



ӨОЖ 542.67: 539.215.2

FTAXP 87.19.03

DOI 10.37238/2960-1371.2960-138X.2026.102(2).41

**Алиева Б.Б., Кочеров Е.Н.*, Раматуллаева Л.И., Колесников А.С.,
Мамитова А.Д., Кадирбекова А.А.**

М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

***Корреспондент-автор: Erkebulan083@mail.ru**

E-mail: alieva.bagila@mail.ru, Erkebulan083@mail.ru, ramatullaeva_l@mail.ru,
kas164@yandex.kz, a-mamitova@mail.ru, kadirbekova80@inbox.ru

**БЕТТІК АҒЫНДЫ СУЛАРДЫ ТАЗАЛАУ КӨРСЕТКІШІНЕ
ПОЛИКОМПОНЕНТТІ СҮЗГІЛЕУШІ ЖҮКТЕМЕНІҢ
ГРАНУЛОМЕТРИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫНЫҢ ЖӘНЕ ГИДРАВЛИКАЛЫҚ
СИПАТТАМАЛАРЫНЫҢ ЫҚПАЛЫ**

Аңдатпа. Зерттеу жұмыстарында табиғи сорбенттер көмір өндірісінің қалдықтары ішкі қазбалы жыныстардың, вермикулиттің, сонымен қатар құрылыс құмының жекелген гранулометриялық құрамын және олардың түрлі қатынасында дайындалған көп компонентті қоспаның гранулометриялық құрамы модельденді. Компоненттер қатынасы ІҚЖ1:В2:Қ7, ІҚЖ2:В2:Қ6, ІҚЖ2:В3:Қ5 түрінде қабылданып, гранулометриялық құрамдары зерттелді. Орнатылған гранулометриялық құрамдағы поликомпонентті қоспаның гидравликалық сипаттамалары зертханалық қондырғыда зерттелді. Гидравликалық сипаттамалары тиімді қоспа түрі ретінде ішкі қазбалы жыныстар – 20%, вермикулит 20%, құм – 60% көп компонентті қоспасы таңдалды. Бұл шарттағы ағынды суды сүзгілеу жылдамдығы 208-354 мм/сағ болатыны анықталды. Көмір өндірісінің ішкі қазбалы жыныстары, вермикулит және құрылыстық құм негізінде поликомпонентті сорбенттер кешені беттік ағынды сулардағы ластаушы заттарды тұрақты және экологиялық таза жолмен тазартуға мүмкіндік береді. Зерттеулер барысында алынған нәтижелер және олардың негізінде жасалған ғылыми тұжырымдамалар Түркістан облысы Кентау қаласының беттік ағынды суларын поликомпонентті табиғи сорбенттер кешенімен тазалау арқылы Қосқорған су қоймасының ластану қауіпін төмендетуге бағытталған келешекті зерттеу жұмыстарында қолданбалы болады.

Кілт сөздер: экологиялық көрсеткіштер; қоршаған орта; беттік ағынды сулар; ластаушы заттар; көп компонентті сүзгі; сүзгілеуші жүктеме; сүзу жылдамдығы; гранулометриялық құрам; гидравликалық сипаттамалар; тазалау тиімділігі; көмір қалдығы.

Kipicne

Беттік ағынды сулардың сапалық сипаттамалары олардың түзілу шарттарымен анықталады. Беттік ағынды сулардың құрамындағы ластаушы заттардың негізгі үлесі судың жиналу алаңдарының беттігінен шайылып келеді. Осындай жолмен минералды және органикалық тектегі таразыланған заттардың, мұнай өнімдерінің және ауыр металдардың негізгі бөлігі беттік ағынды суларға түседі. Беттік ағынды суларды тазартуда көп компонентті сүзгілеуші жүктеменің алатын орны ерекше. Себебі, көп компонентті жүктеме бір мезгілде ластаушы заттардың бірнеше түрін аластатуға мүмкіндік береді. Осыған орай, зерттеу жұмыстарында көп компонентті сүзгілеуші жүктеменің құрамын, оның ішінде гранулометриялық құрамын анықтау маңызды.

Беттік ағынды сулар күрделі көп компонентті жүйе болып табылады, оның құрамында табиғи және антропогендік жолмен келген еріген, коллоидты және ірі



дисперсті формалардағы құраушылары бар. Қала территориясындағы беттік ағынды сулардың ерекшелігі: келіп түсу кезеңдігі, сапалық құрамы мен сандық сипаттамаларының айтарлықтай ауытқуы, құрамында бір мезгілде таразыланған заттардың, мұнай өнімдерінің, ауыр металдардың және т.б. болуы.

Жаһандық индустрияландыру және технологиялық прогресс түрлі типтегі ағынды сулардың түзілуіне алып келуде және де олар біздің экожүйемізге тасталуда. Мұнан бөлек, бүкіл әлемдегі экономикалық дамумен шартталған мұнайға деген артып жатқан сұраныс, ең төменгі шоғырының өзінде төтенше қауіпті ағынды сулардың айтарлықтай көлемінің түзілуіне алып келуде [1; 2].

Экономиканың дамуымен және экологиялық ахуалдың нашарлауымен ағынды суларды тазарту үшін стандарт талаптары қатаң бола түсуде [3]. Алдағы келешекте бұл концептуалды және нормативтік шектеулердің өзгеруі екіталай, тұрақты және жоғары сапалы ағынды сулар келешекті болады. Дегенмен, бір бірінен аса түскен қатаң талаптар ағынды суларды тазалауда түзілетін парниктік газды тастандылардың, тұтынылатын энергия және химикаттар көлемінің артуына әкелуде [4].

Ионалмасу үрдістерін, электродиализ, коагуляция, электрохимиялық өңдеуді, мембранналық бөлуді және адсорбциялауды қарастыратын түрлі әдістер, орнатылған талаптарға сәйкес ағынды суларды ластаушы заттардан тазарту үшін зерттелген [5; 6]. Адсорбция үрдісі ең келешекті технология болып табылады, себебі ол тіпті төмен шоғырлы ауыр металдарды тиімді жоюға мүмкіндік береді, бұл әдіс үнемді және үлкен артықшылықты көрсетеді. Адсорбция үрдісінде адсорбент маңызды рөл атқаратыны жақсы белгілі. Биоадсорбенттер өздерінің ерекше адсорбциялық мүмкіндіктерімен және үнемділігімен ғана емес, сонымен қатар дәстүрлі адсорбенттерге тән қайталама ластануды шектеу қабілетімен де маңызды [7].

Соңғы кезеңде хитозан және оның модификацияланған түрлері, ағынды сулардан ауыр металдарды аластатуға арналған тиімді биосорбент екендігі туралы көптеген хабарламалар келтірілген. Хитозан табиғи полисахарид, целлюлозадан кейінгі әлемдегі ең көп таралған сорбент болып саналатын хитиннен алынады. Хитозан мен хитиннің негізгі айырмашылығы – ацетил құрамы, себебі хитозанның ең қолданбалы хитин туындылары болып саналатын бос амин топтары бар [8; 9]. Келесі зерттеулерде құм [10], перлит [11], диатомды топырақ [12] және глутаральдегид [13] секілді материалдардың шектеулерін төмендету үшін хитозанға физикалық және химиялық модификаторлар енгізілген. Адсорбенттердің ағынды сулардан ластаушы заттар мен ауыр металдарды селективті адсорбциялау қабілетін жақсарту үшін олардың жаңа буындары қажет.

Денитрификациялаушы биологиялық сүзгілер, микросүзгілер, кері осмос және жасанды сулы-сазды сүзгілеу орталары ағынды суларды тазарту қондырғыларының суларын тазалау үшін қолданылады [14]. Биологиялық сүзгілеу жүктемелері ауданының шағындығы, азотты қосылыстарды жоғары тиімді аластатуы, жоғары экологиялық басымдықтары және соққылы жүктемелерге жоғары тұрақтылығы себепті ағынды суларды терең тазалау үшін кеңінен қолжетімді [15].

Биологиялық сүзгілеу жүктемелері үшін таңдалған ортасы маңызды бөлігі болып табылады, оның салыстырмалы беттігінің ауданы, жүктеме бөлшектерінің өлшемі ағынды суларды тазартуда шешуші рөл атқарады [16]. Сүзгілеу ортасындағы бөлшектер өлшемін төмендету кезінде салыстырмалы беттік ауданы ұлғаяды, осыған орай тазалау ортасымен биоқабыршақтың түйісу беттігі арта отырып, сүзгілеу жүктемесінің ластаушы заттарды дегрдациялау қабілетін жоғарылатады. Бірақ,



сүзгілеу жүктемесі бөлшектерінің өлшемін аса төмендету жалпы кеуектіліктің төмендеуіне алып келеді де, жұмыс кезеңінің қысқаруына, сүзгіні тазалаудың күрделенуіне және шаюға қажетті су көлемінің артуына алып келеді.

Сүзгілеу жүктемелерінің көптеген түрлерінің негізгі сипаттамасына оның гидравликалық сипаттамалары биоқабыршақтың өсу жылдамдығы, биоқабыршақ пен собстрат арасындағы массаалмасу тиімділігі тікелей ықпал етеді. Нәтижесінде сүзгілеуші жүктеменің ластаушы заттарды ыдырату тиімділігіне ықпал етеді [17].

Қазіргі уақытта сүзгілеуші жүктемелер ретінде бейорганикалық сүзгі орталары керамзит, перлит, кварц құмы, цеолит, жанартау жыныстары мен гравий кеңінен қолданылуда [18; 19]. Кварц құмының, цеолиттің, жанартау жыныстары мен гравийдің тығыздықтарының жоғары болуы себепті қайта шаюмен байланысты энергия тұтынуы аса көп. Мұнан бөлек, бұл материалдар сүзгілеу жүктемесінің кеуекті материалдары ретінде қолданылған кезінде, сүзгілеу ортасының кеуектілігі төмен болады. Сондықтан да, сүзгілеу беттігімен түйіскен биоқабыршақ мөлшері де аз болады. Ағынды суларды тиімді тазалау дәрежесіне қол жеткізу үшін сүзгілеу материалын көп қажет етеді, есесіне құрылыс және эксплуатациялық шығындар арта түседі. Сүзгілеу материалы ретінде жиі қолданылатын керамзит, беттігінде көптеген микрокеуектерге және жақсы биологиялық құрал ретіндегі артықшылықтарға ие. Керамзиттің кеуекті беттігінде микроағзалар жылдам көбейеді, осылайша, керамзиттің беттігінде тұрақты және жоғары белсенді биоқабыршақ оңай түзіліп, сәйкесінше ластаушы заттарды аластату тиімділігін жоғарылатады. Мұнан бөлек, керамзит төмен тығыздықты және дұрыс формалы сипаттамаларға ие, сондықтан сүзгілеуші жүктеме керамзит қабатындағы кеуектердің таралуы біркелкі, қайта шаюға жұмаслатын энергия төмен болады [20; 21].

Сүзгілеуші жүктемедегі ластаушы заттардың ыдырауы үшін гидравликалық ұстау уақыты маңызды болып табылады. Ұзақ гидравликалық ұстау уақытында ластаушы заттар мен микроағзалар арасындағы реакцияласу уақыты, ластаушы заттардың ыдырау жылдамдығы арта түседі [22]. Гидравликалық ұстау уақыты ағымды жылжыту кернеумен байланысты болады. Егер гидравликалық ұстау уақыты аса жоғары болса, бұл гидравликалық ығысу кернеуін төмендетуі мүмкін, сәйкесінше биоқабыршақтың жаңаруына әсер етіп, ластаушы заттарды аластату тиімділігін төмендетеді [23]. Гидравликалық ұстау уақыты 1 сағ 2 сағ дейін жоғарылау кезінде, азотты қосылыстарды аластату жылдамдығы 28,74% артады. Егер, керісінше 2сағ 1 сағ азайту кезінде денитрификациялау тиімділігі айтарлықтай төмендеп, нитраттардың жинақталуы оры алады. Осылайша, сәйкес келетін гидравликалық ұстау уақытын таңдау тиімді тазалау үрдісін ғана емесе, эксплуатациялық шығындарды да төмендетеді.

Сүзгілеу жүктемесіні бөлшектерінің орташа өлшемі тазалаушы бактериялардың саны мен белсенділігіне ықпал ете отырып, тазалау тиімділігіне айтарлықтай әсер етеді. Жүктеме материалының түрлі орташа өлшемдерінде (2 – 4 мм, 4 – 12 мм, 12 - 20–мм) ағынды суларды тазарту тиімділігі автор [24] зерттеулерінде келтірілген.

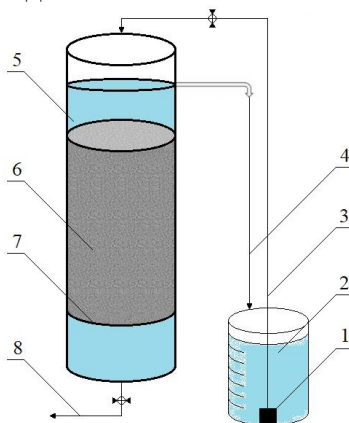
Жоғарыда айтылғандармен байланысты біздермен көп компонентті сорбенттерден (ішкі қазбалы жыныстар, вермикулит және құм) тұратын сүзгі жүктемесі өңделді. Сонымен қатар, өңделген сүзгілеу жүктемесінің сүзу жылдамдығына оның гранулометриялық құрамының ықпалы зерттелді. Гранулометриялық құрамын зерттеу сүзгілеу жүктемесінің 3 түрлі құрамына жүргізілді және өзге зерттеу мәліметтерімен салыстырмалы көрсеткіштері талданды.

Зерттеу материалдары мен әдістері



Түрлі қатынастағы компоненттерден (ішкі қазбалы жыныстар, вермикулит және құм) тұратын сүзгі ортасының гранулометриялық құрамын модельдеу үшін олардың әрбірінің гранулометриялық құрамы жеке-жеке анықталды. Гранулометриялық құрамын анықтау МЕМСТ 6613-86 сәйкес 7,5; 5; 3; 2,5; 1,25; 1,0; 0,63; 0,5; 0,315; 0,16 және <0,16 мм ұяшықты електерін қолдана отырып [25], МЕМСТ 51641-2000 сәйкес елеу әдісімен жүзеге асырылды [26].

Көп компонентті жүктеменің тиімді құрамын алдын ала анықтағаннан кейін, гранулометриялық құрамын модельдеу негізінде оларды дайындау және берілген шарттарда ағынды суды сүзгілеу жылдамдығы тәжірибелік анықтау орындалды: сүзгілеуіш бағананың биіктігі – 600 мм; жүктеме бетінен сұйықтықтың биіктігі - 300 мм және сүзгілеуіш бағананың диаметрі - 50 мм етіп қабылданды. Қондырғының сұлбасы 1 суретте көрсетілген. 1 сорғыштың көмегімен өлшемді ыдыстан 2 су сүзгілеуіш бағанаға беріледі және жүктеме қабаты 6 арқылы өтеді. Биіктігі 300 мм су қабатының 5 биіктігін тұрақты ұстап тұру үшін сүзгілеуіш бағанадағы сүзгілеу жүктемесінің үстінен артық суды қайтару құбыры орнатылып, өлшемді ыдысқа қосылған. Бұл жағдайдағы сорғышпен берілген су көлемі сүзгілеу кезіндегі су шығынынан көп болды. Сүзгіден өткен су көлемі өлшемді ыдыстан белгіленген су көлемінің өзгеру уақытын өлшеу жолымен көлемдік әдіспен анықталды. Сүзгілеу жылдамдығын анықтау өлшенген су шығынын бағананың көлденең қимасының ауданына бөлу арқылы анықталды.



- 1 – батырмалы сорғыш, $Q = 45$ л/сағ, $h = 20$ мм; 2 – өлшемді ыдыс, $V = 5$ дм³;
3 – су беру құбыры, $\varnothing = 10$ мм; 4 – артық суды қайтару құбыры, $\varnothing = 10$ мм;
5 – сұйықтық қабаты, 300 мм; 6 – сүзгілеуіш жүктеме, $h = 600$ мм; 7 – кедергілі тор;
8 – сүзгіні кәріз жүесіне қосу құбыры

Сурет 1 – Тәжірибелік сүзгілеу қондырғысының сұлбасы

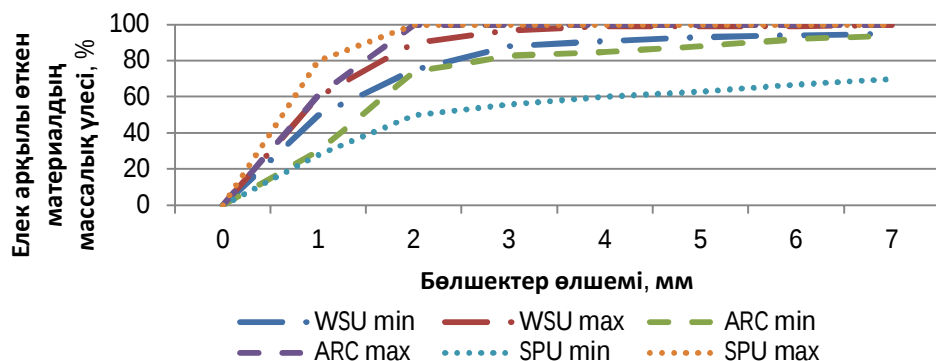
Зерттеу нәтижелері

Сорбциялық сипаттамаларынан өзге, сүзгілеу ортасының маңызды көрсеткіштерінің бірі белгіленген қысымдағы сүзгілеу жылдамдығын анықтайтын өткізу қабілеті болып табылады. Беттік ағынды суларды сүзгілеудің тиімді жылдамдығы жүктеме бетінен сұйықтық 300 мм деңгейінде 0,3 м/сағ болатынын фитосүзгілерді жобалау және эксплуатациялау бойынша шетелдік тәжірибелерге жүргізілген әдеби талдаулар көрсетті. Бұл шарттарда фитосүзгі беттігінің үстінде жинақталған сұйықтық қабаты 24 сағаттан аспайтын уақытта өңделуі керек, осыған орай ең төменгі сүзгілеу жылдамдығы 12,5 мм/сағ құрайды.

Фитосүзгілер қысымсыз тәртіпте жұмыс істейтіндіктен, сүзу жылдамдығы сүзгілеу жүктемесінің гранулометриялық құрамына және оның тығыздалу дәрежесіне



тәуелді болады. Сүзгілеу ортасының өткізу қабілеті оның гранулометриялық құрамымен анықталады. Тиімді өткізу қабілетіне қол жеткізу үшін ұсынылатын әртүрлі көздермен ұсынылған гранулометриялық құрам 2 суретте көрсетілген [27; 28; 29].



Сурет 2 – Сүзгілеуіш жүктеменің өзге зерттеушілермен ұсынылған гранулометриялық құрамы

Бұл тәжірибелік зерттеу жұмысының мақсаты көпкомпонентті сүзгілеуіш жүктеменің ішкі қазбалы жыныстар, вермикулит және құрылыс құмының арақатынасын және сәйкесінше, ағынды суды өткізу қабілетін анықтау болып табылады. Алынған нәтижелер негізінде түрлі пропорциялардағы орнатылған гранулометриялық құрамға ие компоненттерді араластыру жолымен көп компонентті жүктеменің гранулометриялық құрамы модельденді. Модельденген гранулометриялық құрам шет елдік зерттеушілердің ұсыныстары мен фитосүзгілерді жобалау нұсқаулықтарымен салыстырылды.

Ішкі қазбалы жыныстар, вермикулит және құмды елекпен талдау, сонымен қатар модельденген көп компонентті сүзгілеуіш жүктеменің гранулометриялық құрамы 1 кестеде келтірілген.

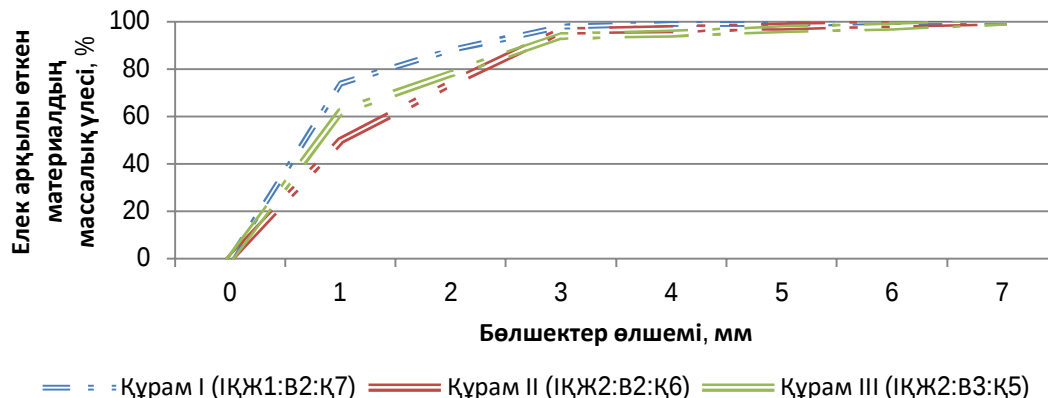
Кесте 1 – Көп компоненттің сүзгілеуіш жүктеменің және оның құраушыларының гранулометриялық құрамы

Елек, мм	Електен қалдық, %		
	Ішкі қазбалы жыныстар	Вермикулит	Құм
7,5	17,9	0,5	0,6
5	12,8	1,2	0,3
3	15,7	12,3	0,3
2,5	10,8	27,5	0,1
1,25	22,4	31,8	0,2
1,0	1,9	8,8	0,1
0,63	11,8	12,5	0,2
0,5	2,2	2,4	4,3
0,315	2,5	1,7	71,4
0,16	1,5	0,9	19,0
<0,16	0,5	0,4	3,5

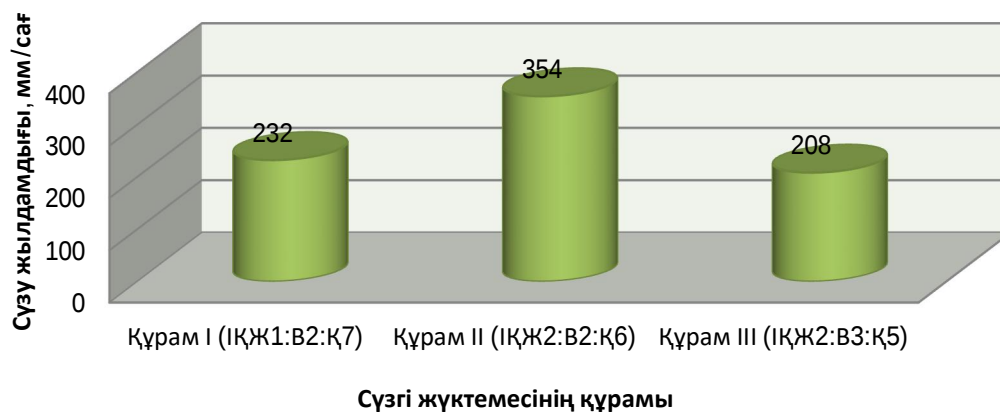
1 кесте мәліметтеріне сәйкес, ішкі қазбалы жыныстар сорбенті ірі дисперсті материал қатарына, ал вермикулит сорбенті орташа дисперсті және құрылыстық құм майда дисперсті болып табылады. Ірі дисперсті материал сүзгілеуіш жүктеменің қуысты кеуектілігін қамтамасыз етсе, майда дисперсті құрылыс құмы жеңіл фракциялы вермикулит сорбентінің қалқып, су бетіне шығып кетпеуін қамтамасыз етеді.



Шет елдік зерттеушілердің және фитосүзгілерді жобалау бойынша нұсқаулықтардың ұсыныстарымен модельденген сүзгілеуіш жүктеменің электік талдау бойынша салыстырмалы графигі 3 суретте келтірілген.



Сурет 3 – Түрлі құрамды көп компонентті сүзгілеуіш жүктеменің гранулометриялық құрамы
Сүзгілеуіш жүктеменің гранулометриялық құрамының қолданыстағы ұсынымдарға ең жоғарғы сәйкестік мәндері, компоненттердің келесідей ара-қатынасында қол жеткізілді: ішкі қазбалы жыныстар – 20%, вермикулит 20%, құм – 60%. Аталған құрамға ие сүзгілеуіш жүктеменің тәжірибелік анықталған сүзгілеу жылдамдығы вермикулиттің көлемдік үлесі 20% кезінде, максималды 354 мм/сағ ие болды (сурет 4).



Сурет 4 – Түрлі құрамға ие сүзгілеуіш жүктеменің гидравликалық сипаттамалары
Вермикулиттің көлемдік үлесін 30% жоғарылату поликомпонентті қоспаның гидравликалық кедергісінің артуына алып келді, сәйкесінше сүзгілеу жылдамдығы 208 мм/сағ төмендеп кетті. Вермикулит сорбентінің көлемдік үлесін 10% дейін төмендету сүзгілеу жылдамдығын 232 мм/сағ дейін төмендетті. Ішкі қазбалы жыныстар сорбентінің көлемдік үлесін 10% етіп қабылдау, поликомпонентті жүйенің жалпы кеуектілігін жеткілікті дәрежеде қамтамасыз етеді.

Ішкі қазбалы жыныстармен салыстырғанда вермикулиттің жоғары сорбциялық қабілетіне қарамастан, көп компонентті сүзгілеуіш жүктемедегі оның үлесі 20% аспауы тиіс. Бұл негізгі екі фактормен шартталады. Біріншісі, сүзгілеуіш жүктемедегі жоғары дисперстілікке ие вермикулиттің үлкен мөлшерінің болуы, жүктеменің гидравликалық өткізгіштігін төмендетеді. Екіншісі, вермикулиттің құрамында суда ерігіш және жеңіл



гидролизденетін органикалық заттардың болуы, тазартылатын судың қосымша екіншілей ластануына алып келуі мүмкін.

Ары қарай тәжірибелік зерттеулер құрамында көлемі бойынша 20% ішкі қазбалы жыныстар, 20% вермикулит және 60% құм мазмұндайтын сүзгілеуіш жүктемеге жүргізілді. Аталған құрамдағы сүзгілеуіш жүктеме бөлшектерінің өлшемдік таралуы 2 кестеде келтірілген.

Кесте 2 – Түрлі қатынастағы көп компонентті сүзгілеуіш жүктеменің гранулометриялық құрамы

Елек, мм	Құрам I	Құрам II	Құрам III
	ІҚЖ1:В2:Қ7	ІҚЖ2:В2:Қ6	ІҚЖ2:В3:Қ5
7,5	1,6	4,9	2,5
5	0,8	1,1	2,3
3	2,6	3,9	5,2
2,5	2,7	5,1	7,2
1,25	14,8	63,8	56,3
1,0	1,3	0,9	1,0
0,63	21,8	1,9	3,8
0,5	0,7	0,6	0,5
0,315	18,0	3,6	1,6
0,16	30,0	12,0	16,9
<0,16	5,7	2,2	2,7

Қорытынды

Беттік ағынды суларды тазартуға арналған биосүзгі үшін сорбциялық және ионалмасу қасиеттеріне ие поликомпонентті сүзгілеуіш жүктеменің құрамы орнатылды. Орнатылған құрамдағы көлем бойынша ара қатынастары ІҚЖ1:В2:Қ7, ІҚЖ2:В2:Қ6, ІҚЖ2:В3:Қ5 түрінде қабылданып, көп компонентті жүктеменің гидравликалық сипаттамалары анықталды. Сүзгілеу үрдісінің тиімділігін қамтамасыз ету үшін вермикулиттің тиімді көлемдік үлесі 20% аспау керек екені орнатылды. Тиімді сүзгілеу қабілеті мен гидравликалық сипаттамаларын орнату барысында, шет елдік зерттеушілердің ұсыныстары қосымша негізге алынды.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Lawan M.S. Recent advancements in the treatment of petroleum refinery wastewater / M.S. Lawan, R. Kumar, J. Rashid // Water. – 2023. – Volume 15(20). – P. 3676.
- [2] Yaseen S.M. Enhancement of phenol recovery from wastewater by nanofluid utilizing liquid-liquid extraction method in a membrane-based contactor / S.M. Yaseen, S.S. Salih, M. Kadhom, H.N. Mohammed // Chemical Engineering Research and Design. – 2023. – Volume 196. – P. 404-412.
- [3] Zhao W.H. Post-endogenous denitrification and phosphorus removal in an alternating anaerobic/oxic/anoxic (AOA) system treating low carbon/nitrogen (C/N) domestic wastewater / W.H. Zhao. et al. // Chemical Engineering Journal. – 2018. – Volume 339. – P. 450-458.
- [4] Wang X.H. Environmental implications of increasingly stringent sewage discharge standards in municipal wastewater treatment plants: case study of a cool area of China / X.H. Wang, X. Wang, G. Huppess, R. Heijungs, N.Q. Ren. // Journal of Cleaner Production. – 2015. – Volume 94. – P. 278-283.
- [5] Azeez N.R. Enhanced termination of zinc and cadmium ions from wastewater employing plain and chitosan-modified mxenes: Synthesis, characterization, and adsorption



performance / N.R. Azeez, S.S. Salih, M. Kadhom, H.N. Mohammed, T.K. Ghosh. // *Green Chemical Engineering*. – 2024. – Volume 5. Issue 3. – P. 339-347.

[6] Shrestha R. Technological trends in heavy metals removal from industrial wastewater: A review / R. Shrestha, S. Ban, S. Devkota, S. Sharma, R. Joshi, A.P. Tiwari. et al. // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2021. – Volume 9. Issue 4. Article 105688.

[7] Shamsudin M.S. Performance and interactions of diclofenac adsorption using Alginate/Carbon- based films: experimental investigation and statistical physics modelling / M.S. Shamsudin, S.F. Azha, L. Sellaoui, M. Badawi, A. Bonilla-Petriciolet, S. Ismail // *Chemical Engineering Journal*. – 2022. – Volume 428. Article 131929.

[8] Abbas N. A novel green synthesis of MnO₂-coal composite for rapid removal of silver and lead from wastewater / N. Abbas, S.M. Husnain, U. Asim, F. Shahzad, Y. Abbas // *Water*. – 2024. Article 256:121526.

[9] Tsai W.C. Removal of copper, nickel, lead, and zinc using chitosan-coated montmorillonite beads in single-and multi-metal system / W.C. Tsai, S. Ibarra-Buscano, C.C. Kan, C.M. Futralan, M.L.P. Dalida, M.W. Wan // *Desalin Water Treat.* – 2016. – Volume 57(21). Article 9799–812.

[10] Wan M.W. Adsorption of copper (II) and lead (II) ions from aqueous solution on chitosan-coated sand / M.W. Wan, C.C. Kan, B.D. Rogel, M.L.P. Dalida // *Carbohydr Polym.* – 2010. – Volume 80(3). Article 891–9.

[11] Swayampakula K. Competitive adsorption of Cu(II), Co(II) and Ni(II) from their binary and tertiary aqueous solutions using chitosan-coated perlite beads as biosorbent / K. Swayampakula, V.M. Boddu, S.K. Nadavala, K. Abburi // *J Hazard Mater.* – 2009. – Volume 170(2-3). Article 680–9.

[12] Salih S.S. Preparation and characterization of chitosan-coated diatomaceous earth for hexavalent chromium removal / S.S. Salih, T.K. Ghosh // *Environ Process.* – 2018. – Volume 5. – P. 23–39.

[13] Chen M. Removal of Pb(II) and V (V) from aqueous solution by glutaraldehyde crosslinked chitosan and nanocomposites / M. Chen, M. Yu, R. Kang, H. Sun, W. Zhang, S. Wang. et al. // *Chemosphere*. – 2022. Article 297:134084.

[14] Pérez-González A. State of the art and review on the treatment technologies of water reverse osmosis concentrates / A. Pérez-González, A.M. Urtiaga, R. Ibáñez, I. Ortiz // *Water Resource*. – 2012. – Volume 46 (2). – P. 267-283.

[15] Wang Q. Does electrolysis facilitate simultaneous nitrogen removal and toxicity reduction of low C/N dyeing wastewater by sulfur-based denitrification biofilter? / Q. Wang, Y. Gao, H. Huang, L. Wang, K. Jin, Y. Chen // *Science Total Environment*. – 2020. – Volume 722. Article 137898.

[16] Wei N. Tertiary denitrification of the secondary effluent by denitrifying biofilters packed with different sizes of quartz sand / N. Wei, Y. Shi, G. Wu, H. Hu, Y. Wu, H. Wen // *Water*. – 2014. – Volume 6 (5). – P. 1300-1311.

[17] Zhang L. Denitrification mechanism and artificial neural networks modeling for low-pollution water purification using a denitrification biological filter process / L. Zhang, B. Cui, B. Yuan, A. Zhang, J. Feng, J. Zhang. et al. // *Separation and Purification Technology*. – 2021. – Volume 257. Article 117918.

[18] Foglar L. Continuous-flow biological denitrification with zeolite as support for bacterial growth / L. Foglar, D. Gasparac // *Desalination Water Treatment*. – 2013. – Volume 51 (37–39). Article 7157-7165.



[19] Zheng X. Advanced nitrogen removal from municipal wastewater treatment plant secondary effluent using a deep bed denitrification filter / X. Zheng, S. Zhang, J. Zhang, D. Huang, Z. Zheng // *Water Science & Technology*. – 2018. – Volume 77 (11). – P. 2723-2732.

[20] Zou J. Nitrogen removal and biofilm structure affected by COD/NH⁴⁺-N in a biofilter with porous sludge-ceramsite / J. Zou, G. Xu, K. Pan, W. Zhou, Y. Dai, X. Wang. et al. // *Separation and Purification Technology*. – 2012. – Volume 94. – P. 9-15.

[21] Dong J. The performance of porous ceramsites in a biological aerated filter for organic wastewater treatment and simulation analysis / J. Dong, Y. Wang, L. Wang, S. Wang, S. Li, Y. Ding // *Journal of Water Process Engineering*. – 2020. – Volume 34. Article 101134.

[22] Gao F. Coupled nutrient removal from secondary effluent and algal biomass production in membrane photobioreactor (MPBR): Effect of HRT and long-term operation / F. Gao, Y. Peng, C. Li, W. Cui, Z. Yang, G. Zeng // *Chemical Engineering Journal*. – 2018. – Volume 335. – P. 169-175.

[23] Yu C. Effects of hydraulic retention time on nitrous oxide production rates during nitrification in a laboratory-scale biological aerated filter reactor / C. Yu, Q. Tu, X. Huangfu, Y. Zhu, L. Fan, H. Ai. et al. // *Environmental Technology & Innovation*. – 2021. – Volume 21. Article 101342.

[24] Liu J. Role of porous polymer carriers and iron-carbon bioreactor combined micro-electrolysis and biological denitrification in efficient removal of nitrate from wastewater under low carbon to nitrogen ratio / J. Liu, J. Su, A. Ali, Z. Wang, C. Chen, L. Xu // *Bioresource Technology*. – 2021. – Volume 321. Article 124447.

[25] Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками. Технические условия: ГОСТ 6613-86. – [Введен в действие от 1988-01-01]. – М.: Стандартиформ Российской Федерации, 1986. – 12 с. – (Межгосударственный Стандарт).

[26] Материалы фильтрующие зернистые. Общие технические условия: ГОСТ Р 51641-2000. – [Введен в действие от 2001-07-01]. – М.: Госстандарт России, 2000. – 15 с. – (Государственный Стандарт Российской Федерации).

[27] Hinman C. Bioretention Soil Mix Review and Recommendations for Western Washington. [Electronic Resource] / C. Hinman // *Technical Memorandum*. – 2009. Retrieved from <http://nwcore.org/Downloads/Soil-GuidelinesFinal.pdf>.

[28] Seattle Public Utilities. Supplemental text to the 2008 edition of the Standard Specifications. [Electronic Resource]. – Seattle, Washington, USA. – 2008. – Volume 3. Retrieved from http://www.seattle.gov/util/groups/public/@spu/@usm/documents/webcontent/spu02_019920.pdf.

[29] Auckland Regional Council. TP10 Chapter 7 Filtration design, construction and maintenance. [Electronic Resource]. – Auckland, New Zealand. – 2003. Retrieved from <http://www.arc.govt.nz/albany/fms/main/Documents/Plans/Technicalpublications/1-50/TP10>.

REFERENCES

[1] Lawan, M.S., Kumar, R., & Rashid J. (2023). Recent advancements in the treatment of petroleum refinery wastewater. *Water*, 15(20), 3676. <https://doi.org/10.3390/w15203676> [in English].

[2] Yaseen, S.M., Salih, S.S., Kadhom, M., & Mohammed, H.N. (2023). Enhancement of phenol recovery from wastewater by nanofluid utilizing liquid-liquid extraction method in



a membrane-based contactor. *Chemical Engineering Research and Design*. Volume 196, 404-412. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2023.06.064> [in English].

[3] Zhao, W.H., Huang, Y., Wang, M.X., Pan, C., Li, X.Y., Peng, Y.Z. et al. (2018). Post-endogenous denitrification and phosphorus removal in an alternating anaerobic/oxic/anoxic (AOA) system treating low carbon/nitrogen (C/N) domestic wastewater. *Chemical Engineering Journal*. Volume 339, 450-458. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.01.096> [in English].

[4] Wang, X.H., Wang, X., Huppel, G., Heijungs, R., & Ren, N.Q. (2015). Environmental implications of increasingly stringent sewage discharge standards in municipal wastewater treatment plants: case study of a cool area of China. *Journal of Cleaner Production*. Volume 94, 278-283. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.007> [in English].

[5] Azeez, N.R., Salih, S.S., Kadhom, M., Mohammed, H.N., & Ghosh, T.K. (2024). Enhanced termination of zinc and cadmium ions from wastewater employing plain and chitosan-modified mxenes: Synthesis, characterization, and adsorption performance. *Green Chemical Engineering*. Volume 5, Issue 3, 339-347. <https://doi.org/10.1016/j.gce.2023.08.003> [in English].

[6] Shrestha, R., Ban, S., Devkota, S., Sharma, S., Joshi, R., Tiwari, A.P. et al. (2021). Technological trends in heavy metals removal from industrial wastewater: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Volume 9, Issue 4, 105688. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105688> [in English].

[7] Shamsudin, M.S., Azha, S.F., Sellaoui, L., Badawi, M., Bonilla-Petriciolet, A., & Ismail, S. (2022). Performance and interactions of diclofenac adsorption using Alginate/Carbon- based films: experimental investigation and statistical physics modelling. *Chemical Engineering Journal*. Volume 428, 131929. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131929> [in English].

[8] Abbas, N., Husnain, S.M., Asim, U., Shahzad, F., & Abbas, Y. (2024). A novel green synthesis of MnO₂-coal composite for rapid removal of silver and lead from wastewater. *Water*, 256:121526 [in English].

[9] Tsai, W.C., Ibarra-Buscana, S., Kan, C.C., Futralan, C.M., Dalida, M.L.P., & Wan, M.W. (2016). Removal of copper, nickel, lead, and zinc using chitosan-coated montmorillonite beads in single-and multi-metal system. *Desalin Water Treat*, 57(21):9799–812 [in English].

[10] Wan, M.W., Kan, C.C., Rogel, B.D., & Dalida, M.L.P. (2010). Adsorption of copper (II) and lead (II) ions from aqueous solution on chitosan-coated sand. *Carbohydr Polym*, 80(3): 891–9 [in English].

[11] Swayampakula, K., Boddu, V.M., Nadavala, S.K., & Abburi, K. (2009). Competitive adsorption of Cu(II), Co(II) and Ni(II) from their binary and tertiary aqueous solutions using chitosan-coated perlite beads as biosorbent. *J Hazard Mater*, 170(2-3):680–9 [in English].

[12] Salih, S.S., & Ghosh, T.K. (2018). Preparation and characterization of chitosan-coated diatomaceous earth for hexavalent chromium removal. *Environ Process*, 5: 23–39 [in English].

[13] Chen, M., Yu, M., Kang, R., Sun, H., Zhang, W., Wang, S. et al. (2022). Removal of Pb(II) and V (V) from aqueous solution by glutaraldehyde crosslinked chitosan and nanocomposites. *Chemosphere*, 297:134084 [in English].



- [14] Pérez-González, A., Urriaga, A.M., Ibáñez, R., & Ortiz, I. (2012). State of the art and review on the treatment technologies of water reverse osmosis concentrates. *Water Res.*, 46 (2), 267-283, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.10.046> [in English].
- [15] Wang, Q., Gao, Y., Huang, H., Wang, L., Jin, K., & Chen, Y. (2020). Does electrolysis facilitate simultaneous nitrogen removal and toxicity reduction of low C/N dyeing wastewater by sulfur-based denitrification biofilter? *Science Total Environment*, 722, Article 137898, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137898> [in English].
- [16] Wei, N., Shi, Y., Wu, G., Hu, H., Wu, Y., & Wen, H. (2014). Tertiary denitrification of the secondary effluent by denitrifying biofilters packed with different sizes of quartz sand. *Water*, 6 (5), 1300-1311, <https://doi.org/10.3390/w6051300> [in English].
- [17] Zhang, L., Cui, B., Yuan, B., Zhang, A., Feng, J., Zhang, J. et al. (2021). Denitrification mechanism and artificial neural networks modeling for low-pollution water purification using a denitrification biological filter process. *Separation and Purification Technology*, 257, Article 117918, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117918> [in English].
- [18] Foglar, L., & Gasparac, D. (2013). Continuous-flow biological denitrification with zeolite as support for bacterial growth. *Desalination Water Treatment*, 51 (37–39), 7157-7165, <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.792162> [in English].
- [19] Zheng, X., Zhang, S., Zhang, J., Huang, D., & Zheng, Z. (2018). Advanced nitrogen removal from municipal wastewater treatment plant secondary effluent using a deep bed denitrification filter. *Water Science & Technology*, 77 (11), 2723-2732, <https://doi.org/10.2166/wst.2018.231> [in English].
- [20] Zou, J., Xu, G., Pan, K., Zhou, W., Dai, Y., Wang, X. et al. (2012). Nitrogen removal and biofilm structure affected by COD/NH₄⁺-N in a biofilter with porous sludge-ceramsite. *Separation and Purification Technology*, 94, 9-15, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2012.03.019> [in English].
- [21] Dong, J., Wang, Y., Wang, L., Wang, S., Li, S., & Ding, Y. (2020). The performance of porous ceramsites in a biological aerated filter for organic wastewater treatment and simulation analysis. *Journal of Water Process Engineering*, Volume 34, Article 101134, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101134> [in English].
- [22] Gao, F., Peng, Y., Li, C., Cui, W., Yang, Z., & Zeng, G. (2018). Coupled nutrient removal from secondary effluent and algal biomass production in membrane photobioreactor (MPBR): Effect of HRT and long-term operation. *Chemical Engineering Journal*, Volume 335, 169-175, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.10.151> [in English].
- [23] Yu, C., Tu, Q., Huangfu, X., Zhu, Y., Fan, L., Ai, H. et al. (2021). Effects of hydraulic retention time on nitrous oxide production rates during nitrification in a laboratory-scale biological aerated filter reactor. *Environmental Technology & Innovation*, Volume 21, Article 101342, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101342> [in English].
- [24] Liu, J., Su, J., Ali, A., Wang, Z., Chen, C., & Xu, L. (2021). Role of porous polymer carriers and iron-carbon bioreactor combined micro-electrolysis and biological denitrification in efficient removal of nitrate from wastewater under low carbon to nitrogen ratio. *Bioresource Technology*, Volume 321, Article 124447, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124447> [in English].
- [25] Setki provolochnye tkanye s kvadratnymi yachejkami. Tekhnicheskie usloviya [Woven wire mesh with square cells. Specifications]. (1986). *HOST 6613-86 from 01th January 1988*. Moscow: Interstate Standard [in Russian].



[26] Materialy fil'truyushchie zernistye. Obshchie tekhnicheskie usloviya [Granular filter materials. General specifications]. (2000). HOST R 51641-2000 from 01th July 2001. Moscow: State Standard of the Russian Federation [in Russian].

[27] Hinman, C. (2009). Bioretention Soil Mix Review and Recommendations for Western Washington. [Electronic Resource] *Technical Memorandum*. Retrieved from <http://nwcore.org/Downloads/Soil-GuidelinesFinal.pdf> [in English].

[28] Seattle Public Utilities. (2008). *Supplemental text to the 2008 edition of the Standard Specifications (Vol. 3)*, – Seattle, Washington, USA. Retrieved from http://www.seattle.gov/util/groups/public/@spu/@usm/documents/webcontent/spu02_019920.pdf [in English].

[29] Auckland Regional Council. (2003). TP10 Chapter 7 Filtration design, construction and maintenance. – Auckland, New Zealand. Retrieved from <http://www.arc.govt.nz/albany/fms/main/Documents/Plans/Technicalpublications/1-50/TP10> [in English].

Алиева Б.Б., Кочеров Е.Н., Раматуллаева Л.И., Колесников А.С.,

Мамитова А.Д., Кадирбекова А.А.

ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИКОМПОНЕНТНОЙ ФИЛЬТРУЮЩЕЙ ЗАГРУЗКИ НА ПОКАЗАТЕЛЬ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Аннотация. В научно-исследовательских работах были смоделированы гранулометрический состав природных сорбентов, внутренних вскрышных пород угледобычи, вермикулита, а также строительного песка и гранулометрический состав многокомпонентной смеси, приготовленной в различных соотношениях. Соотношение компонентов принималось ВВП1:В2:П7, ВВП2:В2:П6, ВВП2:В3:П5 и изучался гранулометрический состав. Гидравлические характеристики поликомпонентной смеси с установленным гранулометрическим составом исследовались в лабораторной установке. В качестве типа смеси с эффективными гидравлическими характеристиками была выбрана многокомпонентная смесь с содержанием внутренних вскрышных пород – 20%, вермикулита – 20%, песка – 60%. Установлено, что скорость фильтрации сточных вод в этих условиях составляет 208–354 мм/ч. Комплекс поликомпонентных сорбентов на основе внутренних вскрышных пород угольного производства, вермикулита и строительного песка позволяет обеспечить устойчивую и экологически безопасную очистку загрязняющих веществ поверхностных сточных вод. Полученные в ходе исследований результаты и разработанные на их основе научные положения будут использованы в будущих исследованиях, направленных на снижение риска загрязнения водохранилища Коскорган путем очистки поверхностных сточных вод города Кентау Туркестанской области комплексом поликомпонентных природных сорбентов.

Ключевые слова: экологические показатели; окружающая среда; поверхностные сточные воды; загрязняющие вещества; многокомпонентный фильтр; загрузки фильтра; скорость фильтрации; гранулометрический состав; гидравлические характеристики; эффективность очистки; угольные отходы.

Alieva B.B., Kocherov Ye.N., Ramatullayeva L.I., Kolesnikov A.S.,

Mamitova A.D., Kadirbekova A.A.

INFLUENCE OF GRANULOMETRIC COMPOSITION AND HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF POLYCOMPONENT FILTER LOAD ON THE PERFORMANCE OF SURFACE WASTEWATER

Annotation. In research work, the granulometric composition of natural sorbents, internal overburden rocks of coal mining, vermiculite, as well as construction sand and the granulometric composition of a multicomponent mixture prepared in various ratios were modeled. The ratio of



components was taken as IMO1:V2:S7, IMO2:V2:S6, IMO2:V3:S5 and the granulometric composition was studied. The hydraulic characteristics of the multicomponent mixture with the established granulometric composition were studied in a laboratory setup. A multicomponent mixture with the content of internal overburden rocks - 20%, vermiculite - 20%, sand - 60% was selected as the type of mixture with effective hydraulic characteristics. It was found that the filtration rate of wastewater under these conditions is 208-354 mm/h. A complex of multicomponent sorbents based on internal overburden rocks of coal production, vermiculite and construction sand allows for sustainable and environmentally safe purification of pollutants in surface wastewater. The results obtained during the research and the scientific provisions developed on their basis will be used in future research aimed at reducing the risk of pollution of the Koskorgan reservoir by purifying surface wastewater from the city of Kentau in the Turkestan region with a complex of polycomponent natural sorbents.

Keywords: ecological indicators; environment; surface wastewater; pollutants; multi-component filter; filter loadings; filtration rate; particle size distribution; hydraulic characteristics; cleaning efficiency; coal waste.