған орта ресурстарының шектеулілігі, сондай-ақ табиғаттың өзін-өзі қалпына келтіру мүмкіндіктері арасындағы қарама-қайшылықтар барған сайын өзекті, ұзақ мерзімді және күрделі мәселелерге айналууда.

Осы жағдайға байланысты қоғамның табиғатты пайдалану тәсілдеріне деген көзқарасын түбегейлі өзгерту қажет. Табиғи ресурстарды тиімді реттеу – қазіргі ұрпақтың қажеттіліктері мен болашақ ұрпақтардың мүдделері арасындағы тепе-теңдікті сақтауға бағытталуы тиіс. Алайда бүгінгі таңда табиғи ресурстарды тұтыну көбіне болашақ ұрпақтардың өмір сүру мүмкіндігіне зиян келтіре отырып жүзеге асырылуда.

Адамның өндірістік қызметі табиғи ресурстарды пайдаланумен тығыз байланысты. Бұл процесс ресурстардың сапасы мен көлеміне әсер етеді. Бүгінде олардың тозуы мен сарқылуы нақты әрі алаңдататын факторға айналды. Өндірістік өнім өндіруде қолданылатын табиғи ресурстардың тек үштен бірі ғана тікелей пайдаланылады, ал қалған екі үштен бірі қосымша өнімдер мен қалдықтар түрінде жоғалады [1].

Техникалық қажеттіліктерге жыл сайын атмосферадан 6 миллиард тонна оттегі шығындалады, бұл планетаның биосферасы өндірген көлемнің 12%-ын құрайды.

Жалпы алғанда, адамның биосфераға әсері келесі факторлармен анықталады:

–табиғатта жоқ және табиғи қосылыстарға тән емес қасиеттері бар 10 миллионнан астам заттардың синтезі;

–газ бен мұнай құбырларының, басқа да көлік артерияларының кең желісін салу және әртүрлі шикізаттарды өндіру аймақтарынан өңдеу аймақтарына тасымалдау, оның нәтижесінде оны тарату және ластану аймақтарын кеңейту;

–энергия өндірісін дамыту, онда энергия алу үшін көмірсутек шикізаты пайдаланылады, оның жануынан биосфераны ластайтын заттар көп мөлшерде бөлінеді;

–басқарылатын ядролық реакцияларды жүргізу әдістерін игеру, бұл радиоактивті материалдарды кеңінен қолдануға және биосфераны онымен ластауға әкелді;

–көлік саласын дамыту, оның пайдалану барысында көп мөлшерде токсикалық қалдықтар бөлінеді;

–ауылшаруашылық өндірісін интенсивтендіру, бұл жерде егістіктерде тыңайтқыштар, гербицидтер, пестицидтер пайдаланылады;

–металлургия, целлюлоза-қағаз, мұнай өңдеу және басқа да салалардың кеңеюі, олар химиялық белсенді өндірістік қалдықтарды көп мөлшерде шығарады.

Мамандардың пікірінше, антропогендік ластану атмосферасы адам ағзасына осындай аурулардың пайда болуына себеп болып табылады: бронхит, астма, аллергия, рак және басқа да аурулар. Ал жақын болашақта бұл ластану көптеген түрлердің генетикалық процестеріне де әсер етуі мүмкін [2].

Ең маңызды мәселе — атмосфераның көмірқышқыл газымен ластануынан туындайтын парникті әсердің пайда болу қаупі. Бұл газ көмірсутек отындарының, мысалы, көмір, бензин, табиғи газ, ағаш және т.б. жану барысында қалыптасады.

Мамандардың түрлі бағалауларына сәйкес, атмосферадағы көмірқышқыл газының қауіпті шегі (0,045%) 2030 немесе 2050 жылдары жетуі мүмкін, бұл өз кезегінде 2050 немесе 2090 жылдары парникті әсердің пайда болуына әкеледі. XX ғасырдың басында атмосферадағы көмірқышқыл газының құрамында 0,03% болды. Оның мөлшері екі есе артқанда атмосфера температурасы орташа есеппен 2-4°C-қа көтеріледі (негізгі ауытқулармен), бұл әлемдік мұхиттың деңгейінің 1 метрге көтерілуіне себеп болады [3].

Қазіргі уақытта БҰҰ-ның ЕЭК шешімі мен аз қалдықты және қалдықсыз технологиялар туралы Декларациясына сәйкес, сондай-ақ қалдықтарды пайдалану негізінде келесі қалдықсыз технологияның анықтамасы қабылданды: қалдықсыз технология — бұл адамның қажеттіліктері аясында табиғи ресурстар мен энергияны ең тиімді пайдалану және қоршаған ортаны қорғау мақсатында білім, әдістер мен құралдарды практикалық қолдану.

Табиғи түрде, қарастырылып отырған технологиялық кешендерде өндіріс қалдықтарының ұғымы әртүрлі мағынаға ие: қалдықтарды қалпына келтіру кезінде олар механикалық немесе технологиялық жоғалтулар ретінде қарастырылса, ал қалдықтарды қайта өңдеу кезінде олар екінші шикізат ретінде қарастырылады.

Зиянды қалдықтар, мысалы, инфекциялық, токсикалық және радиоактивті қалдықтар болып саналады. Олардың жинау және жою арнайы санитарлық ережелермен реттеледі.

«Зиянды заттар. Классификация және қауіпсіздікке қойылатын жалпы талаптар» стандартына сәйкес, барлық өндірістік қалдықтар (ӨК) қоршаған табиғи орта үшін қауіптілік деңгейіне қарай төрт қауіп деңгейіне бөлінеді (кесте 1):

Кесте 1 - Өндірістік қалдықтарды қауіптілік класы бойынша классификациялау

Класс	Қалдықтар (заттар) сипаттамасы
Бірінші	Өте қауіпті
Екінші	Жоғары қауіпті
Үшінші	Орташа қауіпті
Төртінші	Аз қауіпті
Бесінші	Практикалық тұрғыдан қауіпті емес

1-ші класс — қалдықтар әсер еткенде экологиялық жүйе қайтарымсыз түрде бұзылады, қалпына келтіру кезеңі жоқ; 2-ші класс — экологиялық жүйе қатты бұзылған, қалпына келтіру кезеңі кемінде 30 жыл зиянды әсерді толық жойғаннан кейін; 3-ші класс — экологиялық жүйе бұзылған, қалпына келтіру кезеңі кемінде 10 жыл зиянды әсерді азайту арқылы; 4-ші класс — экологиялық жүйе бұзылған, өзін-өзі қалпына келтіру кезеңі кемінде 3 жыл; 5-ші класс — экологиялық жүйе іс жүзінде бұзылмаған.

Зерттеу материалдары мен әдістері. Адсорбция — өнеркәсіптік судан әртүрлі қосылыстарды жою мақсатында ағынды суды тазарту әдісі. Бұл процесс кезінде тазартылған су адсорберде орналасқан адсорбент қабатынан өтеді, адсорбент ластанғыш заттарды сіңіріп алады, ал тазартылған су аппаратан шығарылады. Адсорбцияның негізі сол, адсорбенттің қатты беті сұйықпен жанасқан кезде, бар беттік күштердің тепе-теңдігінің бұзылуынан ерітіндідегі ерітінгі молекулалардың беттік қабатын жинайды [4].

Бұл әдіс әдетте суды өңдеу процесінде соңғы тазарту сатысы ретінде қолданылады, себебі адсорбенттер органикалық заттармен оңай артық жүктелуі мүмкін. Адсорберлер өндірілген суда кездесетін марганец, темір, көмірсутектер, мұнай және 80%-дан астам ауыр металдарды шығару үшін пайдаланылады. Адсорбция процесі тұздығына қарамай суды тазартуға қолданылады. Шикізат судың сапасы мен қолданылатын адсорбент түріне байланысты, соңғының ауыстырылуы немесе регенерациясы талап етілуі мүмкін [5].

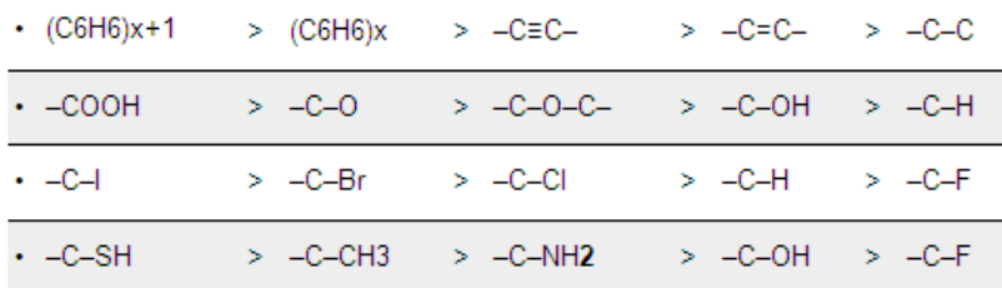
Адсорбция – сұйықтықтағы молекулалардың қатты заттың бетімен байланысу процесі. Адсорбенттердің порак құрылымы олардың үлкен бет ауданына ие болуына мүмкіндік береді, сондықтан аз мөлшерде адсорбент қолдана отырып, тазарту процесін жүргізуге болады. Процесс ерітінділердің беткі кернеуімен тығыз байланысты және оның қарқындылығы температураға, адсорбцияланатын заттың табиғаты мен концентрациясына, сондай-ақ адсорбенттің қасиеттері мен оған жанасатын сұйықтықтың жағдайына тәуелді. Ең жиі қолданылатын адсорбент – белсендірілген көмір, ол полярлы емес қосылыстарды тиімді жоюға жарайды [6].

Активті көмірмен адсорбция – аз энергия шығындары мен қызмет көрсету шығындарының төмендігі, қарапайымдылығы мен сенімділігі арқасында тексерілген және кеңінен қолданылатын технология болып табылады. Активті көмір колоннасы шектеулі бақылау мен қызмет көрсетуді талап етеді. Активті көмір кең спектрлі адсорбент ретінде қарастырылады, өйткені ол әртүрлі органикалық қосылыстарды жоя алады. Алайда, активті көмір кейбір органикалық қосылыстарды, оның ішінде май қышқылдары мен фенолдарды сорбент ретінде пайдаланғанда, функционалды беттегі топтар мен кейбір органикалық заттар арасындағы адсорбциялық байланыс күші әдетте соншалықты жоғары болады, сондықтан десорбция процесі күрделі болып, толық жүзеге аспайды. Бұл қалаусыз әсер белгілі бір өнеркәсіптік ағынды суды тазарту мақсатында активті көмірді адсорбент ретінде қолдануды шектейді [7].

Адсорбциялық өңдеудің тиімділігі жойылатын заттың түріне байланысты. Молекулалық массасы жоғары және суда ерігіштігі төмен заттар белсендірілген көмірмен жақсы адсорбцияланады. Жойылатын заттың концентрациясы, басқа органикалық компоненттердің болуы, температура, рН және қондырғының конструкциясы да адсорбцияның тиімділігіне әсер етеді. Белсендірілген көмірге жүктеме коэффициенті 10-30% аралығында болады, ал басқа

адсорбенттер үшін бұл коэффициент төменірек (1-5%). Бұл басқа адсорбенттерді қолдану үшін үлкен колонналар мен үлкен көлемде адсорбент қажет болатынын білдіреді, бұл өз кезегінде жоғары инвестициялық және эксплуатациялық шығындарды талап етеді [8].

Басқа адсорбенттердің артықшылығы олардың жоғарырақ ерекшеліктерінде, яғни олар белсендірілген көмірмен салыстырғанда басқа заттарды жоя алады. Белсендірілген көмірмен адсорбция жиі үшінші дәрежелі тазарту ретінде қолданылады, ол ағынды сулардан органикалық микробелсенді заттар мен ХПК-ны, сондай-ақ, аз мөлшерде болса да, органикалық комплекстердегі металдарды жоюға бағытталған. Адсорбция коэффициенті жойылатын заттардағы әртүрлі топтар мен қосылыстарға байланысты анықталады. Төменде адсорбция коэффициентінің азаю схемасы ұсынылған:



Сурет 1. Адсорбция коэффициентінің азаю схемасы [9].

Өнеркәсіпте қолданылатын басқа адсорбенттерге табиғи немесе синтетикалық цеолиттер жатады. Олар кеуектердің біркелкі таралуымен ерекшеленеді және белсендірілген көмірмен салыстырғанда әлдеқайда селективті. Цеолиттер — табиғи балшықты минералдар және олар өте полярлы органикалық және бейорганикалық заттарды (иондарды) адсорбциялау үшін қолданылады. Сонымен қатар, адсорбент ретінде кварц гелі мен белсендірілген алюминий де пайдаланылады. Бұл адсорбенттер жоғары полярлы қасиетке ие және суда ерігіштігі жоғары болғандықтан, олар көбіне бейполярлы ортадан суды кетіру үшін қолданылады.

Ластанған судан нақты органикалық қосылыстарды жою мақсатында белсендірілген көмірдің орнына макрокеуекті полимерлі шайырлар баламалы әдіс ретінде қолданылып жүр. Бұл шайырлар ерітінділерден немесе суспензиялардан органикалық қосылыстарды тиімді түрде кері адсорбциялай алады әрі десорбция мәселесін азайтады, себебі органикалық қосылыстар мен шайыр беті арасында тұрақты байланыс түзіледі. Полимерлі шайырларды қолдану кезінде олардың функционалды тобы, беткі ауданы және кеуектілігіндегі өзгерістер нақты органикалық заттарды селективті түрде жою мүмкіндігін көрсетеді [10].

Полярлы органикалық қосылыстармен, әсіресе мұнай және оның туындыларымен ластанған суды тазарту үшін вермикулит те кеңінен қолданылады. Бұл жағдайда алюмосиликатты минерал гидрофобталған (суды тебетін) күйінде пайдаланылады.

Сонымен қатар, кейбір адсорбенттердің бағасының жоғары болуына байланысты баламалы сорбенттер зерттеліп жатыр. Мұнай өңдеу зауыттарында судан еркін мұнай мен суспензияланған қатты заттарды жою үшін қолданылатын коммерциялық сорбент – грек жаңғағының қабығынан жасалған сүзгі материалы. Бұл әдісте су сүзгі арқылы төмен қарай ағады, ал мұнай сіңіріліп, қатты заттар сүзгіде қалып қояды.

Фильтрация технологиясы өндірілген судан мұнай мен мұнай өнімдерін жоюда кеңінен қолданылады. Бұл процесс әртүрлі ұсақ материалдарды – құм, қиыршық тас, антрацит, жаңғақ қабығы және басқа да материалдарды пайдалану арқылы жүзеге асырылады. Мұндай әдіс судың тұздылығына тәуелді емес және кез келген сипаттағы өндірістік суға қолдануға жарамды. Ұсақ қабаттар арқылы сүзу технологиясы мұнай өнімдерін жоюда өте тиімді (тиімділігі 90%-дан

жоғары). Эффективтілікті арттыру үшін шикі суға сүзу алдында коагулянттар қосуға болады. Алайда бұл процестің кейбір кемшіліктері де бар – сүзу қабатын қалпына келтірудің қиындығы және пайда болған қатты қалдықтарды жою қажеттілігі [11].

Фильтрация кезінде ластанған су пористық орта арқылы өтеді, мұнда суспензияланған материал мен коллоидты материал ішінара жойылып, бактериялардың концентрациясы төмендейді және олардың химиялық құрамдары өзгертіледі.

Фильтрация жылдамдығы фильтр типіне, ластанушы заттардың құрамына және өнім немесе ағынды судың соңғы сапасына байланысты анықталады. Фильтрация өнімділігін арттыру үшін алдын ала өңдеу құрылғылары қолданылады. Мұнай өңдеу зауыттарында фильтрация мұнаймен ластанған ағынды суларда да қолданылады.

Мұнайқұрамды суларды тиімді тазарту үшін әдетте алдын ала тазарту операциялары жүргізіледі, бұл кезеңде әртүрлі ластаушы заттар жойылады. Мұнайды, майды және суспензияланған заттарды жою үшін ең көп зерттелген бөлу әдістерінің бірі – қатты және тангенциалды микрофильтрация жағдайында грануланған қабат арқылы сүзу, сондай-ақ керамикалық орта арқылы фильтрациялау болып табылады.

Мембраналық фильтрация процестері, мысалы, микрофильтрация, ультрафильтрация, нанофильтрация және кері осмос, тұрақты су-май эмульсияларын, әсіресе еріген майлы ағынды суларды өңдеуде қолданылады, ал еркін жүзетін майлар мен тұрақсыз эмульсиялар (нефть / су) үшін емес. Мембраналар майлы ағынды суларды микрондық өлшемде, әдетте 10 мкм-ден аз және өте төмен мұнай өнімдері концентрациясымен тазарту үшін тиімді. Мұндай жағдайларда гравитациялық бөлу, химиялық, термиялық және биологиялық деэмульгация сияқты дәстүрлі әдістер қолданылмайды. Мембранадағы пористік матрица майдың микрометрлік және субмикрондық өлшемдегі тамшыларын үлкенірек тамшыларға біріктіруге көмектеседі, олар гравитациялық күш әсерінен оңай жойылады.

Фильтрдің бітелуін болдырмау үшін кіріс ағынындағы суспензияланған заттардың мөлшері минималды болуы тиіс, мүмкіндігінше 1 мг/л-ден аспау керек, сол себепті алдымен алдын ала сүзгілеу жүргізілуі қажет. Десорбция ағынды судың концентрациялары төмендеген кезде жүзеге асуы мүмкін, бұл кезде ағынды суда колоннадан көбірек ластанулар адсорбцияланады. Темір, марганец, кальций карбонаттары колонна ішінде шөгініп, адсорбенттің сіңіру қабілетін айтарлықтай төмендетуі мүмкін, сондықтан су адсорбциялану алдында міндетті түрде алдын ала өңдеуден өтуі тиіс. Колоннада адсорбцияланатын компоненттердің мөлшері қолданылатын адсорбенттің түрі, ластанушылардың сипаттамасы, олардың концентрациясы және температурасына байланысты анықталады [11].

Бұл бағыттағы зерттеулер көрсетіп отырғандай, табиғи цеолит пен грек жаңғағының қабығынан алынған белсендірілген көмір — ағын суларды тазартуда жоғары тиімділікке ие адсорбенттер қатарына жатады. Цеолит – алюмосиликатты құрылымға ие, микрокеукті табиғи материал. Ол өзінің ионалмасу қасиеті арқасында аммоний иондары мен ауыр металл иондарын тиімді сорбциялайды. Сонымен қатар, цеолит тотығу процестерін күшейтетін катализатор ретінде де қызмет атқара алады. Ал белсендірілген көмір – жоғары беттік ауданға және микрокеукті құрылымға ие, әсіресе органикалық молекулаларды (бояғыштар, майлар, фенолдар) адсорбциялауда ерекше тиімді. Белсендірілген көмір грек жаңғағының қабығынан арнайы термиялық өңдеу арқылы дайындалады. Бұл көмірдің экологиялық тұрғыдан қауіпсіз әрі қайта өңделетін материал екені оны өндірістік деңгейде қолдануға жол ашады [12].

Сонымен қатар, адсорбция процесінің тиімділігіне әсер ететін бірқатар факторлар бар: сорбенттің мөлшері, ерітіндідегі ластаушы концентрациясы, рН деңгейі, температура, контакт уақыты және сорбенттің түйіршіктік құрылымы. Бұл факторлардың оңтайлы арақатынасы кезінде адсорбциялық тазарту нәтижесі жоғарылайды. Зерттеулер көрсеткендей, сутегі асқын тотығын (H_2O_2) цеолитпен бірге қолдану органикалық ластаушыларды тотығу арқылы ыдыратуға

мүмкіндік береді. Бұл — «Жетілдірілген тотығу процестері» (AOPs) деп аталатын технологиялардың бір түрі. Мұндай әдістер органикалық қосылыстарды зиянсыз өнімдерге дейін (мысалы, CO_2 мен H_2O) толық ыдыратуға мүмкіндік береді. Осылайша, адсорбция мен тотығу процестерін біріктіру — өндірістік суларды тиімді әрі кешенді тазартудың заманауи бағыты ретінде қарастырылады [13].

Өндірістік ағын сулар – қоршаған ортаның ең басты ластану көздерінің бірі. Бұл сулардың құрамында түрлі химиялық қосылыстар, ауыр металдар, органикалық ластаушылар мен тұрақты бейорганикалық поллютанттар кездеседі. Мұндай қалдықтарды тиімді тазарту үшін экологиялық қауіпсіз және арзан әдістерді қолдану маңызды. Соның бірі – адсорбция әдісі. Бұл зерттеуде табиғи цеолит пен белсендірілген көмірдің ағын сулардағы поллютанттарды тазартудағы тиімділігі зерттелді.

Нәтижелер және оларды талқылау

Зерттеу барысында үш түрлі өндірістік аймақтан (Промзона-1, Промзона-2, Промзона-3) алынған ластанған су үлгілері қолданылды. Әр аймақ бойынша екі тәжірибе жүргізілді: бірінде цеолит пен сутегі асқын тотығы, екіншісінде грек жаңғағы қабығынан алынған белсендірілген көмір қолданылды.

Өндірістік ағын су химиялық стаканға құйылып, 100–150 °C температурада қыздырылып, 500 айн/мин жылдамдықпен араластырылды. Метилоранж қосылып, рН деңгейі бақыланды. Содан кейін 2 г дейін цеолит және 30–50 мл аралығында сутегі асқын тотығы (H_2O_2) қосылды. Реакция кезінде көпіршіктер байқалды – бұл оттегінің бөлінуін көрсетеді. Ерітінді түсінің өзгеруі тазарту процесінің жүргенін көрсетті. Грек жаңғағы қабығы алдын ала жуылып, кептіріліп, 400–500 °C температурада оттегісіз ортада карбонизацияланды. Алынған белсендірілген көмір сүзгілеу жүйесінде сорбент ретінде пайдаланылды. 250–300 мл өндірістік су вакуумдық сүзгілеу арқылы сүзілді [14].

Кесте 2. Эксперименттік нәтижелер мен қолданылған заттар

№	Аймақ	Тәжірибе түрі	Қолданылған заттар	Нәтиже
1	Промзона-1	Цеолит + H_2O_2	Су – 250 мл, Цеолит – 2 г, H_2O_2 – 45 мл, метилоранж – 0.1 г	Ерітінді түсі қызғылттан бұлыңғыр сарыға өзгерді, рН өзгерді
2	Промзона-1	Белсендірілген көмір	1.4 г белсендірілген көмір, су – 250 мл	Сүзілген су мөлдір, иіссіз болды
3	Промзона-2	Цеолит + H_2O_2	Су – 300 мл, Цеолит – 1.5 г, H_2O_2 – 50 мл, метилоранж – 1 г	Түсі өзгерді, көпіршіктер байқалды, рН тұрақталды
4	Промзона-2	Белсендірілген көмір	1.5 г белсендірілген көмір, су – 300 мл	Судың түсі мен иісі жойылды
5	Промзона-3	Цеолит + H_2O_2	Су – 200 мл, Цеолит – 1 г, H_2O_2 – 30 мл, метилоранж – 0.5 г	Қызғылт түс жойылып, бұлыңғыр сары түске өзгерді

6	Промзона-3	Белсендірілген көмір	Белсендірілген көмір	Белсендірілген көмір
---	------------	----------------------	----------------------	----------------------

Цеолит пен белсендірілген көмірдің адсорбциялық қасиеттері өндірістік ағын сулардағы ластаушы заттарды тиімді жоюға мүмкіндік берді. Цеолит пен сутегі асқын тотығының комбинациясы тотығу арқылы химиялық ластаушыларды ыдыратса, белсендірілген көмір органикалық заттарды жоғары тиімділікпен сорбциялады. Бұл әдістер экологиялық қауіпсіз, арзан және өндірістік масштабта қолдануға қолайлы. Алынған нәтижелер болашақта өнеркәсіптік су тазарту жүйелерін жақсартуға негіз бола алады.

Қорытынды. Қорытындылай келе, зерттеу негізінде табиғи сорбенттерді — цеолитті және жаңғақ қабығынан алынған белсендірілген көмірді қолдана отырып, ластанған суды тазартудың тиімді әдістері анықталды деп айтуға болады. Бұл материалдар экологиялық таза, қол жетімді және қоршаған ортаға қауіпсіз.

Тәжірибе нәтижелері цеолиттің Бейорганикалық ластаушы заттарды тиімді адсорбциялайтынын көрсетті, ал белсендірілген көмір органикалық заттармен жақсы жұмыс істейді. Бұл сорбенттерді бірлесіп қолдану Ағынды суларды кешенді тазартуға қол жеткізуге мүмкіндік береді. Бұл әсіресе өнеркәсіптік және тұрмыстық ластанумен байланысты өсіп келе жатқан экологиялық проблемаларға қатысты.

Жұмыс барысында әртүрлі тазарту әдістері салыстырылды және ұсынылған табиғи сорбенттердің жоғары тиімділігі дәлелденді. Зерттеудің бұл бағыты суды тазарту технологияларын одан әрі жетілдіруге мүмкіндік береді.

Экология мәселелері бірінші орынға шығатын қазіргі әлемде тазалаудың табиғи, қауіпсіз және экономикалық тиімді әдістерін қолдану маңызды. Сондықтан бұл жұмыстың ғылыми ғана емес, практикалық маңызы да бар. Алынған нәтижелер әрі қарайғы ғылыми зерттеулерде де, нақты өндірістік жағдайларда да қолданыла алады.

Әдебиеттер тізімі

1. Gogoi A., Mazumder P., Tyagi V.K., Tushara Chaminda, G.G., An A.K.; Kumar M. Occurrence and fate of emerging contaminants in water environment: A review. *Groundw. Sustain. Dev.* 2018, 6, 169–180.
2. Tang Y., Yin M., Yang W., Li H., Zhong, Y., Mo L., Liang Y., Ma X., Sun X. Emerging pollutants in water environment: Occurrence, monitoring, fate, and risk assessment. *Water Environ. Res.* 2019, 91, 984–991.
3. Braga R.M., Santiago R.C., Araújo L.C.B., et al. Description of sodium bentonite and calcium and its applications as phenol adsorbent, 2010. – P.1-3.
4. Ebenezer T. Igunnu George Z. Chen. Produced water treatment technologies // *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 2012. – P.1-21.
5. Nonato T.C.M., De A Alves A.A., Sens M.L., et al. Produced water from oil - A review of the main treatment technologies // *Journal of Environmental Toxicology*, 2018. - 2(1). – P.23-27.
6. Arnold K., Stewart M., Surface production operations. Design of oil handling systems and facilities. – Elsevier, 2008. - Vol. 1, Third edition. – 768p.
7. Cline, J.T. Treatment and discharge of produced water for deep offshore disposal. In: *API Produced Water Management Technical Forum and Exhibition*, Lafayette, LA, 1998.
8. Rodrigues J.B.S.M. Contribution to the study of the main treatment technologies used in the treatment of effluents from the oil industry, 2008.
9. ST RK 1662-2007. Voda dlya zavodneniya neftyanyh plastov. Trebovaniya k kachestvu.
10. Arnold K., Stewart M. Emulsions and oil treating equipment. Selection, Sizing and Troubleshooting. Elsevier, 2008. – 1st edition. – 304p.

11. Al-Zahrani S.M., Putra, M.D. Used lubricating oil regeneration by various solvent extraction techniques // *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2013. – 19. – P.536-539.
12. Taiwo E.A., Otolorin J.A. Oil recovery from petroleum sludge by solvent extraction // *Petroleum Science and Technology*, 2009. – 27. – P.836-844.
13. Schwab A.P., Su, J., Wetzel S., Pekarek S., Banks M.K. Extraction of petroleum hydrocarbons from soil by mechanical shaking // *Environmental Science Technology*, 1999. – 33. – P.1940-1945.
14. Abdel-Azim A.A., Abdul-Raheim A.M., Kamel R.K., Abdel-Raouf M.E. Demulsifier systems applied to breakdown petroleum sludge // *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2011. – 78. – P.364-370.

References

1. Gogoi A., Mazumder P., Tyagi V.K., Tushara Chaminda, G.G., An A.K.; Kumar M. Occurrence and fate of emerging contaminants in water environment: A review. *Groundw. Sustain. Dev.* 2018, 6, 169–180.
2. Tang Y., Yin M., Yang W., Li H., Zhong, Y., Mo L., Liang Y., Ma X., Sun X. Emerging pollutants in water environment: Occurrence, monitoring, fate, and risk assessment. *Water Environ. Res.* 2019, 91, 984–991.
3. Braga R.M., Santiago R.C., Araújo L.C.B., et al. Description of sodium bentonite and calcium and its applications as phenol adsorbent, 2010. – P.1-3.
4. Ebenezer T. Igunnu George Z. Chen. Produced water treatment technologies // *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 2012. – P.1-21.
5. Nonato T.C.M., De A Alves A.A., Sens M.L., et al. Produced water from oil - A review of the main treatment technologies // *Journal of Environmental Toxicology*, 2018. - 2(1). – P.23-27.
6. Arnold K., Stewart M., Surface production operations. Design of oil handling systems and facilities. – Elsevier, 2008. - Vol. 1, Third edition. – 768p.
7. Cline, J.T. Treatment and discharge of produced water for deep offshore disposal. In: *API Produced Water Management Technical Forum and Exhibition*, Lafayette, LA, 1998.
8. Rodrigues J.B.S.M. Contribution to the study of the main treatment technologies used in the treatment of effluents from the oil industry, 2008.
9. ST RK 1662-2007. Voda dlya zavodneniya neftyanyh plastov. Trebovaniya k kachestvu.
10. Arnold K., Stewart M. Emulsions and oil treating equipment. Selection, Sizing and Troubleshooting. Elsevier, 2008. – 1st edition. – 304p.
11. Al-Zahrani S.M., Putra, M.D. Used lubricating oil regeneration by various solvent extraction techniques // *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2013. – 19. – P.536-539.
12. Taiwo E.A., Otolorin J.A. Oil recovery from petroleum sludge by solvent extraction // *Petroleum Science and Technology*, 2009. – 27. – P.836-844.
13. Schwab A.P., Su, J., Wetzel S., Pekarek S., Banks M.K. Extraction of petroleum hydrocarbons from soil by mechanical shaking // *Environmental Science Technology*, 1999. – 33. – P.1940-1945.
14. Abdel-Azim A.A., Abdul-Raheim A.M., Kamel R.K., Abdel-Raouf M.E. Demulsifier systems applied to breakdown petroleum sludge // *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2011. – 78. – P.364-370.

АДСОРБЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

ОРЫНБАСАР Р.О. , ЕСЕНОВА С.А. , БОЛАТ А.Д. 

Орынбасар Райгүл Орынбасарқызы - Кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Ақтөбе, Казахстан
E-mail: raihaan_06_79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6198-3018>

***Есенова Сымбат Абайқызы** - Студент, Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, г. Ақтөбе, Қазақстан

E-mail: esenovasymbat9@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-6113-7289>

Болат Ақмарал Даулетқызы – Студент, Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, г. Ақтөбе, Қазақстан

E-mail: bolatakmaral@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-0960-2705>

Аннотация. В данной научной работе рассматривается очистка промышленных сточных вод от органических и неорганических загрязнителей с использованием адсорбционных методов. Очистка сточных вод является одной из наиболее актуальных экологических задач современности. Промышленные выбросы содержат тяжёлые металлы, нефтепродукты, фенолы, нитраты и другие вредные соединения, которые могут нанести вред окружающей среде и здоровью человека. В качестве сорбентов были выбраны природный цеолит и активированный уголь, полученный из скорлупы грецкого ореха. Эти материалы являются экологически безопасными, недорогими, легко доступными и обладают высокой адсорбционной способностью.

Экспериментальные лабораторные исследования проводились на пробах воды, собранных в различных промышленных районах. По результатам опытов установлено, что оба сорбента эффективно удаляют как органические, так и неорганические загрязнители. Активированный уголь особенно эффективен при удалении органических соединений, тогда как цеолит продемонстрировал высокую эффективность при удалении тяжёлых металлов. Были проанализированы физико-химические параметры воды до и после очистки (рН, прозрачность, солёность, запах, содержание растворённого кислорода), и зафиксировано значительное улучшение качества воды.

Дополнительно исследовалась возможность регенерации сорбентов. После восстановления они сохраняли адсорбционные свойства, что делает метод экономически выгодным. Таким образом, предложенные адсорбционные методы являются перспективным направлением в очистке промышленных сточных вод и могут быть успешно внедрены в практику.

Ключевые слова: промышленные сточные воды, загрязняющие вещества, адсорбция, цеолит, активированный уголь, грецкий орех, очистка, экология.

ADSORPTION METHODS FOR INDUSTRIAL WASTE TREATMENT

ORYNBASSAR R.O., ESENOVA S.A.*, BOLAT A.D.

Orynbassar Raigul Orynbassarkyzy - Candidate of chemical sciences, associate professor, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan

E-mail: raihaan_06_79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6198-3018>

***Esenova Symbat Abaikyzy** – Student, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan

E-mail: esenovasymbat9@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-6113-7289>

Bolat Akmaral Dauletkyzy – Student, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan

E-mail: bolatakmaral@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-0960-2705>

Abstract. This research work considered the purification of industrial wastewater from organic and inorganic pollutants using adsorption methods. Wastewater treatment is one of the most urgent environmental issues of our time. Industrial discharges contain harmful substances such as heavy metals, petroleum products, phenols, nitrates, and other toxic compounds that can adversely affect the environment and human health. In this study, natural zeolite and activated carbon derived from walnut shells were selected as sorbents. These materials are eco-friendly, inexpensive, widely available, and possess high adsorption capacities.

Laboratory experiments were conducted using water samples collected from various industrial areas. The results showed that both sorbents effectively removed organic and inorganic pollutants. Activated carbon was particularly efficient in removing organic compounds, while zeolite demonstrated high performance in binding heavy metals. The physicochemical properties of the water before and after treatment (pH, clarity, salinity, odor, dissolved oxygen content) were analyzed, revealing a significant improvement in water quality.

The possibility of regenerating and reusing the sorbents was also studied. After regeneration, both materials retained their adsorption properties, making the method economically advantageous. Therefore, the adsorption methods discussed in this work represent a promising and environmentally sustainable approach to the treatment of industrial wastewater and can be effectively implemented in practical applications.

Key words: industrial wastewater, pollutants, adsorption, zeolite, activated carbon, walnut, purification, ecology.