

PRODUCTION AND RESEARCH OF FILTERS FOR WATER PURIFICATION BASED ON CARBON MATERIALS

Zh.M. Abdrakhmanova ¹, E.Zh. Ermoldanov¹, A.R. Kerymkulova^{*1}, Zh.S. Kudiyarova ¹,
G.R. Nysanbayeva ¹, Z.A. Mansurov ^{1,2}, S. Azat ³

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Institute of Combustion Problems, Almaty, Kazakhstan

³Laboratory of Engineering Profile KazNITU named after. K.I. Satpaeva, Almaty, Kazakhstan

*E-mail: almusha_84@mail.ru

Abstract. *Introduction.* Water is the most common inorganic compound on Earth. Nowadays, it is becoming more and more difficult to find pure natural water suitable for drinking in rural areas. That is, the composition of drinking water changes under the influence of the climate of the place of residence and the external environment. As a result, the supply of drinking water is declining. Natural reservoirs used as a source of water supply do not always meet sanitary and regulatory requirements. The importance of this related work lies in the determination of water quality and the preparation of filter compositions for water purification. *The main goal of the research* work is to determine the organoleptic and chemical properties of water before and after water filtration. *The method* - turbidimetry and spectrophotometry. Drinking water samples from five regions of Kazakhstan were taken as objects of study. In particular, the objects of study were taken from the city of Kentau, the city of Turkestan, the city of Kyzylorda, the Zhambyl region and the Aktobe region. *The conclusion of the study* is that water filters were made on the basis of carbon and sorption materials. With the help of water filters, the transparency and chemical composition of drinking water samples taken from different regions of Kazakhstan were checked at the beginning and after passing through the filters. Based on the test results, it was determined that in the future it is necessary to create effective water filters that are characteristic of the composition of the water in each region.

Key words: water purification, adsorption, carbon, sorbents, anion exchangers, cation exchangers, filters, spectrophotometric analysis, water turbidity, chemical indicators of water

<i>Abdrakhmanova Zhanerke Maratkyzy</i>	<i>Bachelor, e-mail: janiko.maratovna02@gmail.com</i>
<i>Ermoldanov Ersultan Zhaksylykuly</i>	<i>Bachelor student, e-mail: eursultanermoldanov@gmail.com</i>
<i>Kerymkulova Almagul Ryskulovna</i>	<i>Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, e-mail: almusha_84@mail.ru</i>
<i>Azat Seitkhan</i>	<i>PhD, Head of the Laboratory, e-mail: seithan@mail.ru</i>
<i>Kudiyarova Zhanar Syrlybaikhanovna</i>	<i>PhD, Acting Associate Professor, e-mail: zhanar_ks@mail.ru</i>
<i>Nysanbaeva Gulnura Ryskulovna</i>	<i>Master in Nanomaterials and Nanotechnology, PhD Student, e-mail: gulnur.83.29@mail.ru</i>
<i>Mansurov Zulkhair Aimukhametovich</i>	<i>Doctor of Chemical Sciences, Professor, e-mail: zmansurov@kaznu.kz</i>

Citation: Abdrakhmanova Zh.M., Ermoldanov E.Zh., Kerymkulova A.R., Azat S., Kudiyarova Zh.S., Nysanbayeva G.R., Mansurov Z.A. Production and research of filters for water purification based on carbon materials. *Chem. J. Kaz.*, 2023, 4(84), 18-28. (In Kaz.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2023-4.2710-1185.36>

КӨМІРТЕКТІ МАТЕРИАЛДАР НЕГІЗІНДЕ СУ ФИЛЬТРЛЕРІН ЖАСАУ ЖӘНЕ СЫНАУ

**Ж.М. Абдрахманова¹, Е. Ж. Ермолданов¹, А.Р. Керимкулова¹, Ж.С. Кудиярова¹,
Г.Р. Нысанбаева¹, З.А. Мансуров^{1,2}, С. Азат³**

¹әл -Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²«Жану проблемалар Институты», Алматы, Қазақстан

³«Инженерлік бейінді зертхана», Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ Алматы, Қазақстан

*E-mail: almusha_84@mail.ru

Түйіндемe. *Кіріспе.* Су жер шарындағы ең көп таралған бейорганикалық қосылыс. Қазіргі таңда шалғай елді-мекендерде ішуге жарамды таза табиғи суды табу қиындап барады. Яғни, тұрғылықты жердің климаты мен сыртқы ортаның әсерінен ауыз сулардың құрамы өзгеріске ұшырауда. Осының салдарынан ішуге жарамды ауыз су қоры азайып жатыр. Сумен қамтамасыз ету көзі ретінде пайдаланылатын табиғи су қоймалары әрқашан санитарлық және нормативтік талаптарға сай бола бермейді. Осыған байланысты жұмыстың маңыздылығы судың сапасын анықтау және суды тазарту үшін фильтр композицияларын дайындау. *Зерттеу жұмысының негізгі мақсаты* – су фильтріне дейінгі және кейінгі судың органолептикалық және химиялық қасиеттерін анықтау. *Зерттеу әдісі* турбидиметрия және спектрофотометрия әдістері. *Зерттеу нысандары ретінде* Қазақстанның бес аймағынан ауыз су үлгілері алынды. Атап айтсақ, Кентау қаласы, Түркістан қаласы, Қызылорда қаласы, Жамбыл облысы және Ақтөбе облысынан зерттеу нысандары алынды. *Зерттеу қорытындысы* – көміртекті және ион алмастырғыш материалдар негізінде су фильтрлері жасалды. Су фильтрлерінің көмегімен Қазақстанның әр өңірінен алынған ауыз су үлгілерінің бастапқы және фильтрлерден өткеннен кейінгі мөлдірлігі мен химиялық құрамы сыналды. Сынау нәтижелеріне қарап, болашақта әр аймақтың су құрамдарына байланысты өзіне тән тиімді су фильтрлерін жасау қажет екендігі анықталды.

Түйінді сөздер: су тазалау, адсорбция, көміртек, сорбенттер, аниониттер, катиониттер, фильтрлер, спектрофотометриялық анықтау әдісі, судың мөлдірлігі, химиялық көрсеткіштері.

<i>Абдрахманова Жанерке Маратқызы</i>	<i>Бакалавр</i>
<i>Ермолданов Ерсұлтан Жақсылықұлы</i>	<i>Студент</i>
<i>Керимкулова Алмаул Рыскуловна</i>	<i>Химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор</i>
<i>Азат Сейтхан</i>	<i>PhD, Зертхана меңгерушісі</i>
<i>Кудиярова Жанар Сырлыбайхановна</i>	<i>PhD, доцент міндетін атқарушы</i>
<i>Нысанбаева Гүлнұра Рыскуловна</i>	<i>Магистр, PhD докторанты</i>
<i>Мансурова Зулхаир Аймухаметович</i>	<i>Химия ғылымының докторы, профессор</i>

1. Кіріспе

Су табиғатқа жалпы тіршілік көзіне маңызы өте зор. Су жер шарындағы ең көп таралған бейорганикалық қосылыс. Судың ең ерекше қасиеті оның сутегі мен оттегі атомдарының қосылыстарынан тұруында. Химиялық заңдарға сүйенсек, мұндай қосылыс газ тәрізді болуы керек. Ал су – сұйық күйде болады.

Қазіргі таңда шалғай елді-мекендерде ішуге жарамды таза табиғи суды табу қиындап барады. Яғни, тұрғылықты жердің климаты мен сыртқы ортаның әсерінен ауыз сулардың құрамы өзгеріске ұшырауда. Осының салдарынан ішуге жарамды ауыз су қоры азайып жатыр [1]. Сумен қамтамасыз ету көзі ретінде пайдаланылатын табиғи су қоймалары әрқашан санитарлық және нормативтік талаптарға сай бола бермейді [2].

Заманауи қолданбалы технологиялық жүйелерінің негізгі проблемасы – ең тұйық циклі және қалдықтардың ең аз мөлшері бар экологиялық қауіпсіз технологияларды әзірлеу. Қазіргі уақытта осы зерттеу саласындағы жағдай ресурстарды үнемдейтін және экологиялық мәселелерді кешенді шешу үшін ластанған ерітінділер мен технологиялық сұйықтықтарды тазартудың сорбциялық технологиялары мен селективті процестерін жетілдіру қажеттілігін тудырды [3-7].

Ауыз суларды тазартуда табиғи минералдарды қолдану экологиялық және экономикалық тұрғыдан қолайлы. Модификация нәтижесінде бастапқы минералдан ерекшеленетін және бастапқы материалдың пайдалы қасиеттері мен синтетикалық сорбенттерді біріктіретін беттік табиғаты бар сорбенттер алынады. Ауыз суларды тазартуда сорбциялық әдістер мен кешендерді кеңінен қолдануға қарамастан, бұл салада бірқатар проблемалар бар. Ең маңыздыларына мыналар жатады: материалдардың сорбциялық қабілетінің жеткіліксіздігі, сорбенттерді қалпына келтірудің сенімді әдістерінің жоқтығы, сорбенттерді қолдану арқылы ресурс үнемдейтін экологиялық таза тазалау технологиялары және күрделі түзілу арқылы қалдықтардан ауыр металдарды пайдалану әдістері [8-10]. Осындай әр түрлі себептерге байланысты, жұмыстың маңыздылығы судың сапасын анықтай отырып суды тазарту үшін фильтр композицияларын дайындау.

Зерттеу жұмысының негізгі мақсаты – көміртекті материалдар негізінде суды тазартуға арналған фильтрлердің құрамдарын жасау және сорбциялық қасиеттерін зерттеу. Фильтрге дейінгі және фильтрден кейінгі судың органолептикалық және химиялық құрамын сынау.

Зерттелініп отырған нысандардың химиялық құрамын спектрофотометрия әдісі, ал лайлылығы турбидиметрия әдісі арқылы анықталды. Спектрофотометриялық талдау әдісі «Спектрофтометр DR3900» маркалы қондырғысымен зерттелінсе, ал турбидиметриялық талдау әдісі «Турбидиметр TU5200» қондырғылары арқылы толық зерттелді.

Сулардың лайлылығын зерттеу барысында Түркістан және Ақтөбе қаласының су үлгілерінің бастапқы мәні шектік рұқсат етілген концентрациядан (ШПК) асып кетті. Сонымен қатар, ауыз сулардың химиялық құрамын спектрофотометриялық талдау нәтижесі бойынша, Кентау қаласының су құрамында сульфид (S^{2-}) ионының және Ақтөбе қаласының су үлгісінде темір (Fe^{+3}) ионының шектік рұқсат етілген концентрациядан (ШПК) асқандығы байқалды. Ал Қызылорда қаласының су құрамында сульфат (SO_4^{2-}) ионының көп мөлшерде екендігі анықталса, Жамбыл облысының су құрамында басқа су үлгілеріне қарағанда нитрат (NO_3^-) және нитрит (NO_2^-) иондарының көп мөлшерде екендігі зерттелді.

Зерттеу қорытындысы ретінде көміртекті және сорбциялық материалдар негізінде су фильтрлері жасалды. Су фильтрлерінің көмегімен Қазақстанның әр өңірінен алынған ауыз су үлгілерінің бастапқы және фильтрлерден өткеннен кейінгі лайлылығы мен химиялық құрамы сыналды. Сынау нәтижелеріне қарап, болашақта әр аймақтың су құрамдарына

байланысты өзіне тән тиімді су фильтрлерін жасау қажет екендігі анықталды.

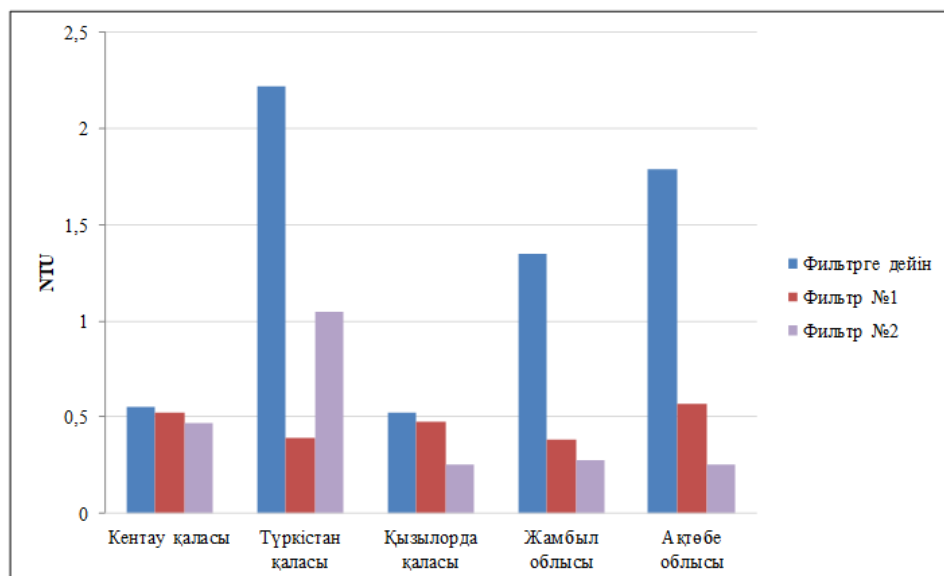
2. Нәтижелер мен талқылаулар

Зерттеу жұмысының негізгі мақсаты – су фильтріне дейінгі және кейінгі турбидиметрия және спектрофотометрия әдістері арқылы судың органолептикалық және химиялық қасиеттерін зерттеп талдау нәтижелерін сынау.

Зерттеу барысында көміртекті сорбциялық материалдар синтезделіп алынды. Шикізат негізінде жылда жаңартылып отыратын грек жаңғағының қабықтары қолданылды. Көміртекті материалдарды синтездеп алу карбонизация әдісі арқылы 800⁰С температурада, инертті ортада жүргізілді. Сонымен қатар, салыстыру мақсатында ион алмастырғыш шайырлар алынды.

Алынған сорбциялаушы заттарды қолдана отырып, екі түрлі колонка түріндегі фильтрлер дайындалды. Біріншісі тек активтелген көміртекті материал көмегімен, екіншісі активтелген көмір және ион алмастырғыш шайырлардың қоспасынан. Дайындап алынған коллонкалы фильтрлердің сорбциялық қасиеттерін зерттеу мақсатында Қазақстанның түрлі өңірлерінен ауыз су үлгілері алынды. Яғни, Кентау қаласы, Түркістан қаласы, Қызылорда қаласы, Жамбыл облысы және Ақтөбе облысынан ауыз сулар зерттеуге алынды. Қазақстанның әр аймақтарынан алынған ауыз су үлгілері қолдан жасалған колонкалы фильтрлер арқылы өткізілді. Екі түрлі қоспадағы фильтрлерден өткізілген суларға турбидиметрия және спектрофотометрия әдістерін пайдалана отырып зерттеулер жүргізілді.

Зерттеу нәтижесінде, Түркістан қаласының су лайлылығы 2.2 NTU және Ақтөбе қаласының су үлгілерінің бастапқы лайлылығы 1.79 NTU мәнді көрсетті. Яғни шектік рұқсат етілген концентрациядан (1.5 NTU) жоғары нәтиже көрсетті. Әрі қарай фильтрлерді пайдалана отырып, Түркістан қаласының суының лайлылығы 0.389 NTU-ға азайды, ал Ақтөбе қаласының суының лайлылығы 0.256 NTU-ға азайды. Алынған нәтижелер 1-суретте диаграмма түрінде келтірілген.



Сурет 1 - Қазақстанның әр аймағынан алынған ауыз су үлгілерінің лайлылығын сынау нәтижелері

Кесте 1 - Кентау қаласынан алынған су үлгісінің бастапқы және фильтрден өткеннен кейінгі химиялық құрамын сынау нәтижелері

Атауы	НҚ	ШРК	Сүзгіге дейін мг/л	Сүзгіден кейін мг/л	
				Сүзгі №1	Сүзгі №2
Темір (Fe^{+3})	МВИ №14-09	0.3	0.03	0.01	0.11
Нитрат (NO_3^-)	МВИ №16-09	45	0.06	0.03	0.06
Нитрит (NO_2^-)	МВИ	3.0	0.014	0.011	0.007
Сульфат (SO_4^{2-})	МВИ №6-10	500	4	4	4
Сульфид (S^{2-})	МВИ 01.00225/205-73-11	3	3.2	1	0
Жалпы хлор (Cl_2^-)	МВИ №64-10	350	0.02	0.03	0.06

Келесі зерттеу нәтижелері ауыз су үлгілерінің химиялық құрамын спектрофотометриялық талдау әдісі бойынша жасалынды. Кентау қаласының су үлгісінің химиялық құрамын зерттеу барысында сульфид (S_2) иондарының мәні ғана шекті мәннен жоғары мән көрсетті. Яғни сульфид иондарының бастапқы мөлшері 3.2 мг/л болса, бірінші фильтрден өткеннен кейін 1 мг/л, екінші фильтрден өткеннен кейін 0 мәнін көрсетті (кесте 1).

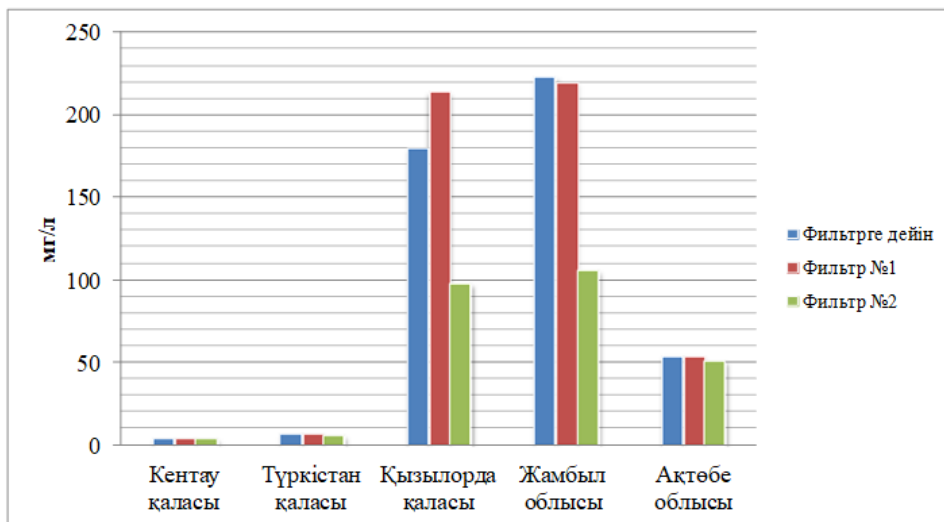
Судағы сульфид иондарының жоғары мөлшері айтарлықтай коррозияға және коммуникациялар мен тұрмыстық техниканың бұзылуына әкелуі мүмкін.

Ақтөбе облысының су құрамын зерттеу нәтижелері 2-кестеде келтірілген. Кестеден темір (Fe^{+3}) ионының бастапқы концентрациясы 0.11 мг/л, яғни шектік рұқсат етілген концентрациядан (0.3 мг/л) 3 есе асқандығы байқалады. Фильтрлердің көмегімен су құрамындағы темір иондарын толық жоюға болатындығы анықталды.

Кесте 2 - Ақтөбе облысынан алынған су үлгісінің бастапқы және фильтрден өткеннен кейінгі химиялық құрамын сынау нәтижелері

Атауы	НҚ	ШРК	Сүзгіге дейін мг/л	Сүзгіден кейін мг/л	
				Сүзгі №1	Сүзгі №2
Темір (Fe^{+3})	МВИ №14-09	0.3	0,11	0.05	0
Нитрат (NO_3^-)	МВИ №16-09	45	0,8	0.4	0.4
Нитрит (NO_2^-)	МВИ	3.0	0,004	0,013	0.018
Сульфат (SO_4^{2-})	МВИ №6-10	500	54	54	51
Сульфид (S^{2-})	МВИ 01.00225/205-73-11	3	1	0	1
Жалпы Хлор (Cl_2^-)	МВИ №64-10	350	0.04	0.02	0.01

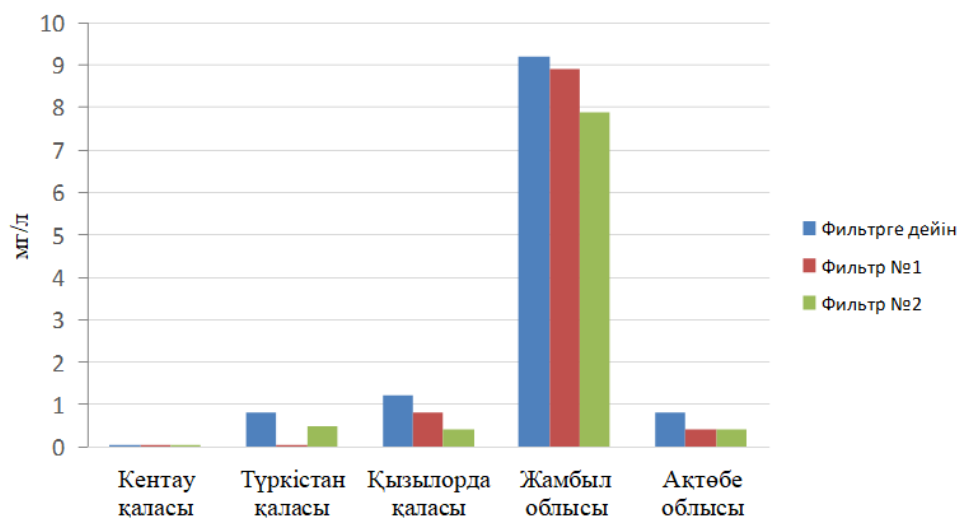
Қазақстанның әр аймағынан алынған су үлгілерінің құрамындағы сульфат (SO_4^{2-}) ионының сынау нәтижелері 2-суретте диаграмма түрінде көрсетілген. Сульфат ионының ауыз су құрамында шектік рұқсат етілген концентрациясы 500 мг/л болғанымен 100-150 мг/л шегінен аспауы керек. Байқағанымыздай Қызылорда қаласының су құрамында бастапқы көрсеткіш 180 мг/л болса, ал Жамбыл облысының су құрамында 223 мг/л көрсеткіш көрсетті. Дегенмен фильтрлерді пайдалана отырып сульфат ионының мәндері 2 есе төмендегені анықталды.



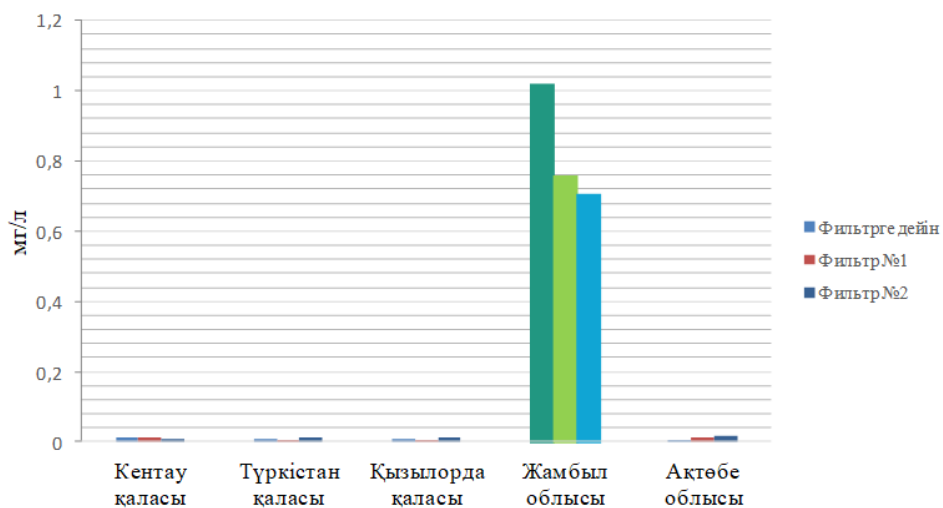
Сурет 2 - Қазақстанның әр аймағынан алынған су үлгілерінің құрамындағы сульфат (SO_4^{2-}) ионының сынау нәтижелері

Ауыз сулардың химиялық құрамын зерттеу нәтижелерінде Жамбыл облысының су құрамында нитрат (NO_3^-) және нитрит (NO_2^-) иондарының мәндері зерттеуге алынған басқа ауыз су нәтижелерімен салыстырғанда көп мөлшерде болатындығы анықталды. Нитрат қосылыстары бар суды ішу арқылы адамдар өз денсаулығына қауіп төндіреді: метгемоглобин мөлшері артады, бұл оттегі ашығуына әкеледі; гемоглобин деңгейі төмендейді, бұл жүрек-тамыр жүйесі ауруларының дамуына әкеледі; жиі бас ауруы, жүрек айнуы, мигрень; ас қорыту жолдарының жұмысы бұзылады; метаболикалық процестердегі өзгерістер байқалуы мүмкін.

Алынған көрсеткіштер төменде 3 және 4-ші суретте көрсетілген.



Сурет 3 - Қазақстанның әр аймағынан алынған су үлгісінің бастапқы және фильтрден өткеннен кейінгі нитрат (NO_3) ионының сынау нәтижелері



Сурет 4 - Қазақстанның әр аймағынан алынған су үлгісінің бастапқы және фильтрден өткеннен кейінгі нитрит (NO_2) ионының сынау нәтижелері

3. Қорытынды

Зерттеу нәтижесінде, Түркістан қаласының су лайлылығы 2.2 NTU және Ақтөбе қаласының су үлгілерінің бастапқы лайлылығы 1.79 NTU мәнді көрсетті. Яғни шектік рұқсат етілген концентрациядан (1.5 NTU) жоғары нәтиже көрсетті. Әрі қарай фильтрлерді пайдалана отырып, Түркістан қаласының суының лайлылығы 0.389 NTU-ға азайды, ал Ақтөбе қаласының суының лайлылығы 0.256 NTU-ға азайды. Сонымен қатар, ауыз сулардың химиялық құрамын спектрофотометриялық талдау нәтижесі бойынша, Кентау қаласының су құрамында сульфид (S^{2-}) ионының бастапқы концентрациясы 3.2 мг/л болса, фильтрден өткеннен кейін 0 мг/л мәнін көрсетті. Ал Ақтөбе облысының су құрамын зерттеу нәтижелерінде темір (Fe^{+3}) ионының бастапқы концентрациясы 0,11 мг/л, яғни шектік рұқсат етілген концентрациядан (0.3 мг/л) 3 есе асқандығы байқалады. Фильтрлердің көмегімен 0 мг/л мәнін көрсетіп, су құрамындағы иондардан толық жоюға болатындығы анықталды.

Ал Қызылорда қаласының су құрамында сульфат (SO_4^{2-}) ионының көп мөлшерде екендігі анықталса, Жамбыл облысының су құрамында басқа су үлгілеріне қарағанда нитрат (NO_3^-) және нитрит (NO_2^-) иондарының көп мөлшері жоғары екендігі анықталды.

Зерттеу қорытындысы ретінде көміртекті және сорбциялық материалдар негізінде су фильтрлері жасалды. Су фильтрлерінің көмегімен Қазақстанның әр өңірінен алынған ауыз су үлгілерінің бастапқы және фильтрлерден өткеннен кейінгі мөлдірлігі мен химиялық құрамы сыналды. Сынау нәтижелеріне қарап, болашақта әр аймақтың су құрамдарына байланысты өзіне тән тиімді су фильтрлерін жасау қажет екендігі анықталды.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ж.М. Абдрахманова¹, Е. Ж. Ермолданов¹, А.Р. Керимкулова¹, Ж.С. Кудиярова¹, Г.Р. Нысанбаева¹, З.А. Мансуров^{1,2}, С. Азат³

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²«Институт проблем горения», Алматы, Казахстан

³«Лаборатория инженерного профиля» Алматы, Казахстан

*E-mail: almusha_84@mail.ru

Резюме. *Введение.* Вода – самое распространенное неорганическое соединение на Земле. В настоящее время становится все труднее найти чистую природную воду, пригодную для питья в сельской местности. То есть состав питьевой воды меняется под влиянием климата места проживания и внешней среды. В связи с этим сокращаются запасы питьевой воды. Природные водоемы, используемые в качестве источника водоснабжения, не всегда соответствуют санитарным и нормативным требованиям. Важность данной работы заключается в определении качества воды и изготовлении фильтрующих составов для очистки воды. *Основной целью* работы является исследование органолептических и химических свойств воды до и после фильтрации. *Методы исследования* – турбидиметрия и спектрофотометрия. В качестве *объектов исследования* были взяты пробы питьевой воды из пяти регионов Казахстана. В частности, объекты

исследования были взяты из г. Кентау, г. Туркестан, г. Кызылорда, Жамбылской области и Актыубинской области. *Вывод* исследования состоит в том, что для очистки воды были изготовлены фильтры из углеродных сорбентов и ионообменных смол. С помощью фильтров были исследованы прозрачность и химический состав проб питьевой воды, отобранных из разных регионов Казахстана. По результатам исследования определено, что в дальнейшем необходимо создавать эффективные фильтры для воды, характерные для состава воды каждого региона.

Ключевые слова: очистка воды, адсорбция, углерод, сорбенты, аниониты, катиониты, фильтры, спектрофотометрический анализ, мутность воды, химические показатели воды

<i>Абдрахманова Жанерке Маратқызы</i>	<i>Бакалавр</i>
<i>Ермолданов Ерсұлтан Жаксылықұлы</i>	<i>Студент</i>
<i>Керімқұлова Алмағұл Рыскуловна</i>	<i>Кандидат химических наук, ассоциированный профессор</i>
<i>Азат Сейтхан</i>	<i>PhD, заведующий лабораторией</i>
<i>Кудиярова Жанар Сырлыбайхановна</i>	<i>PhD, и.о. доцента</i>
<i>Нысанбаева Гүлнұра Рыскуловна</i>	<i>Магистр, докторант</i>
<i>Мансурова Зұлхаир Аймухаметович</i>	<i>Доктор химических наук, профессор</i>

Әдебиеттер тізімі:

1. В Казахстане растет дефицит пресной воды // [Электрондық ресурс] // 02.06.22. // <https://inbusiness.kz/ru/news/v-kazakhstan-rastet-deficit-presnoj-vody>
2. Чистота водоемов: загрязнение, самоочищение, охрана // [Электрондық ресурс] // 30.03.2022// <https://ecportal.su/public/geo/view/1779.html>
3. E. Menya, P.W. Olupot, H. Storz, M. Lubwama, Y. Kiros, Production and performance of activated carbon from rice husks for removal of natural organic matter from water: A review, Chem. Eng. Res. Des. 129 (2018) 271–296. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2017.11.008>
4. S. Azat, A. V. Korobeinyk, K. Moustakas, V.J. Inglezakis, Sustainable production of pure silica from rice husk waste in Kazakhstan, J. Clean. Prod. 217 (2019) 352–359. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.142>
5. A.R. Satayeva, C.A. Howell, A. V Korobeinyk, J. Jandosov, V.J. Inglezakis, Z.A. Mansurov, S. V Mikhailovsky, Investigation of rice husk derived activated carbon for removal of nitrate contamination from water, Sci. Total Environ. 630 (2018) 1237–1245. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.329>
6. M.P. Da Rosa, A.V. Igansi, S.F. Lütke, T.R. Sant'anna Cadaval, A.C.R. Do Santos, A.P. De Oliveira Lopes Inacio, L.A. De Almeida Pinto, P.H. Beck, A new approach to convert rice husk waste in a quick and efficient adsorbent to remove cationic dye from water, J. Environ. Chem. Eng. 7 (2019) 103504. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103504>
7. R. Hasan, C.C. Chong, S.N. Bukhari, R. Jusoh, H.D. Setiabudi, Effective removal of Pb(II) by low-cost fibrous silica KCC-1 synthesized from silica-rich rice husk ash, J. Ind. Eng. Chem. 75 (2019) 262–270. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.03.034>
8. M.Y. Nassar, I.S. Ahmed, M.A. Raya, A facile and tunable approach for synthesis of pure silica nanostructures from rice husk for the removal of ciprofloxacin drug from polluted aqueous solutions, J. Mol. Liq. 282 (2019) 251–263. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.03.017>
9. Y. Shen, N. Zhang, Facile synthesis of porous carbons from silica-rich rice husk char for volatile organic compounds (VOCs) sorption, Bioresour. Technol. 282 (2019) 294–300. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.03.025>
10. L. Shrestha, M. Thapa, R. Shrestha, S. Maji, R. Pradhananga, K. Ariga, Rice Husk-Derived High Surface Area Nanoporous Carbon Materials with Excellent Iodine and Methylene Blue Adsorption Properties, C. 5 (2019) 10. <https://doi.org/10.3390/c5010010>

References

1. The shortage of fresh water is growing in Kazakhstan // [Electrondyk resource] // 02.06.22. // <https://inbusiness.kz/ru/news/v-kazakhstan-rastet-deficit-presnoj-vody>
2. Cleanliness of water bodies: pollution, self-purification, protection // [Elektrondyk resource] // 30.03.2022// <https://ecportal.su/public/geo/view/1779.html>

3. E. Menya, P.W. Olupot, H. Storz, M. Lubwama, Y. Kiros, Production and performance of activated carbon from rice husks for removal of natural organic matter from water: A review, *Chem. Eng. Res. Des.* 129 (2018) 271–296. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2017.11.008>
4. S. Azat, A. V. Korobeinyk, K. Moustakas, V.J. Inglezakis, Sustainable production of pure silica from rice husk waste in Kazakhstan, *J. Clean. Prod.* 217 (2019) 352–359. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.142>
5. A.R. Satayeva, C.A. Howell, A. V Korobeinyk, J. Jandosov, V.J. Inglezakis, Z.A. Mansurov, S. V Mikhailovsky, Investigation of rice husk derived activated carbon for removal of nitrate contamination from water, *Sci. Total Environ.* 630 (2018) 1237–1245. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.329>
6. M.P. Da Rosa, A.V. Igansi, S.F. Lütke, T.R. Sant’anna Cadaval, A.C.R. Do Santos, A.P. De Oliveira Lopes Inacio, L.A. De Almeida Pinto, P.H. Beck, A new approach to convert rice husk waste in a quick and efficient adsorbent to remove cationic dye from water, *J. Environ. Chem. Eng.* 7 (2019) 103504. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103504>
7. R. Hasan, C.C. Chong, S.N. Bukhari, R. Jusoh, H.D. Setiabudi, Effective removal of Pb(II) by low-cost fibrous silica KCC-1 synthesized from silica-rich rice husk ash, *J. Ind. Eng. Chem.* 75 (2019) 262–270. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.03.034>
8. M.Y. Nassar, I.S. Ahmed, M.A. Raya, A facile and tunable approach for synthesis of pure silica nanostructures from rice husk for the removal of ciprofloxacin drug from polluted aqueous solutions, *J. Mol. Liq.* 282 (2019) 251–263. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.03.017>
9. Y. Shen, N. Zhang, Facile synthesis of porous carbons from silica-rich rice husk char for volatile organic compounds (VOCs) sorption, *Bioresour. Technol.* 282 (2019) 294–300. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.03.025>
10. L. Shrestha, M. Thapa, R. Shrestha, S. Maji, R. Pradhananga, K. Ariga, Rice Husk-Derived High Surface Area Nanoporous Carbon Materials with Excellent Iodine and Methylene Blue Adsorption Properties, *C.* 5 (2019) 10. <https://doi.org/10.3390/c5010010>