

ӨӨЖ 678.5/502.171
МРНТИ 31.15.35
DOI 10.56525/MTZD8751

**ЛАСТАНҒАН СУЛАРДЫ
ТАЗАРТУ ҮШІН ӨСІМДІК
ШИКІЗАТЫ НЕГІЗІНДЕ
ДАЙЫНДАЛҒАН
СОРБЕНТТЕРДІ ҚОЛДАНУ**

***С.С. САТАЕВА
М. Е. СИДАҒАЛИЕВ
Ф.Ж. АХМЕТОВА**

«Жәңгір хан атындағы
Батыс Қазақстан аграрлық
-техникалық университеті»
Орал, Қазақстан

***Корреспондент авторы: sataeva_safura@mail.ru**

Аңдатпа. Әлеуметтік-экономикалық талаптардың қарқынды өсуі және климаттың өзгеруі су ресурстарының сапасына үлкен қысым жасады. Болашақта тұщы су тапшылығының алдын алу және қазіргі суға деген сұранысты қанағаттандыру үшін ағынды суларды қайта пайдалану және қайта өңдеу ең өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Осы уақытқа дейін ағынды сулардан бейорганикалық және органикалық токсиндерді жою үшін көптеген технологиялар қолданылды. Өкінішке орай, суды тазартудың заманауи технологиялары көптеген дамушы елдер үшін әлі де қаржылық жағынан қол жетімді емес, яғни су құрамындағы токсиндерді шығаруын қиындатады. Сонымен қатар, қатты тұрмыстық қалдықтардың әсерінен қоршаған ортаға уыттылықтың жоғарылауы да алаңдаушылықтың негізгі себебі болып табылады. Осы мәселелермен күресу мақсатында ағынды суларды тазарту үшін ауылшаруашылық қалдықтарынан тиімді, экологиялық таза және арзан биосорбент жасау бойынша ғылыми-зерттеу жұмыстары күшейтілді. Нәтижесінде ауыр металдарды/металлоидтар мен бояғыштарды жою үшін жергілікті және аймақтық қол жетімді ауылшаруашылық қалдықтарын анықтауға баса назар аударылды. Мақала ағынды суларды ауыл шаруашылығы қалдықтарынан тазартудың көп салалы тәсілін қарастыруға бағытталған және биосорбция негіздері және оған қатысатын механизм туралы жан-жақты талқылау енгізілген. Сонымен қатар сорбенттердің тиімділігін арттыру стратегиялары талқыланып, ауылшаруашылық қалдықтарынан алынған түрлі биосорбенттердің қазіргі кездегі дамуы және оларды әр түрлі әдістермен токсиндерді бейтараптындыру үшін қолдану әрі қарай зерттеуге негіз қалау үшін қайта қаралады. Өнеркәсіптік және коммуналдық ағынды суларды тазарту үшін ауылшаруашылық қалдықтарының биосорбенттерін пайдалану қазіргі уақытта ағынды суларды қатты қалдықтарды өңдеу арқылы ластануды азайтатын шешім болып табылады. Қосымша зерттеулер мен жетістіктер қажет болғанымен, ауылшаруашылық қалдықтарына негізделген жоғары тиімді биосорбент ретінде белсендірілген көмірді өндіру тұрақты экономика мен тиімді инженерлік тәжірибенің талаптарына жауап бере отырып, перспективалы экологиялық таза технологиялық шешім болып табылады.

Кілт сөздер: ауыл шаруашылығы қалдықтары, ағынды суларды тазарту, адсорбция, биосорбция, жасыл сорбенттер.

Кіріспе. Өнеркәсіптік революция қоршаған ортаны нашарлатты, бұл біздің планетамыз үшін күрделі мәселе. Әр түрлі салалардың ішінде тоқыма өнеркәсібі әлемдегі ең маңызды экономикалық өсудің бірі ретінде кеңінен танылды. Дегенмен, ол ағынды суларға бояғыштардың, улы металдардың/элементтердің және химиялық заттардың айтарлықтай мөлшерін төгеді. Қауіпті және тұрақты ластаушы заттармен байланысты қоршаған ортаға және денсаулыққа елеулі қауіптерді ескере отырып, суды коммерциялық тұрғыдан тиімді және экологиялық тұрғыдан қолайлы сүзу әдістерін әзірлеу өте маңызды [1]. Тоқыма саласында 100000-нан астам түрлі бояғыштар қолданылады. Нәтижесінде тоқыма секторы ағынның ластану жүктемесіне жыл сайын шамамен 300000 тонна үлес қосады деп есептеледі [2]. Бұл токсиндер мен канцерогенді ластаушы заттар демікпе, аллергия, терінің тітіркенуі, тыныс алудың қиындауы, жүрек айнуы, тершеңдік, құсу, мидың тұмандығы, жоғары қан қысымы, мигрень және тіпті хромосомалық ауытқуларды қоса алғанда, денсаулықтың әртүрлі мәселелеріне әкелуі мүмкін. Демек, бұл су ресурстарын сақтау үшін үлкен кедергі болып табылады [3]. Бұл мәселені шешу үшін су ағынынан ластаушы заттарды жоюдың мембраналық фильтрация, химиялық жауын-шашын, электрохимиялық, ион алмасу, биосорбция технологиясы, фотокатализ және адсорбция сияқты бірнеше әдістері ұсынылды [4,5]. Алайда, бұл тәсілдердің көпшілігінде кемшіліктер бар, соның ішінде пайдалану мен техникалық қызмет көрсетудің жоғары шығындары, күрделі процестер, улы шлам өндірісі және ластанудың қарапайым деңгейімен күресу кезінде импотенция [6]. Салыстырмалы түрде, ағынды суларды тазарту үшін адсорбция процесі оның ыңғайлылығына, жұмысының қарапайымдылығына және төмен құнына байланысты қолайлы [7-9]. Адсорбция әдісі ағынды суларды тазарту қондырғыларында келесі биологиялық сатыларда немесе химиялық тотығу процедураларында сақталған су ағындарындағы еріген ластаушы заттардан құтылу үшін кеңінен қолданылады [10]. Дәстүрлі синтетикалық адсорбенттерді қолдана отырып, ағынды суларды тазартудағы адсорбцияның маңызы көптеген зерттеулерде атап өтілді және судан органикалық ластаушы заттарды кетіру мақсатында бірнеше жаңа адсорбенттер жасалды. Бірнеше синтетикалық адсорбенттерге ковалентті органикалық құрылымдар, металлоорганикалық құрылымдар, графен оксидінің нанопластинкалары (GONPs), гематит нанобөлшектері, көміртегі нүктелері және магнетитпен модификацияланған көміртекті нанотүтікшелер, композиттік темір нанотүтікшелері, функционалды магнитті көп қабырғалы көміртекті нанотүтікшелер және магниттік нанобөлшектермен қапталған цеолиттер [11-19]. Мысалы, ибупрофенді судан шығару үшін қолданылатын өте тиімді адсорбент 1000 °C температурада күріш пиролизінен кейін алынған кеуекті көміртек болды. Алайда, бұл адсорбенттердің кең қолданылуы олардың қымбаттығына байланысты оларды пайдалануды шектейді. Тұрақты даму тенденциясына сәйкес, мол, арзан және экологиялық таза жасыл адсорбенттер суды тазарту саласында кәдімгі синтетикалық адсорбенттерге әлеуетті балама ретінде пайда болды. "Жасыл адсорбенттер" термині орман шаруашылығы, ауыл шаруашылығы және биология салаларын қоса алғанда, әртүрлі көздерден алынған қайта өңделген материалдарды білдіреді. Адсорбциялық сыйымдылық, регенерация потенциалы, бетінің үлкен ауданы, жылдам кинетикасы және кеуекті қасиеттері тиімді адсорбенттің тамаша сипаттамалары болып табылады. Бұл адсорбенттер зертханалардан тыс жерлерде су және ағынды суларды тазарту қондырғыларында кеңінен қолданылған кезде өте маңызды. Балшық, бентонит, цеолит және монмориллонит сияқты кәдімгі жасыл адсорбенттердің кейбірі ағынды сулардан ластаушы заттарды олардың төмен құны мен көптігіне байланысты адсорбциялау үшін кеңінен қолданылады [6-8]. Өкінішке орай, бұл адсорбенттердің төмен адсорбциялық қабілеті олардың кең қолданылуын шектейді. Осыған байланысты белсендірілген көмір ағынды сулардан бояғыш және ауыр металдар сияқты

ластаушы заттарды сүзу үшін әлеуетті адсорбент ретінде пайда болды. Дегенмен, оның ағынды суларды тазартуда кеңінен қолданылуы көбінесе адсорбентті регенерациялау қабілетінің төмендігіне немесе кәдеге жаратуға қарағанда балама әдістерді қолдана отырып, қызмет ету мерзімінің соңындағы сорбентті кәдеге жаратуға байланысты шектеледі [9,10]. Нәтижесінде, зиянды ластаушы заттардың кең спектрін жою үшін ағынды суларды жоғары тиімділікпен тазартудың неғұрлым тұрақты адсорбентін және экономикалық тұрғыдан тиімді әдісін әзірлеу қажеттілігі туындайды. Қазіргі уақытта ғылыми қоғамдастықтың назары активтендірілген көміртектерді қалдықтардан, соның ішінде ауылшаруашылық қалдықтарынан, өнеркәсіптік қосалқы өнімдерден, шламдардан, теңіз материалдарынан, топырақтан және кен материалдарынан алынған сорбенттермен алмастыруға бағытталған. Жақында қоршаған ортаны қорғау және тұрақтылық мақсатында ластанған ағынды суларды қалпына келтіру үшін ауылшаруашылық қалдықтарынан (қатты жемістер, жаңғақтар мен қауыздар, қабықтар, орман қалдықтары және өсімдіктер) алынған сорбенттердің әлеуетіне қызығушылық қайта жанданды [11-14]. Ауылшаруашылық өнімдерінің, оның ішінде жұмсалған астық пен жануарлардың көңінің жағымсыз қатты заттары ауылшаруашылық қалдықтары деп аталады. Ауылшаруашылық қалдықтары целлюлозамен байытылған, бұл ластаушы заттардың ықтимал биосорбциялық қабілетін көрсетеді. Ауылшаруашылық қалдықтарының биомассасының басқа негізгі компоненттері гемицеллюлоза, лигнин, экстрактивті заттар, липидтер, ақуыздар, қарапайым қанттар, су көмірсутектері және крахмал болып табылады, олардың әртүрлі функционалдық топтары бар. ағынды сулардан токсиндерді кетіруге көмектесетін ластаушы заттармен комплекстің түзілуін жеңілдетеді. Лигноцеллюлозды материалдардың күрделі құрылымы олардың ыдырауын қиындатады. Дегенмен, бұл қалдық материалдардың байытылған беттік функционалдық топтары, кеуекті құрылымы және үлкен спецификалық ауданы бар, олардың барлығы оларды газды бөлуге және басқа қолданбаларға әлеуетті адсорбенттерге айналдырады. Мысалы, лигнин құрамындағы алифатты және фенолды гидроксил топтарының, метоксил топтарының және карбонил топтарының болуы оның адсорбциялық тиімділігін айтарлықтай арттыруы мүмкін [15]. Сонымен қатар, ауылшаруашылық қалдықтарына негізделген бұл арзан биосорбенттер қоршаған ортаның ластануын екі есе азайтады. Біріншіден, ол ағынды сулардағы ластаушы заттарды арзан бағамен жоя алады, екіншіден, ауыл шаруашылығында өндірілетін қалдықтарды азайта алады. Мұндай шаралар өнеркәсіпті айналмалы экономикаға жұмылдыру және қалдықтарды азайтудың тұрақты өнім стратегиясын әзірлеу арқылы климаттық бейтараптыққа қол жеткізуге көмектеседі. Сонымен қатар, бұл келісім ластанудың алдын алу және қалпына келтіру стратегиялары арқылы нөлдік ластану мақсатын анықтайды. Ауылшаруашылық қалдықтарынан алынған биосорбенттердің көпшілігін тікелей қолдануға болатындығы назар аудартады. Мысалы, жер жаңғағының қабығы сулы ерітіндіден малахит жасылын кетіру үшін адсорбент ретінде пайдаланылды. Папайя тұқымдары сонымен қатар метилен көгін (катионды бояу) кетіруге арналған жаңа дәстүрлі емес арзан адсорбент ретінде зерттелді [16]. Метилен көгін папайя тұқымымен алып тастау сорбциялық өзара әрекеттесу жалған екінші ретті кинетикаға бағынатынын көрсетті. Қарбызды су ерітінділерінен $Cu(II)$ адсорбциялық жолмен кетіруді қолданды. Адсорбенттердегі $Cu(II)$ адсорбциясы бастапқы концентрацияның төмендеуімен, $pH \sim 8$ жоғарылауымен, температураның жоғарылауымен, әрекеттесу жылдамдығының жоғарылауымен және бөлшектердің мөлшерінің азаюымен анықталды. Ауылшаруашылық қалдықтарын тікелей пайдаланудың кейбір шектеулері бар, мысалы, меншікті беттің төмендігі, кеуектілігі төмен және өңделген биосорбенттің жарамсыз төгілуі. Олардың кеуектілігін, адсорбциялық бетінің ауданын және оңай жойылуын одан әрі жақсарту үшін бірнеше модификациялар (физикалық белсендіру, химиялық белсендіру

және нанокұрылым) ұсынылды. Бұл зерттеу ауылшаруашылық қалдықтарын су/ағынды суларды тазарту кезінде биосорбенттерді синтездеу үшін прекурсорлық материалдар ретінде пайдалануға жарық түсіреді. Шолу ағынды сулардағы ластаушы заттарды, биосорбция негіздерін, биосорбция механизмдерін және биосорбенттердің селективтілігін қорытындылауға бағытталған. Ағынды суларды тазарту кезінде ауылшаруашылық қалдықтарынан алынған биосорбенттерді модификациялау және қолдану әдістері. Адсорбция процесінен кейін биосорбенттің қайта пайдалануға жарамдылығы, сондай-ақ оның құны қайта қаралды. Сонымен қатар, қалдықтардан алынған биосорбенттер бойынша болашақ зерттеулердің кедергілері мен перспективалары талқыланады.

Зерттеу материалдары мен әдістері. Тоқыма секторы, фармацевтика өнеркәсібі, тау-кен орындары, ауыл шаруашылығы өнеркәсібі және табиғи көздер өнімді әзірлегеннен кейін қауіпті қосылыстар жасайды. Өнеркәсіптік технологияның қарқынды дамуы қауіпті қалдықтардың мөлшерін едәуір арттырды. Ауыр металдар, бояғыштар, полиароматикалық химиялық заттар, дәрілік қосылыстар қауіпті материалдардың мысалдары болып табылады (Сурет 1).

1-сурет – Ағынды сулардағы қауіпті материал



Ауыр металдар топырақты, қоршаған ортаны және ағынды суларды ластауы мүмкін. Бұл қоршаған ортаға шығарылғаннан кейін жер бетімен байланыста болған кезде аурудың өршуіне әкеледі. Уыттылықтың жоғары деңгейі биологиялық ыдырамайтын және канцерогенді ауыр металдарға (As, B, Cr, Cd, Co, Pb, Mg, Hg, Mo, Ni, Se, Zn және т.б.) жетуі мүмкін. [17]. Бұл металл иондары ұзақ уақыт бойы ақуызда немесе ерімейтін беттерде сақталған кезде детоксикациялануы мүмкін. Жалпы алғанда, уыттылық ауыр металдың

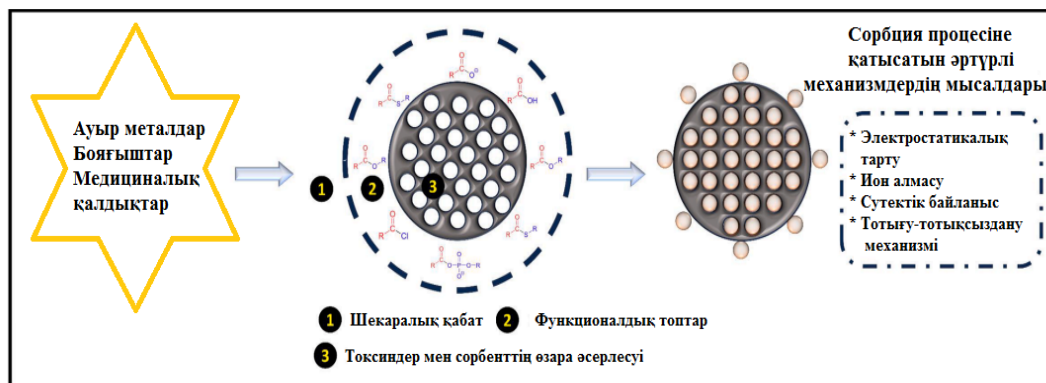
түріне және жанасу уақытына байланысты әр түрлі болуы мүмкін. Ауыр металдардың ластануы кең таралған және қайтымсыз болумен қатар, ауыз судың, ауаның және ауыл шаруашылығының сапасына теріс әсер етеді. Су ауыр металдармен табиғи немесе техногендік себептермен ластануы мүмкін. Ауыр металдардың табиғи көздерінің бірі-атмосфералық тұздар, олар суда, топырақта және жанартау жыныстарының (мысалы, гранит, базальт, андезит және т.б.) ауа райының жанама өнімі ретінде болады. Мысалы, алтынды минералдандыру кезінде сульфидті минералды шөгінділердің ыдырауы темір, мыс, мышьяк, хром және мырыш сияқты металдардың алынуына әкеледі [18]. Ауыр металдар желмен тасымалданатын топырақ бөлшектерінен де пайда болуы мүмкін немесе желде жанартау күлі, орман өрттері, теңіз тұзы спрейлері, биогендік көздер немесе басқа да табиғи процестер арқылы тасымалдануы мүмкін. Көптеген әртүрлі химиялық формалар оксидтер, гидроксидтер, силикаттар, фосфаттар, силикаттар, сульфаттар және сульфидтер сияқты ауыр металдармен белгілі. Әр түрлі ауыр металдардың Ішінде Cd, Cr, Cu, Pb, Hg және Ni жиі кездеседі. Fe, Mg және V болуы жанартау күлінде байқалады, Ал Zn, Cd және As теңіз тұзы спрейінде кездеседі. Сонымен қатар, орман өрттері, ең алдымен, ауыр металдардың көзі болып табылады Ni, Cd, Co және As пестицидтер, құю өндірістері, химия өнеркәсібі, тау-кен өндірісі, балқыту, ауылшаруашылық тәжірибелерін (мысалы, фосфатты тыңайтқыштар мен пестицидтерді қолдану), тазартылмаған ағынды суларды, қазба отындарының жануын және басқа да өндірістік шығарындыларды қоса алғанда, адамның әртүрлі іс-әрекеттеріне байланысты қоршаған ортада ауыр металдар да кездеседі [19]. Көптеген әртүрлі салалар мен процестер Cr-ге сүйенеді, соның ішінде қағаз жасау, былғары өңдеу, тоқу, бояу, басып шығару және қаптаумен байланысты. Бұл қоршаған ортада гексавалентті және тривалентті Cr формаларының болуына әкелуі мүмкін. Сонымен қатар, Ni мырыштау, металл өңдеу, бояу, аккумуляторды қайта өңдеу жабдықтары, суперфосфат тыңайтқыштары мен ұнтақ жасау сияқты көптеген салаларда қолданылады. Ni оттегімен немесе күкіртпен әрекеттесіп, атмосфераға шығарылған кезде оксидтер мен сульфидтер түзеді. Сонымен қатар, Pb бензинді, пестицидтерді, пластмассаларды және қайта зарядталатын батареяларды қоса алғанда, күнделікті заттардың кең ауқымында кездеседі. Алюминийді оқшауланған сымдар, керамика, автомобиль бөлшектері, алюминий фосфаты және пестицидтер шығаратын зауыттар да шығарады. Мырышты фосфатты тыңайтқыштардан, жуғыш заттардан, аккумуляторлардан, гальваникалық өндірістерден, бояулардан, бояғыштардан, ағаш консерванттарынан, майлардан және бояулардан табуға болады. Кадмийді мырышталған құбырлардан, пластмассадан, поливинилден, мыс өңдеу зауыттарынан, бояу пигменттерінен, инсектицидтерден және тазартылған мұнай өнімдерінен табуға болады [20].

Зерттеу нәтижелері. Биосорбция-бұл биологиялық матрица сорбент қызметін атқаратын адсорбцияның бір түрі. Суды тазарту әдісі ретінде оның тиімді, арзан және экологиялық таза екендігі дәлелденді. Судың әртүрлі ластаушы заттарының мөлшері бірнеше федералды стандарттармен белгіленген шектерден төмен деңгейге дейін азаяды. Жасыл химия ұғымдары осы экологиялық таза процедурада көрініс табады. Биосорбция-бұл көптеген компоненттері олардың негізгі химиясын түсінуді қажет ететін процесс. Биоқалдықтарды әртүрлі су ластаушы заттарды тазарту үшін пайдалану метаболизмге тәуелсіз процесс (пассивті сіңіру) ретінде сипатталады. Бұл биомассаларды (биоқалдықтарды) қайта пайдаланудың бірнеше оң нәтижелері бар. Оларды бастапқы немесе өзгертілген түрде пайдалану қалдықтардың азаюына тікелей ықпал етеді. Көптеген экологиялық және экологиялық мәселелер осылайша шешілуі мүмкін [21]. Оның жоғары тиімділігі және пайдалану мен өндіруге кететін төмен шығындар оның көптеген керемет қасиеттерінің екеуі ғана.

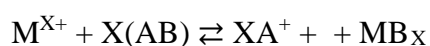
Биосорбция идеясы тиімді, көп өлшемді процесс ретінде соңғы жылдары дамып келеді. Қолданыстағы әдістермен салыстырғанда, бұл ағынды суларды тазартудың баламасы ретінде қарастырылады. Сорбция механизмі биоабсорбция аспектілерін де, биосорбция аспектілерін де қамтиды. Материалды бір күйде басқа затқа басқа күйде қосу абсорбция деп аталады. Ол сондай-ақ сұйықтықтың қатты затпен сіңуін және газдың сұйықтықпен сіңуін қамтиды. Физикалық адсорбция сорбат сорбентпен әрекеттесіп, екеуінің арасында байланыс түзген кезде пайда болады [22]. Биосорбция, қысқаша айтқанда, кез келген сорбат пен биологиялық субстраттың (биосорбент) өзара әрекеттесуінің барлық аспектілерін қамтитын белсенді емес, метаболикалық емес процесс. Бұл ғылымның нақты әлемінде байқалатын әртүрлі процестердің маңызды аспектісі.

Биосорбция механизмдерінің металдарды әртүрлі биосорбенттерге адсорбциялау қабілетіне байланысты өте маңызды екендігі дәлелденді. Биосорбция механизмдері биосорбенттің биологиялық шығу тегіне байланысты өзгеріп отырады. Биосорбция механизмін түсіну өте маңызды, себебі ол биосорбенттердің жақсы жұмыс істеуіне және ластаушы заттардың дәлірек шығарылуына әкелуі мүмкін. Адсорбция процесі деп аталады физорбция, егер адсорбцияланған молекулалар мен қатты беттің өзара әрекеттесуі үшін физикалық компонент болса. Процестің нәтижелері қайтымды, өйткені бұл жағдайда болатын ван-дер-Ваальс күштері әлсіз [23]. Сонымен қатар, ол адсорбцияның критикалық температурасынан төмен немесе өте жақын жерде жүреді. Бұл адсорбция әдісі өздігінен және экзотермиялық сипатта болады. Сурет 2 биосорбция құбылыстарымен байланысты көптеген механизмдерді көрсетіледі. Хемосорбция кезінде абсорбент пен адсорбат химиялық әсерлеседі, яғни электронды орбитальдар мен валенттілік күштері әрекет етеді. Бұл қайтымсыз процесс, өйткені ол адсорбент бетімен химиялық байланыс түзеді.

2-сурет – Биосорбция құбылыстарымен байланысты бірнеше механизмдер



Адсорбент хемосорбцияға ұшыраған кезде оның электронды күйі ауысады. Хемосорбцияның жиі кездесетін механизмдері-ион алмасу, электростатикалық әрекеттесу, хелация, химиялық жауын-шашын және биоадсорбент бетіндегі функционалды топтар кешені. Электростатикалық тартылыс, күрделі карбоксил немесе бос ішкі сфера кешені, алкогольді гидроксил, әйтпесе фенолды гидроксил топтары биокөмірлер (R-COOH және ROH), сорбцияның барлық мүмкін механизмдері болып табылады [24]. Фенолды немесе алкогольді қосылыстарда болатын гидроксил (R-OH) және карбоксил (R-COOH) топтары ауыр металдар мен сорбент бетінің қосылуына және олардың арасындағы координацияға ықпал ететіні қабылданған. Қатысатын реакция механизмін Еq арқылы көрсетуге болады:

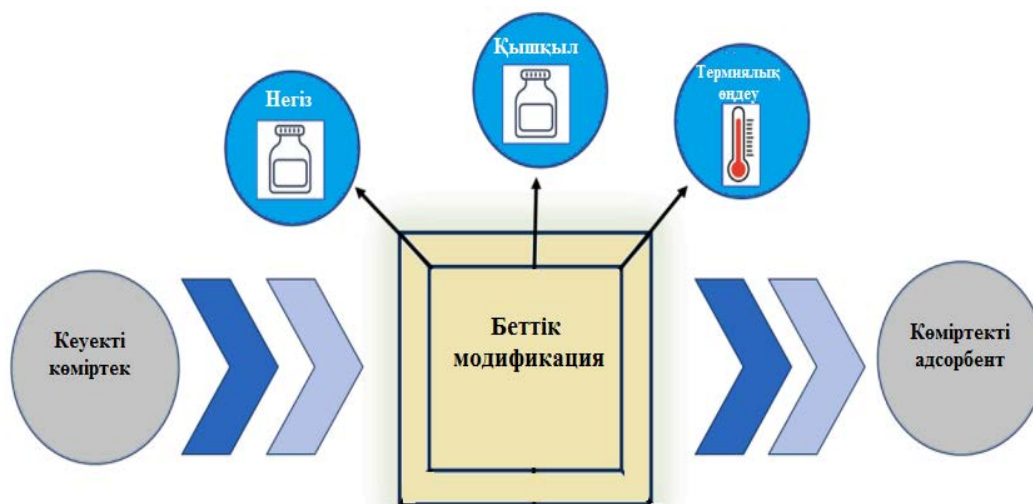


Мұндағы АВ адсорбенттегі қышқылдардың саны, M^{X+} металл иондары және $MВx$ сіңірілген M^{X+} мөлшері.

Биосорбенттің жарамдылығы барлық басқа басқару элементтері үшін бастапқы нүкте ретінде кеңінен танылды. Биосорбентті таңдағанда, биомассаның құнын да, биомассаның көзін де ескеру маңызды. Әртүрлі биосорбенттерді жасау үшін тірі биомассадан гөрі өлі немесе қалдық биомассаға артықшылық беріледі [25]. Қалдық биомассаны пайдаланудың бірнеше артықшылықтары бар: қаныққан биосорбенттерді қайта пайдалану және сорбцияланған ластаушы заттарды қалпына келтіру мүмкіндігі, уыттылық шектеулерінің болмауы, қаныққан биосорбенттерді қайта пайдалану және сорбцияланған ластаушы заттарды қалпына келтіру мүмкіндігі және ластаушы заттарды сіңірудің математикалық және статистикалық модельдерін құрудың қарапайымдылығы. Экологиялық тазалық, қол жетімділік, биоүйлесімділік және практикалық-биосорбент туралы шешім қабылдау кезінде есте сақтау қажет басқа да маңызды критерийлер. Бұл оның судағы әртүрлі ластаушы заттарды жою қабілетіне кепілдік береді. Материалдың сорғыштық өнімділігі, тұрақтылығы және қайта пайдалануға жарамдылығы-бұл барлық күшті жақтар. Биосорбенттің қайта өңдеуге қабілеттілігі және оның әртүрлі конструкцияларға (пакеттік, бекітілген жүйелер) икемділігі де ойланудың маңызды факторлары болып табылады. Ағынды суларды тазарту үшін әртүрлі көздерден бірнеше биосорбенттер, соның ішінде хитозан, биокөміртегі, белсендірілген көмір, бионанокөмірлер, био-гидрогельдер, макроалғалар, био-кальций карбонаты және ауылшаруашылық қалдықтары пайдаланылды. Судағы ластаушы заттарды қалпына келтіру үшін әлеуетті таңдау ретінде ауылшаруашылық қалдықтары олардың мол қолжетімділігіне, жаңартылатын табиғатына және төмен құнына байланысты осы биосорбенттердің қатарына жатады. Қолжетімді қалдықтарға басымдық беру қалдықтар мен байлық ұғымына негізделуі керек.

Химиялық активтендіру кезінде биокөмірді химиялық жолмен белсендірмес бұрын алдымен термиялық өндеуден өткізеді (көбінесе пиролиз) [26]. Қышқыл, негіз немесе тұз химиялық активтендіргіш ретінде қызмет етуі мүмкін. Олардың бетіндегі функционалдылықты өзгерту үшін беттік-белсенді заттарды, магниттік материалды, эфирлеуді және егуді қолдана отырып, биосорбентті өзгертудің басқа жолдары бар. Химиялық активация бірқатар кезеңдерді қамтиды. Адсорбция үшін қол жетімді белсенді учаскелердің санын көбейту биокөміртектің бетін әртүрлі функционалды топтармен жақсартады, бұл өз кезегінде кеуекті көміртектің сипаттамаларын жақсартады. Биокөміртекті модификациялау үшін химиялық активациялар көбінесе күрделі дайындау процестерін немесе қатты температураны қажет етпей, бетінің ауданы жоғары және жақсы дамыған микрокеуектері бар өнімдерді жасау қабілетіне байланысты пайдаланылады. Химиялық активацияның физикалық активацияға қарағанда артықшылығы бар, себебі ол биосорбенттердің кеуек құрылымын ең аз шығынмен және аз күш жұмсап өзгерте алады. Сурет 3 химиялық модификацияның беттік құрылымға және биосорбенттердің химиялық сипаттамаларына әсерін көрсетеді.

3-сурет –Биосорбенттерді жақсарту стратегияларының кескіндемелік сипаттамасы



Қорытынды. Индустрияландырудың өсуі қоршаған ортадағы жанама өнім ретінде ластаушы заттар мен қатты қалдықтардың күрт өсуімен байланысты. Осы мәселелерді шешу үшін адсорбцияға негізделген қалпына келтіру ағынды суларды тазартудың кешенді стратегиясы болып табылады. Қымбат емес және әртүрлі көздерден алынатын жаңартылатын биосорбенттер қарқын алуда. Ауылшаруашылық қалдықтары ластаушы заттарды кетіруге көмектесетін карбоксил және гидроксил сияқты белсенді топтарды қамтитын борпылдақ және кеуекті құрылымына байланысты жоғары көз болып саналады. Сонымен, бұл шолу ауылшаруашылық қалдықтарына негізделген биосорбенттерге қатысты ақпаратты ашты. Ол тікелей пайдалану және алдын ала өңделген ауылшаруашылық қалдықтары туралы мәліметтерді қамтиды. Ауылшаруашылық қалдықтарының биосорбенттерінің адсорбциялық сипаттамаларын ынталандыру үшін термиялық химиялық активтендіру және гибриді нано-биосорбенттерді қалыптастыру сияқты әртүрлі стратегиялар талқыланды. Оның әсер ету режимі рН, бастапқы концентрация, температура және басқа параметрлермен реттелетін ион алмасу, электростатикалық әрекеттесу және күрделі адсорбция сияқты сипатталады, бірақ кейбір қосымша процестер әлі ашылмаған. Сонымен қатар, электрохимиялық өңдеу, ультрадыбыстық толқындар және химиялық реагенттер арқылы регенерацияланатын биосорбенттер де ойластырылған. Дегенмен бейімделгіштігіне және қарапайымдылығына қарамастан биосорбция процесін коммерцияландыру үшін қосымша зерттеулер қажет. Бұл шолуда биологиялық адсорбцияның болашағы ғылыми тұрғыдан күрделі және тиімді экологиялық таза баламаларды құруды көздейтіні айтылған. Сонымен қатар, "қалдықтарды қалдықтармен өңдеу" мақсатына ауылшаруашылық қалдықтарын биомасса адсорбенті ретінде кәдеге жарату арқылы қол жеткізуге болады.

RESERANCE

1. Vakili, A.A. Zinatizadeh, Z. Rahimi, S. Zinadini, P. Mohammadi, S. Azizi, A. Karami, M. Abdulgader, The impact of activation temperature and time on the characteristics and performance of agricultural waste-based activated carbons for removing dye and residual COD from wastewater, J. Clean. Prod. 382 (2023), <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134899>.
2. S. Mani, P. Chowdhary, R.N. Bharagava, Textile wastewater dyes: toxicity profile and treatment approaches, in, Emerg. Eco-Friendly Approaches Waste Manag. (2018) 219–244, https://doi.org/10.1007/978-981-10-8669-4_11.

3. R. Kishor, D. Purchase, L.F.R. Ferreira, S.I. Mulla, M. Bilal, R.N. Bharagava, Environmental and health hazards of textile industry wastewater pollutants and its treatment approaches, *Handb. Environ. Mater. Manag.* (2020) 1–24, https://doi.org/10.1007/978-3-319-58538-3_230-1.
4. M.A. Al-Ghouti, A.O. Sweleh, Optimizing textile dye removal by activated carbon prepared from olive stones, *Environ. Technol. Innov.* 16 (2019), <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100488>.
5. N. Karić, A.S. Maia, A. Teodorović, N. Atanasova, G. Langergraber, G. Crini, A.R. L. Ribeiro, M. Đolić, Bio-waste valorisation: agricultural wastes as biosorbents for removal of (in)organic pollutants in wastewater treatment, *Chem. Eng. J. Adv.* 9 (2022), <https://doi.org/10.1016/j.ceja.2021.100239>.
6. A.H. Jawad, A.M. Kadhum, Y.S. Ngoh, Applicability of dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peels as low-cost biosorbent for adsorption of methylene blue from aqueous solution: kinetics, equilibrium and thermodynamics studies, *Desalin. Water Treat.* 109 (2018) 231–240, <https://doi.org/10.5004/dwt.2018.21976>.
7. A. Bhatnagar, M. Sillanpää, A. Witek-Krowiak, Agricultural waste peels as versatile biomass for water purification - A review, *Chem. Eng. J.* 270 (2015) 244–271, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.01.135>.
8. R.K. Gautam, A. Mudhoo, G. Lofrano, M.C. Chattopadhyaya, Biomass-derived biosorbents for metal ions sequestration: adsorbent modification and activation methods and adsorbent regeneration, *J. Environ. Chem. Eng.* 2 (2014) 239–259, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.12.019>.
9. I. Ali, M. Asim, T.A. Khan, Low cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater, *J. Environ. Manage.* 113 (2012) 170–183, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.08.028>.
10. T.K. Sen, Agricultural solid wastes based adsorbent materials in the remediation of heavy metal ions from water and wastewater by adsorption: a review, *Molecules* 28 (2023) 5575, <https://doi.org/10.3390/molecules28145575>.
11. A. Mellah, S.P.S. Fernandes, R. Rodríguez, J. Otero, J. Paz, J. Cruces, D. D. Medina, H. Djamila, B. Espina, L.M. Salonen, Adsorption of pharmaceutical pollutants from water using covalent organic frameworks, *Chem. - A Eur. J.* 24 (2018) 10601–10605, <https://doi.org/10.1002/chem.201801649>.
12. B.N. Bhadra, I. Ahmed, S. Kim, S.H. Jung, Adsorptive removal of ibuprofen and diclofenac from water using metal-organic framework-derived porous carbon, *Chem. Eng. J.* 314 (2017) 50–58, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.127>.
13. P. Banerjee, P. Das, A. Zaman, P. Das, Application of graphene oxide nanoplatelets for adsorption of Ibuprofen from aqueous solutions: evaluation of process kinetics and thermodynamics, *Process Saf. Environ. Prot.* 101 (2016) 45–53, <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.01.021>.
14. K. Rajendran, S. Sen, Adsorptive removal of carbamazepine using biosynthesized hematite nanoparticles, *Environ. Nanotechnol. Monit. Manag.* 9 (2018) 122–127, <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2018.01.001>.
15. Y. Deng, Y.S. Ok, D. Mohan, C.U. Pittman, X. Dou, Carbamazepine removal from water by carbon dot-modified magnetic carbon nanotubes, *Environ. Res.* 169 (2019) 434–444, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.11.035>.
16. I. Ali, Z.A. Al-Othman, A. Alwarthan, Synthesis of composite iron nano adsorbent and removal of ibuprofen drug residue from water, *J. Mol. Liq.* 219 (2016) 858–864, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.04.031>.
17. Zh. Uysimbayeva, N. Saylaubek, Assessment of the environmental impact of solid waste landfills, *Yessenov science journal* 2 (2023).
18. T.M. Salem Attia, X.L. Hu, D.Q. Yin, Synthesized magnetic nanoparticles coated zeolite for the adsorption of pharmaceutical compounds from aqueous solution using batch and

- column studies, *Chemosphere* 93 (2013) 2076–2085, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.07.046>.
19. F.A. Ahmad, The use of agro-waste-based adsorbents as sustainable, renewable, and low-cost alternatives for the removal of ibuprofen and carbamazepine from water, *Heliyon* 9 (2023), <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16449>.
 20. D.B. França, L.S. Oliveira, F.G.N. Filho, E.C.S. Filho, J.A. Osajima, M. Jaber, M. G. Fonseca, The versatility of montmorillonite in water remediation using adsorption: current studies and challenges in drug removal, *J. Environ. Chem. Eng.* 10 (2022), 107341, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107341>.
 21. S.A. Sajjadi, A. Mohammadzadeh, H.N. Tran, I. Anastopoulos, G.L. Dotto, Z. R. Lopičić, S. Sivamani, A. Rahmani-Sani, A. Ivanets, A. Hosseini-Bandegharai, Efficient mercury removal from wastewater by pistachio wood wastes-derived activated carbon prepared by chemical activation using a novel activating agent, *J. Environ. Manage.* 223 (2018) 1001–1009, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.077>.
 22. S.A. Sajjadi, A. Meknati, E.C. Lima, G.L. Dotto, D.I. Mendoza-Castillo, I. Anastopoulos, F. Alakhras, E.I. Unuabonah, P. Singh, A. Hosseini-Bandegharai, A novel route for preparation of chemically activated carbon from pistachio wood for highly efficient Pb(II) sorption, *J. Environ. Manage.* 236 (2019) 34–44, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.087>.
 23. M. Eddy, *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*, Fourth Edition, International Edition, 2003. Chem. Eng.
 24. S. De Gisi, G. Lofrano, M. Grassi, M. Notarnicola, Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: a review, *Sustain. Mater. Technol.* 9 (2016) 10–40, <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2016.06.002>.
 25. H.A. Alalwan, M.A. Kadhom, A.H. Alminshid, Removal of heavy metals from wastewater using agricultural byproducts, *J. Water Supply Res. Technol. - AQUA.* 69 (2020) 99–112, <https://doi.org/10.2166/aqua.2020.133>.
 26. H.A. Alalwan, M.N. Abbas, A.H. Alminshid, Uptake of cyanide compounds from aqueous solutions by lemon peel with utilising the residue absorbent as rodenticide, *Indian Chem. Eng.* 62 (2020) 40–51, <https://doi.org/10.1080/00194506.2019.1623091>.

Сатаева С. С., Сидагалиев М. Е., Ахметова Ф.Ж.

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана

ПРИМЕНЕНИЕ СОРБЕНТОВ, ПРИГОТОВЛЕННЫХ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ, ДЛЯ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОД

Аннотация. Быстрый рост социально-экономических требований и изменение климата оказали большое давление на качество водных ресурсов. Повторное использование и переработка сточных вод для предотвращения нехватки пресной воды в будущем и удовлетворения текущего спроса на воду является одной из наиболее актуальных проблем, которую необходимо решить немедленно. До сих пор для удаления неорганических и органических загрязнителей из сточных вод использовалось множество технологий. К сожалению, современные технологии очистки воды по-прежнему недоступны в финансовом отношении для многих развивающихся стран, что затрудняет их выведение этих токсинов. Кроме того, повышенная токсичность для окружающей среды из-за воздействия твердых бытовых отходов также является основной причиной беспокойства. С целью борьбы с этими проблемами были усилены исследования по созданию эффективного, экологически чистого и недорогого биосорбента из сельскохозяйственных отходов для очистки сточных вод. В результате основное внимание уделялось выявлению местных и региональных сельскохозяйственных отходов для удаления тяжелых металлов/металлоидов и красителей. Эта статья направлена на рассмотрение

междисциплинарного подхода к переработке сельскохозяйственных отходов как потенциального ресурса очистки сточных вод. Включено всестороннее обсуждение основ биосорбции и задействованного механизма. Обсуждаются стратегии повышения эффективности биосорбентов. В то же время текущее развитие различных биосорбентов, полученных из сельскохозяйственных отходов, и их использование для нейтрализации токсинов различными методами были пересмотрены, чтобы заложить основу для дальнейших исследований. Наконец, решаются актуальные вопросы регенерации биосорбентов и внедрения биосорбентов. Эта статья поможет преодолеть разрыв между лабораторными исследованиями и промышленным применением, что приведет к созданию более эффективных систем удаления загрязняющих веществ. Использование биосорбентов сельскохозяйственных отходов для очистки промышленных и коммунальных сточных вод в настоящее время является решением, которое снижает загрязнение сточных вод за счет обработки твердых отходов. Хотя необходимы дополнительные исследования и достижения, производство активированного угля в качестве высокоэффективного биосорбента на основе сельскохозяйственных отходов является многообещающим экологически чистым технологическим решением, отвечающим требованиям устойчивой экономики и эффективной инженерной практики.

Ключевые слова: сельскохозяйственные отходы, очистка сточных вод, адсорбция, биосорбция, зеленые сорбенты.

Sataeva Sapura, Sidagaliyev Mirbolat, Akhmetova Firuza

West Kazakhstan Agrarian and Technical University named Zhangir Khan!

THE USE OF SORBENTS PREPARED ON THE BASIS OF PLANT RAW MATERIALS FOR THE TREATMENT OF POLLUTED WATERS

Abstract. The rapid growth of socio-economic demands and climate change have put great pressure on the quality of water resources. In order to prevent a shortage of fresh water in the future and meet the current demand for water, the reuse and recycling of wastewater is one of the most pressing issues that must be addressed immediately. Until now, many technologies have been used to remove inorganic and organic pollutants from wastewater. Unfortunately, modern water treatment technologies are still not financially available to many developing countries, which makes it difficult for them to remove these toxins. In addition, the increased toxicity to the environment caused by solid waste is also the main cause of concern. In order to combat these problems, research efforts have been strengthened to create an effective, environmentally friendly and inexpensive biosorbent from agricultural waste for wastewater treatment. As a result, emphasis was placed on identifying local and regionally available agricultural waste to remove heavy metals/metalloids and dyes. This article aims to consider a multidisciplinary approach to the processing of agricultural waste as a potential resource for wastewater treatment. A comprehensive discussion of the basics of biosorption and the mechanism involved in it is included. Strategies for increasing the effectiveness of biosorbents are discussed. At the same time, the current development of various biosorbents derived from agricultural waste and their use to neutralize toxins by various methods has been revised to lay the foundation for further research. Finally, topical issues of biosorbent regeneration and the introduction of biosorbents are solved. This article will help bridge the gap between laboratory research and industrial applications, leading to the development of more efficient pollutant removal systems. The use of agricultural waste biosorbents for industrial and municipal wastewater treatment is currently a solution that reduces pollution through solid waste wastewater treatment. Although further research and advances are needed, the production of activated carbon as a highly efficient biosorbent based on agricultural

waste is a promising environmentally friendly technological solution, meeting the requirements of a sustainable economy and efficient engineering practice.

Key words: agricultural waste, wastewater treatment, adsorption, biosorption, green sorbents.