

FTAMP 87.19.03

<https://doi.org/10.26577/EJE202582101>

**Б.Б. Алиева¹, Ф.Н. Кочеров¹,
Л.И. Раматуллаева¹, Қ.Қ. Құлымбет^{2*}**

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

²Ө.О. Оспанов атындағы қазақ топырақтану және агрохимия ғылыми-зерттеу институты,
Алматы, Қазақстан

*e-mail: qulymbet.qanat@gmail.com

БЕТТІК АҒЫНДЫ СУЛАРДАҒЫ ЛАСТАУШЫ ЗАТТАРДЫ СОРБЦИЯЛЫҚ ТАЗАЛАУ ҮРДІСІН ЗЕРТТЕУ

Қалалардың даму тұрғысынан жағымсыз салдары су өткізбейтін беттіктердің үлестік ұлғаюы, техногендік қоспалар түрлерінің көбейуі және беттік ағынды сулардағы олардың шоғырының артып кетуі есебінен ағынды су көлемінің артуы және шектен тыс ластануы болып табылады. Бұл мәселелер қалаларда түзілген беттік ағынды суларды тазартудың өзектілігін айқындай түседі. Беттік ағынды сулар құрамындағы ластанушы 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. Ұсынылған зерттеу жұмысының мақсаты табиғи сорбенттер перлит және вермикулиттің қалалық беттік ағынды сулардағы мұнай өнімдері мен ауыр металдарды сіңіру үрдісін кинетикалық зерттеуге негізделген. Өсімдіктер мен топырақ микроағзаларының белсенділігінің төмен шарттарында биосүзгі жұмысының жоғары тиімділігін сақтау, сүзгілеу ортасында сорбциялық және ионаламасу қасиеттеріне ие компоненттерді мазмұндайтын перлит пен вермикулиттің болуымен қамтамасыз етіледі. Әдіснамалық тәсілді сорбенттердің ластанушы заттарды адсорбциялау изотермаларын Фрейндлих модельімен толық сипаттауға мүмкіндік берді және жоғары корреляция коэффициентін ($R^2 > 93-98$ аралығында) көрсетті. Мұнан бөлек, алынған тәжірибелік мәліметтерді өңдеу және сорбенттердің сорбциялық көрсеткіштерін анықтау L-типті изотермаларды толыққанды сипаттайтын Ленгмюрдің мономолекулярлық сорбция теориясын қолдану арқылы жүзеге асырылды. Табиғи перлит, вермикулит және құрылыстық құм негізінде поликомпонентті сорбенттер кешені беттік ағынды сулардағы ластанушы заттарды тұрақты және экологиялық таза жолмен тазартуға мүмкіндік береді. Зерттеулер барысында алынған нәтижелер және олардың негізінде тұжырымдалған ғылыми қорытындылар Түркістан облысы Кентау қаласының беттік ағынды суларын сорбциялық тазалау жолымен Қосқорған су қоймасының ластану қауіпсіздігін қамтамасыз етуге бағытталған алдағы зерттеу жұмыстарына негіз бола алады.

Түйін сөздер: беттік ағынды сулар, ластанушы заттар, мұнай өнімдері, ауыр металдар, сорбциялық тазалау.

B.B. Alieva¹, Ye.N. Kocherov¹, L.I. Ramatullayeva¹, K.K. Kulymbet^{2*}

¹South Kazakhstan University named after M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan

«U.U. Usanov Kazakh Research Institute of Soil Science and Agrochemistry», Almaty, Kazakhstan

*e-mail: qulymbet.qanat@gmail.com

Study of sorption treatment of pollutants in surface wastewater

The negative consequences of cities in terms of development are the increase in wastewater volumes and excessive pollution due to the increase in the proportion of impermeable surfaces, the increase in the types of technogenic impurities and their concentration in surface wastewater. These problems emphasize the relevance of surface wastewater treatment in cities. The main part of pollutants contained in surface wastewater is washed off the surface of catchment basins. Thus, the main part of suspended substances of mineral and organic origin, oil products and heavy metals gets into surface wastewater. The objective of the proposed research work is based on the kinetic study of the absorption of oil products and heavy metals of urban surface wastewater by natural sorbents perlite and vermiculite. Maintaining high efficiency of the biofilter under conditions of low activity of plants and soil microorganisms is ensured by the presence in the filter medium of components with sorption and ion-exchange properties such as perlite and vermiculite. The methodical approach allowed to fully describe the adsorption isotherms of pollutants by the Freundlich model and showed a high correlation coefficient ($R^2 > 93-98$). In addition, the processing of the obtained experimental data and the determination of the sorption indices

of the sorbents were carried out using the Langmuir monomolecular sorption theory, which fully describes the L-type isotherms. A complex of polycomponent sorbents based on natural perlite, vermiculite and construction sand allows for the purification of surface wastewater from pollutants in a sustainable and environmentally friendly way. The results obtained during the research and the scientific conclusions based on them can form the basis for future research aimed at ensuring the safety of pollution of the Koskorgan Reservoir by sorption purification of surface wastewater in the city of Kentau, Turkestan region.

Key words: surface wastewater, pollutants, petroleum products, heavy metals, sorption purification.

Б.Б. Алиева¹, Е.Н. Кочеров¹, А.И. Раматуллаева¹, Қ.Қ. Құлымбет^{2*}

¹Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

²Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии имени У.У. Успанова, Алматы, Казахстан

*e-mail: qulymbet.qanat@gmail.com

Изучение сорбционной очистки загрязняющих веществ в поверхностных сточных водах

Негативными последствиями городов с точки зрения развития являются увеличение объемов сточных вод и чрезмерное загрязнение из-за увеличения доли непроницаемых поверхностей, увеличения видов техногенных примесей и их концентрации в поверхностных сточных водах. Эти проблемы подчеркивают актуальность очистки поверхностных сточных вод в городах. Основная часть загрязняющих веществ, содержащихся в поверхностных сточных водах, смывается с поверхности водосборных бассейнов. Таким образом, в поверхностные сточные воды попадает основная часть взвешенных веществ минерального и органического происхождения, нефтепродуктов и тяжелых металлов. Цель предлагаемой научно-исследовательской работы основана на кинетическом исследовании поглощения нефтепродуктов и тяжелых металлов городских поверхностных сточных вод природными сорбентами перлитом и вермикулитом. Сохранение высокой эффективности биофильтра в условиях низкой активности растений и почвенных микроорганизмов обеспечивается наличием в фильтрующей среде, содержащих компоненты, обладающие сорбционными и ионообменными свойствами таких как перлит и вермикулит. Методический подход позволил полностью описать изотермы адсорбции загрязняющих веществ моделью Фрейндлиха и показал высокий коэффициент корреляции ($R^2 > 93-98$). Кроме того, обработка полученных экспериментальных данных и определение показателей сорбции сорбентов проводилась с использованием теории мономолекулярной сорбции Ленгмюра, полностью описывающей изотермы L-типа. Комплекс поликомпонентных сорбентов на основе природного перлита, вермикулита и строительного песка позволяет очищать поверхностные сточные воды от загрязнений устойчивым и экологически чистым способом. Результаты, полученные в ходе исследований, и основанные на них научные выводы могут стать основой для будущих исследований, направленных на обеспечение безопасности загрязнения Коскорганского водохранилища путем сорбционной очистки поверхностных сточных вод города Кентау Туркестанской области.

Ключевые слова: поверхностные сточные воды, загрязняющие вещества, нефтепродукты, тяжелые металлы, сорбционная очистка.

Кіріспе

Халық санының өсуі, әсіресе дамушы елдерде қатты тұрмыстық қалдықтардың және қалалық ағынды сулардың түзілу көлемін арттыруда. Бұл өз кезегінде беттік ағынды суларды қайта пайдалану үшін қыруар инвестициялық қаражатты талап етеді.

Ағынды суларды тазалау үрдісінің камбат болуына байланысты, кейбір жағдайларда тазалау үймереттерінен төгілетін ағынды сулар қоршаған ортаға төгуге рұқсат беретін талаптардың ерекшеліктеріне сәйкес келмейді. Осыған орай, тіршіліктің көптеген түрлеріне қауіп төндіре отырып, өткір аурулардан бастап созылмалы ау-

рулардың таралуына, қоршаған ортаның ластауына алып келеді [1,2].

Қалалық беттік ағынды сулар әдетте патогенді және азот, фосфор мазмұндайтын заттарды, таразыланған қатты заттар мен органикалық ластаушыларды мазмұндайды. Қоршаған ортаға келетін ауыртпалық әсерлерін төмендету үшін, аталған ластаушы заттардың мөлшерін мүмкін шектік шоғырына дейін төмендетіп, ағынды суларды қауіпсіз қажетке жарату қажет [3,4].

Беттік ағынды сулардағы ластаушы заттардың шоғырын, оттегінің химиялық қажеттілігін (ОХҚ), оттегінің биологиялық қажеттілігін (ОБҚ), таразыланған қатты бөлшектердің жалпы мөлшерін, азот және фосфордың жалпы

мазмұнын төмендету экожүйеге келетін зиянды әсерлерді азайтады. Беттік ағынды суларды тазалаудың тәстүрлі технологияларының құрылысы, қызметі мен даму саталары, әсіресе орталықтандырылмаған қауымдастықтар үшін аса қымбат. Ағынды суларды тазалаудың еі тиімді әдістерінің бірі адсорбциялық үрдіс болып табылады, ол жобалауда және эксплуатациялауда қарапайым, қолдануда ыңғайлы және ерекше күтім үшін қарапайым талаптарды қажет етеді [5].

Бұл технология органикалық және бейорганикалық ластаушы заттардың шоғырын төмендетуге, олардың ішінде судағы нитраттардың [6], перхлораттардың [7], фосфаттардың [8] және фторидтердің [9] шоғырын сәйкесінше адсорбциялық материалдарды қолданып төмендетуге мүмкіндік береді. Сондықтан экономикалық тиімді және экологиялық таза адсорбциялаушы материалдарды қолдана отырып, қалалық беттік ағынды суларды қоршаған ортаға тастаудан алдын тазалау тіршілік қауіпсіздігін қамтамасыз етуші шешім бола алады.

Теймури және т.б. [3] майда дөңді керамзитті толықтырғыш, пемза, перлит және цеолиттен тұратын кеуекті бетонның қалалық беттік ағынды сулардың сапасын жақсартуда қолдану мүмкіндіктерін зерттеген. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, майда дөңді бөлшектер мен адсорбенттерді қосу кеуекті бетонның сығуға беріктігін жоғарылатқанымен, бір мезгілде өткізгіштігі мен кеуектілігінің төмендеуіне алып келді. Цеолит кеуекті бетонның жақсы беріктік сипаттамаларын көрсетсе, пемза тиімді өткізгіштігін қамтамасыз еткен. Перлит секілді адсорбенттің болуы органикалық ластаушы заттардың мөлшерін 40%, ОХҚ 48% және ОБҚ 30,5% төмендетуге мүмкіндік берген.

Қалалық беттік ағынды суларды басқару қазіргі уақытта күрделене түсіп, түрлі ластаушы заттар мен қоспалар үшін креативті шешімдерді қажет етуде [10]. Ағынды суларды тазалауды дамытудағы маңызды өзгерістерді талап ететін шешімдер, тазалау үймереттерінің энергия тиімділігін жоғарылатуды [11], беттік ағынды сулардан таразыланған заттарды аластатуды [12] және бағалы қосымша өнімдерді бөліп алуды [13,14] қарастырады. Қалалық ағынды суларды инновациялық алдыңғы қатарлы конфигурациялы біріншілей тазалау жолымен қатты бөлшектерді максималды бөліп алуды ұсынады. Зерттеушілердің бағалауы бойынша, қатты бөлшектерді

максималды бөліп алу энергияға деген тұтынушылықты 45 кВт·сағ 28 кВт·сағ дейін төмендетуге мүмкіндік берген [15].

Сонымен қатар беттік ағынды сулардағы ауыр металдардың иондарын аластату үшін жүгері целлюлозасынан модификацияланған лиганданы қолдануды ұсынған. Адсорбциялау үрдісі ортаның рН көрсеткішіне тәуелді болатыны анықталған және зерттеу шарттарында рН – 6 мәнін қолданған. Бұл жағдайда мыс иондары жақсы адсорбциялық қабілетін көрсеткен, одан кейін темір, кобальт, хром және никельдің сәйкесінше адсорбциялық қабілеті 280, 240, 220 және 205 мг/г орнатылған [16].

Перлит, цеолит, лигнит, темір қожы, пемза, метакаолин, ұшқыш күл, кремнезем және көмір секілді адсорбенттерді кеуекті өткізгіш бетонның құрамында қолдану судан, еріген судан және беттік ағынды сулардан органикалық ластаушылар мен ауыр металдарды жобға арналған. Аталған адсорбенттер келесі авторлар зерттеулерінде сулы ерітінділерден түрлі қоспаларды аластату үшін қолданылған [17].

Жоғары иондық алмасу қабілетін көрсететін мезакеуектердің көптеген мөлшері цеолит пен перлиттің бағалы қасиеттерінің бірі болып табылады [18-21]. Олар бұрынғы уақытта бетонның құрамында толықтырғыш материал ретінде қолданылған және зерттеулермен дәлелденгендей кеуектілігін 40% және өткізгіштігін 20% төмендете отырып, сығуға беріктігін 20% жоғарылатқан. Сонымен қатар ОХҚ (81%), ОБҚ (80%) және ағынды судың лайлылығын (81%) төмендету қабілеті өте қолайлы болып табылды [22,23].

Зерттеу материалдары мен әдістері

Перлит және вермикулиттің мұнай өнімдері мен ауыр металдарға қатысты сорбциялық қасиеттерін анықтау кинетикалық қисықтар мен адсорбция изотермасын талдау негізінде жүргізілді. Зерттеу материалдары ретінде Тұрбат кен орнының перлитті шикізаты және Құлантау кен орнының вермикулиті таңдалды. Зерттелудегі материалдардың негізгі сипаттамалары 1 және 2 кестелерде келтірілген.

Сүзгілеу ортасының негізіне аллювиалды құрылыс құмы алынды. Құрылыстық құмның сорбциялық қабілеті төмен болатыны анық, осыған орай оның сорбциялық сыйымдылығын анықтау талап етілмеді.

1-кесте – Тұрбат кен орны перлитінің негізгі қасиеттері

Тотықтардың мазмұны, % масса бойынша									
SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	к.к.қ
64,28	0,33	16,02	2,66	2,73	0,67	2,94	4,67	1,86	3,84
Физика-механикалық қасиеттері									
Кеукетенудің температуралық аралығы, °C					1360-1380				
Көлемдік салмағы, кг/м ³					1700-2290				
Орташа тығыздығы, г/см ³					0,64				
Себілу тығыздығы, г/см ³					0,31				
Кеукетену коэффициенті					3,5-4,5				
Гидравликалық белсенділігі, мг					68,7				

2-кесте – Құлантау кен орны вермикулитінің негізгі қасиеттері

Тотықтардың мазмұны, % масса бойынша										
SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O+ K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O
44,57	1,92	13,34	11,46	3,57	10,51	6,95	0,19	2,45	1,55	3,49
Минералогиялық құрамы, %										
Дала шпаты							37,2			
Амфибол минералдар тобы							28,8			
Гидролюдалар							24,8			
Карбонаттар							4,1			
Кварцит							2,7			
Апатит							0,8			
Сфен							0,6			
Гранат							0,4			
Эпидот							0,4			
Цоизит							0,2			
Физика-механикалық қасиеттері										
Ылғал сіңірімділігі, %							334-635			
Кеукетену коэффициенті							9-17			
Себілу тығыздығы, кг/м ³							80-200			
Көлемдік салмағы, г/см ³							0,08-0,2			
Сынғыштығы, %							2,1-5,0			
Деформациялануы, %							4,9-6,0			

Кинетикалық қисық сызығын тұрғызу үшін зерттелетін ауыр металдардың бірін немесе мұнай өнімдерін мазмұндайтын 500 мл ерітіндіге 10 г сорбент қосылды. Дайындалған ерітінді магнитті араластырғыштың көмегімен 5, 10, 20, 40, 80, 160 және 320 минут араластырылып, ластаушы заттардың қалдық шоғырын анықтау үшін үлгілер алынды. Вермикулит қатты

ісінетін сорбент болуына байланысты, 1 тәулік бойында алдын ала дистильденген сумен ылғалдандырылғаннан кейін мұнай өнімдері мен ауыр металдардың сорбциялану көрсеткіштері зерттелді.

Бастапқы ерітіндідегі мұнай өнімдері мен ауыр металдардың шоғыры 3 кестеде келтірілген.

3-кесте – Перлит және вермикулиттегі сорбциялану кинетикасын анықтау барысындағы ерітіндідегі мұнай өнімдері мен ауыр металдардың шоғыры

Көрсетіш	Шоғыр, мг/л
Мұнай өнімдері	50
Темір	50
Мыс	50
Қорғасын	50
Мырыш	50
Алюминий	50
Кадмий	50

Сорбциялау үрдісіне дейінгі және үрдістен кейінгі мұнай өнімдерінің мазмұнын бақылау гравиметриялық әдіспен мұнай өнімдерін төрт хлорлы көміртегімен экстракциялай отырып, ары қарай полярлық көміртектерді алюминий тотығымен воронка арқылы аластату жолымен

бақыланды [24]. Ауыр металдардың мазмұны Spectroquant аспабының көмегімен фотометриялық әдіспен анықталды [25].

Зерттеу нәтижелері мен талқылаулар

Сорбенттің сорбциялық сыйымдылығы A төмендегі формула бойынша есептеледі:

$$A = \frac{(C_0 - C_p) \cdot V}{m} \quad (1)$$

мұндағы:

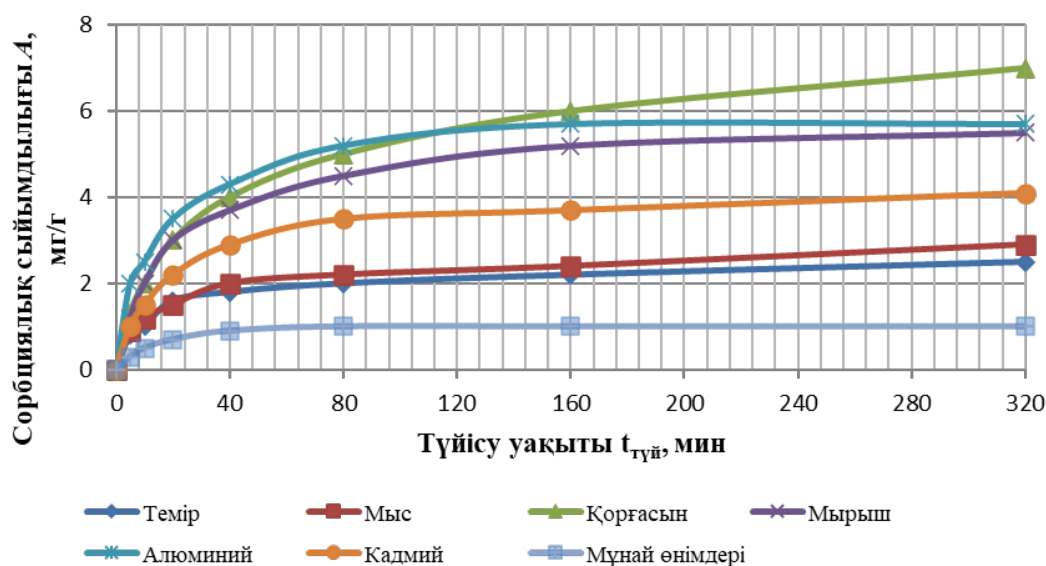
C_0 – ерітіндідегі бастапқы шоғыр, мг/л;

C_p – тепе-теңдік шоғыры, мг/л;

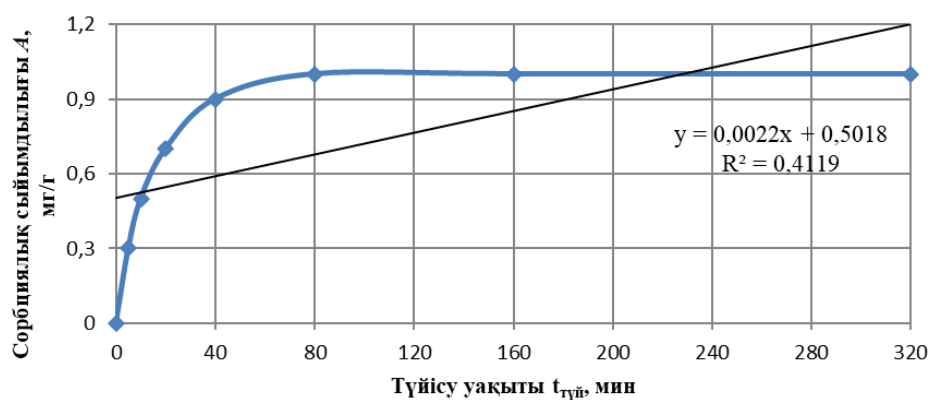
V – ерітіндінің көлемі, л;

m – сорбент үлгісінің салмағы, г.

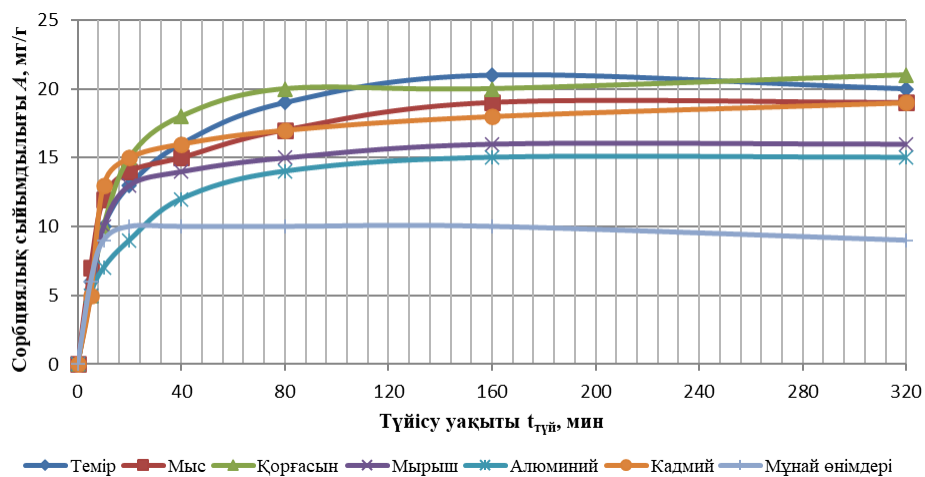
Статикалық шарттарда перлит пен вермикулиттегі ауыр металдардың сорбциялану үрдістерінің кинетикалық қисықтары 1 – 4 суреттерде келтірілген.



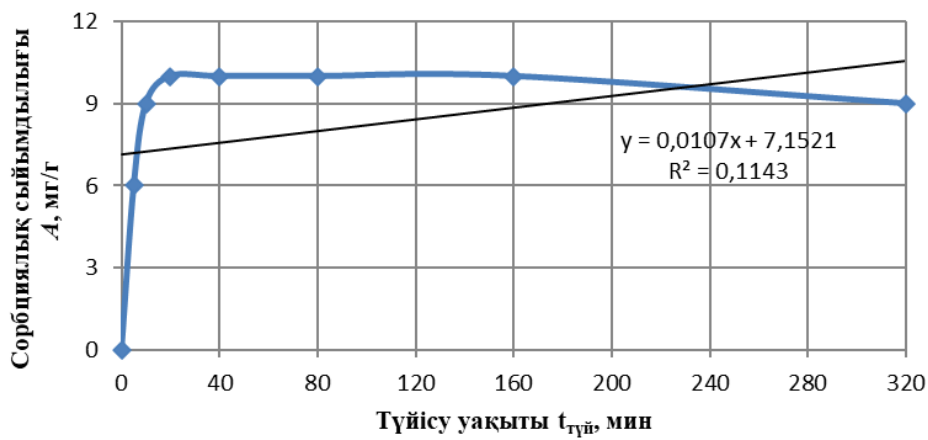
1-сурет – Перлиттегі ауыр металдардың және мұнай өнімдерінің сорбциялану кинетикасының қисықтары



2-сурет – Перлиттегі мұнай өнімдерінің сорбциялану кинетикасының қисықтары



3-сурет – Вермикулиттегі ауыр металдардың және мұнай өнімдерінің сорбциялану кинетикасының қисықтары



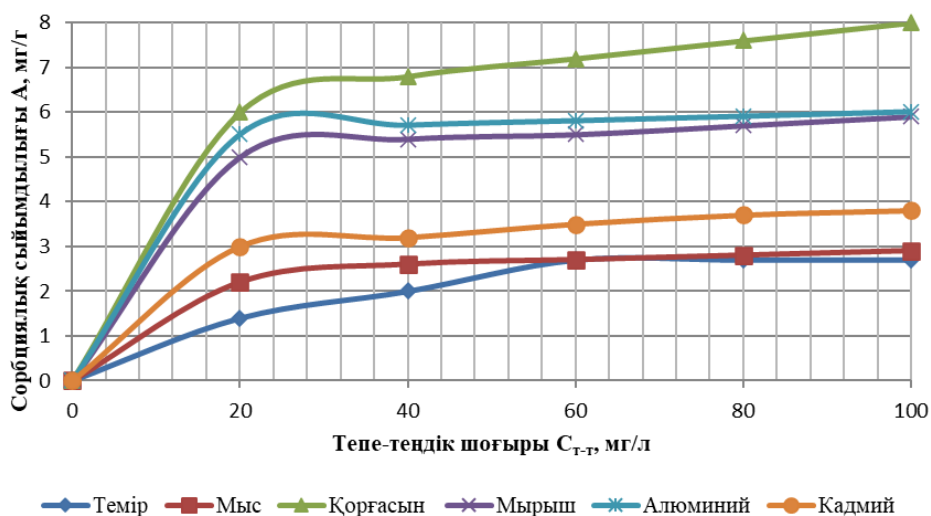
4-сурет – Вермикулиттегі мұнай өнімдерінің сорбциялану кинетикасының қисықтары

Кинетикалық қисықтарды талдау нәтижелері көрсеткендей, ауыр металдардың және мұнай өнімдерінің перлиттегі және вермикулиттегі тепе-теңдік шоғырлары 40-60 минуттан кейін орын алады.

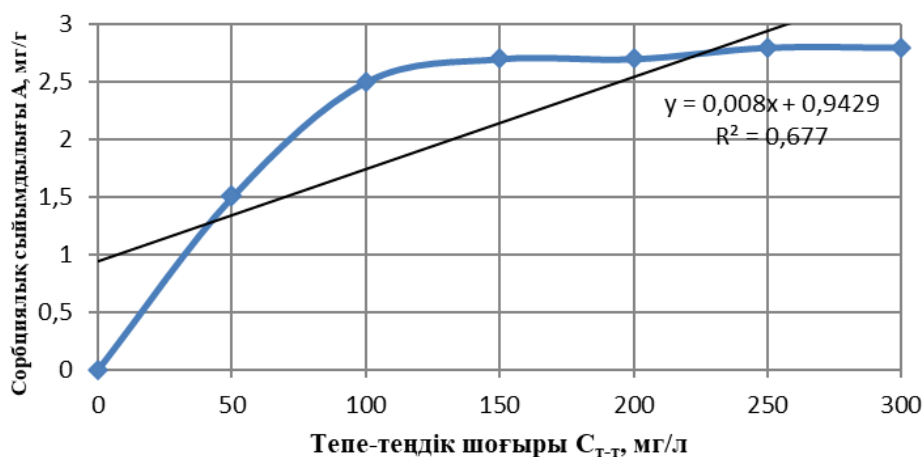
Перлиттегі және вермикулиттегі ауыр металдар мен мұнай өнімдерінің сорбциялық изотермасын құру үшін тұрақты үлгілер мен айнымалы шоғырлар әдісі қолданылды. Адсорбент (перлит немесе вермикулит) үлгісінің салмағы тұрақты түрде 10 г, ал ауыр металдардың шоғыры 50-

150 мг/л аралығында, мұнай өнімдерінің шоғыры 50-250 мг/л аралығында қабылданды. Қатты фазаның сұйық фазаға қатынасы 10:500 құрады. Сорбция үрдісінің кинетикалық қисықтары негізінде орнатылған сорбциялық тепе-теңдік уақыты 60 минут кезінде, ауыр металдар мен мұнай өнімдерінің қалдық шоғырының тұрақтануы орын алады.

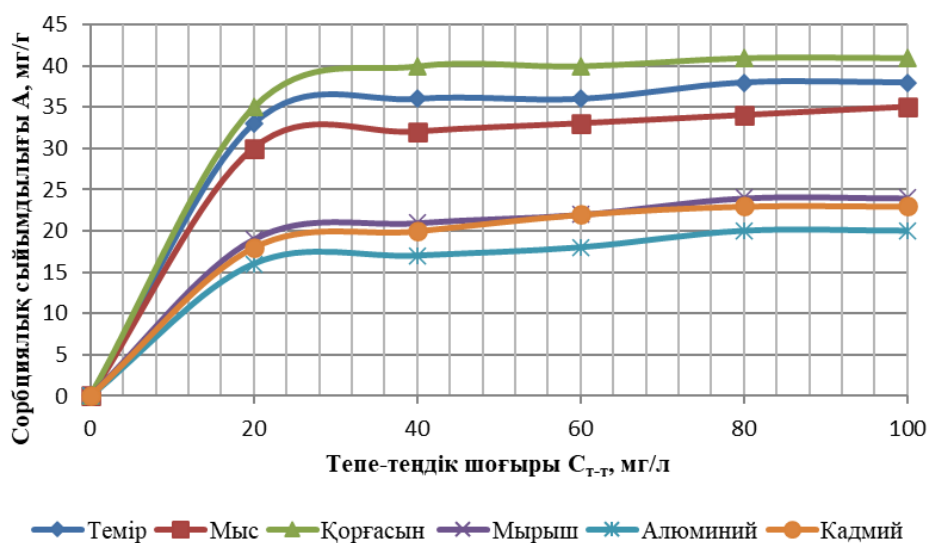
Перлиттегі және вермикулиттегі ауыр металдар мен мұнай өнімдерінің сорбциялық изотермалары 5 – 8 суреттерде келтірілген.



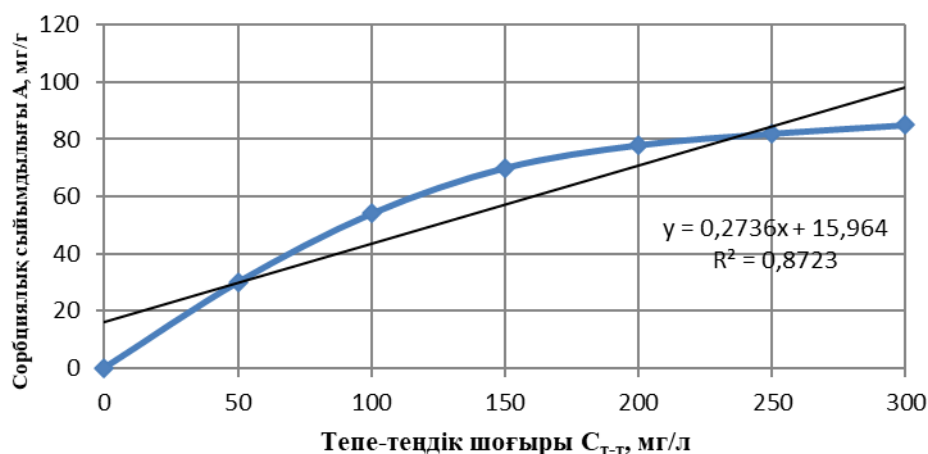
5-сурет – Перлиттегі ауыр металдардың сорбциялық изотермасы



6-сурет – Перлиттегі мұнай өнімдерінің сорбциялық изотермасы



7-сурет – Вермикулиттегі ауыр металдардың сорбциялық изотермасы



8-сурет – Вермикулиттегі мұнай өнімдерінің сорбциялық изотермасы

Тәжірибелік мәліметтерді өңдеу және сорбенттердің сорбциялық көрсеткіштерін анықтау L-типті изотермаларды толыққанды сипаттайтын Фрейндлих пен Ленгмюрдің мономолекулярлық сорбция теориясын қолдану арқылы жүзеге асырылды.

Ленгмюр теңдеуі келесі сипатқа ие:

$$A = A_{\infty} \frac{K_L \cdot C}{1 + K_L \cdot C} \quad (2)$$

мұндағы:

A – салыстырмалы адсорбция, мг/г;

A_{∞} – шектік адсорбция, мг/г;

K_L – адсорбциялық тепе-теңдік константасы;

C – адсорбтивтің тепе-теңдік шоғыры, мг/л.

Шектік адсорбция A_{∞} және адсорбциялық тепе-теңдік константасы K_L мәндерін есептеу үшін (2) өрнек келесі түрдегі сызықтық теңдеумен ұсынылды:

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{A_{\infty}} + \frac{1}{A_{\infty} \cdot K_L} \cdot \frac{1}{C} \quad (3)$$

Ленгмюр теңдеуінің сызықтық формасы (3) C/A – C координаталарындағы сорбция изотермасы бойынша графикалық және аналитикалық жолмен A_{∞} және K_L теңдеулерінің константаларын анықтауға мүмкіндік береді.

Фрейндлих теңдеуі келесі сипатқа ие болады:

$$A = \beta \cdot C^n \quad (4)$$

(4) теңдеудің сызықтық формасы $\lg A$ -ның $\lg C$ -дан сызықтық тәуелділігін көрсетеді және β мен n көрсеткіштерін графикалық және аналитикалық анықтауға мүмкіндік береді:

$$\lg A = \lg \beta + \frac{1}{n} \lg C \quad (5)$$

мұндағы:

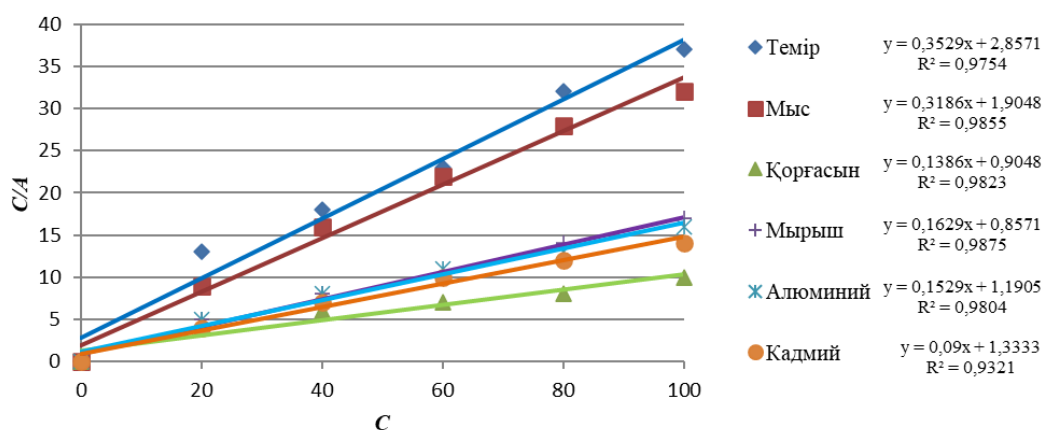
A – салыстырмалы адсорбция, мг/г;

β, n – адсорбциялар константасы;

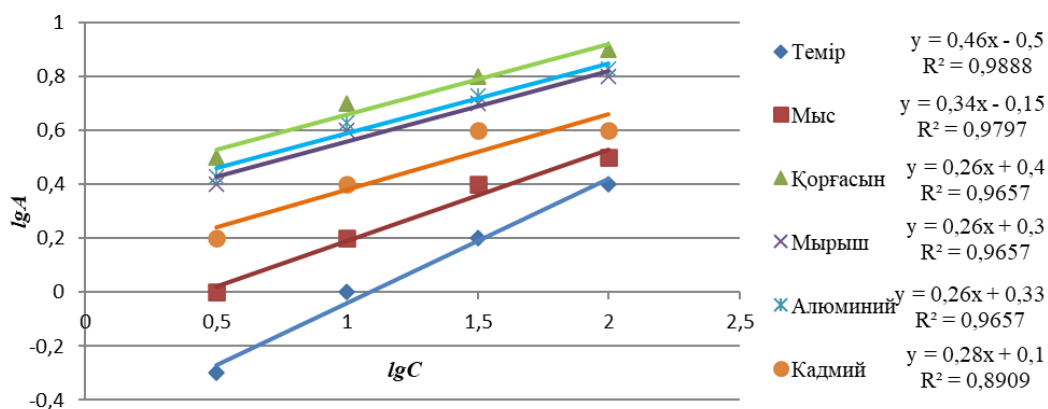
C – адсорбтивтің тепе-теңдік шоғыры, мг/л.

Ленгмюр және Фрейндлих теңдеулерінің сызықтық формаларының координаталарында тұрғызылған перлиттегі және вермикулиттегі мұнай өнімдері мен ауыр металдардың сорбциялық изотермалары 9 – 16 суреттерде келтірілген.

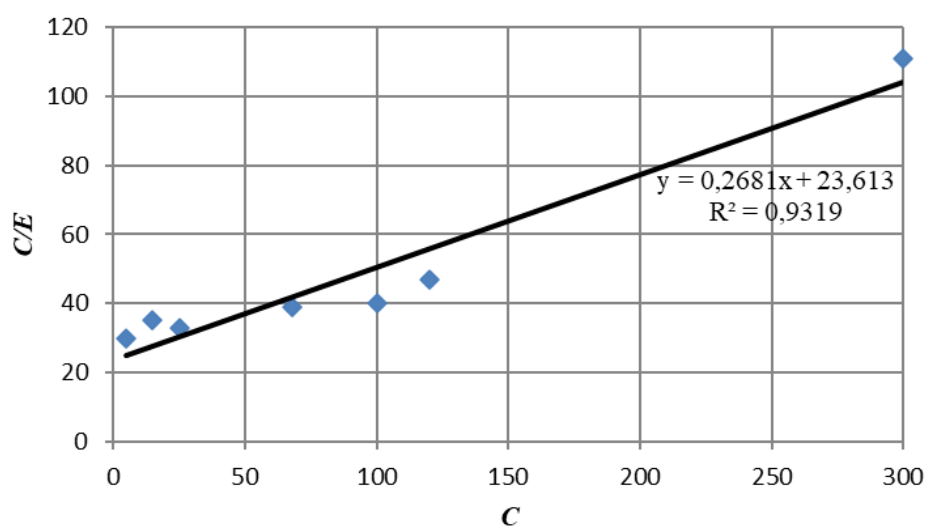
Алынған сорбциялық изотермалар бойынша анықталған Ленгмюр және Фрейндлих теңдеулеріндегі коэффициенттердің мәндері 4 және 5 кестелерде келтірілген.



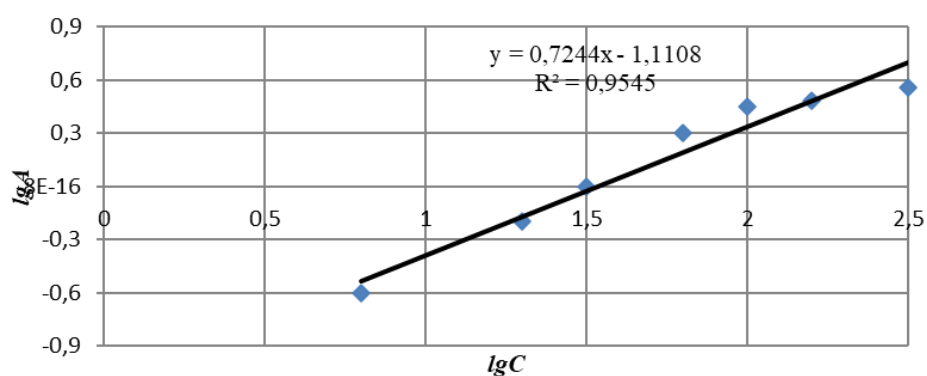
9-сурет – Ленгмюр теңдеуінің координаталарында перлиттегі ауыр металдардың сорбциялық изотермасы



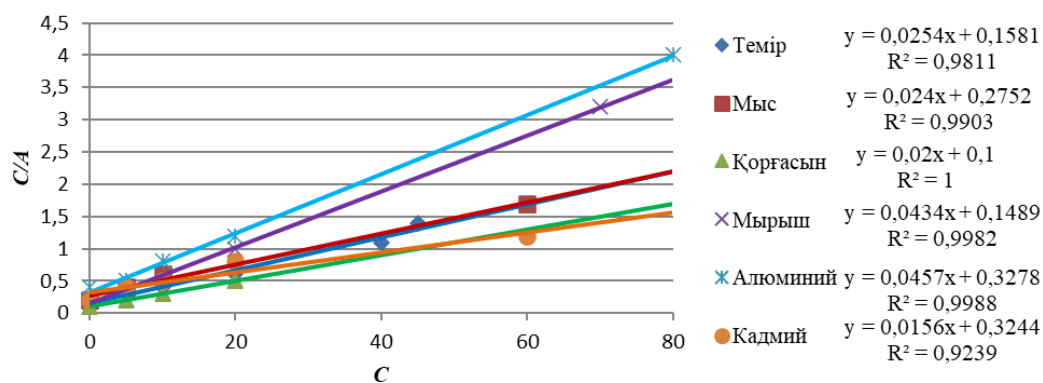
10-сурет – Фрейндлих теңдеуінің координаталарында перлиттегі ауыр металдардың сорбциялық изотермасы



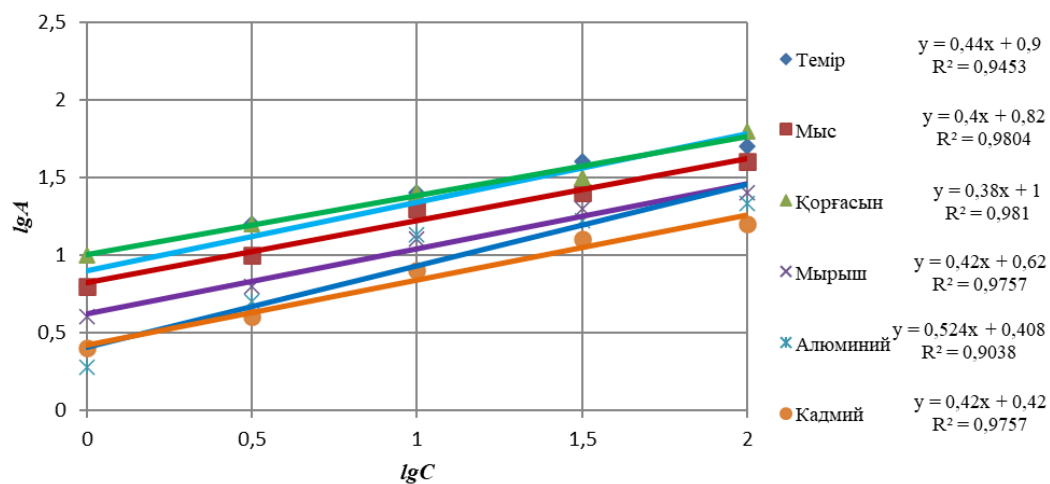
11-сурет – Ленгмюр теңдеуінің координаталарында перлиттегі мұнай өнімдерінің сорбциялық изотермасы



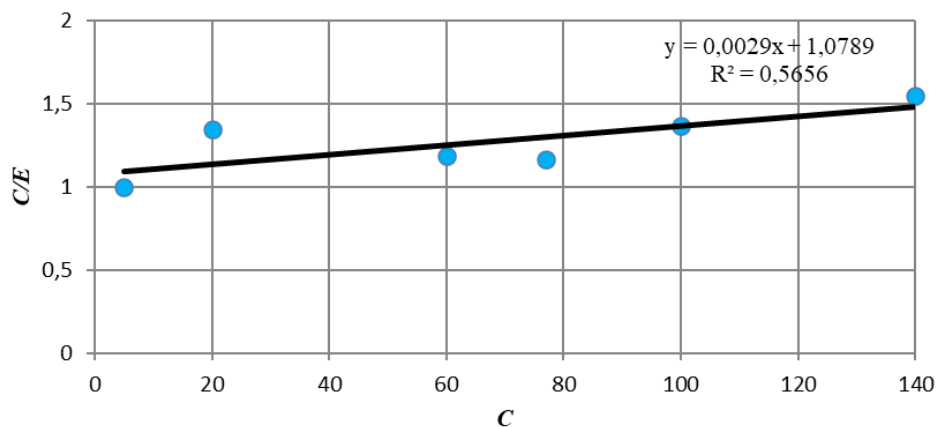
12-сурет – Фрейндлих теңдеуінің координаталарында перлиттегі мұнай өнімдерінің сорбциялық изотермасы



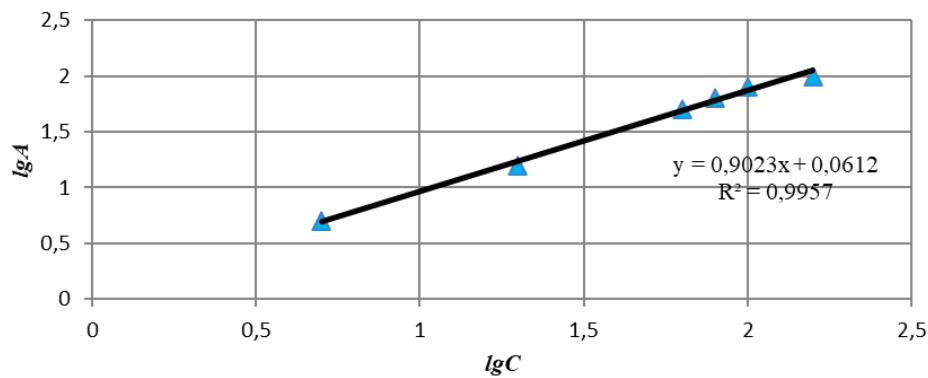
13-сурет – Ленгмюр теңдеуінің координаталарында вермикулиттегі ауыр металдардың сорбциялық изотермасы



14-сурет – Фрейндлих тендеуінің координаталарында вермикулиттегі ауыр металдардың сорбциялық изотермасы



15-сурет – Ленгмюр тендеуінің координаталарында вермикулиттегі мұнай өнімдерінің сорбциялық изотермасы



16-сурет – Фрейндлих тендеуінің координаталарында вермикулиттегі мұнай өнімдерінің сорбциялық изотермасы

4-кесте – Перлитпен мұнай өнімдері мен ауыр металдарды сорбциялау кезіндегі Ленгмюр және Фрейндлих теңдеулеріндегі коэффициенттердің мәндері

Ластаушы заттар	Мұнай өнімдері	Қорғасын	Мыс	Мырыш	Темір	Алюминий	Кадмий
Ленгмюр моделі							
A_{∞}	3,77	8,89	3,17	6,07	3,21	6,19	13,68
K_L	0,01	0,11	0,13	0,20	0,07	0,29	0,18
Фрейндлих моделі							
β	0,09	1,94	0,78	2,06	0,27	2,39	1,67
n	1,37	3,02	3,14	3,86	1,79	4,25	3,52

5-кесте – Вермикулитпен мұнай өнімдері мен ауыр металдарды сорбциялау кезіндегі Ленгмюр және Фрейндлих теңдеулеріндегі коэффициенттердің мәндері

Ластаушы заттар	Мұнай өнімдері	Қорғасын	Мыс	Мырыш	Темір	Алюминий	Кадмий
Ленгмюр моделі							
A_{∞}	377,14	47,11	39,67	25,84	43,02	23,07	21,03
K_L	0,01	0,17	0,14	0,16	0,12	0,11	0,09
Фрейндлих моделі							
β	0,91	4,87	6,51	4,81	6,37	2,93	1,96
n	1,06	2,28	2,15	2,16	1,89	1,90	1,76

Қорытынды

Алынған заңдылықтармен перлит және вермикулиттің ауыр металдар мен мұнай өнімдерін сорбциялау қабілетін көрсететіні анықталды. Бұл жағдайда вермикулиттің барлық зерттелудегі ластаушы заттарға қатысты сорбциялық сыйымдылығы перлиттен жоғары екені орнатылды.

Перлит және вермикулитте ауыр металдар мен мұнай өнімдерінің сорбциялық изотермалары және кинетикалық қисықтары тұрғызылды. Тәжірибелік мәліметтер Ленгмюр және Фрейндлих теңдеулері шеңберінде аппроксимацияланды. Аталған теңдеулердің сызықтық формаларын қолдана отырып, перлит және вермикулиттің сорбциялау заңдылықтары орнатылды.

Әдебиеттер

1. Singh, R., Gautam, N., Mishra, A., Gupta, R. (2011) Heavy metals and living systems: an overview, Indian J. Pharm. 43 (3), 246, <https://doi.org/10.4103/0253-7613.81505>.
2. Krishnan, C.R., Santhanam, M., Kumar, M., Rangarajan, M. (2022) Iron oxide-modified pervious concrete filter for lead removal from wastewater, Environ. Technol. Innov. 28, 102681, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102681>
3. Teymouri, E., Mousavi, S.F., Karami, H., Farzin, S., Kheirabad, M.H. (2020) Municipal wastewater pretreatment using porous concrete containing fine-grained mineral adsorbents, J. Water Process Eng. 36, 101346, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101346>
4. Zhang, L., Liu, X., Zhang, M., Wang, T., Tang, H., Jia, Y. (2023) The effect of pH/PAC on the coagulation of anionic surfactant wastewater generated in the cosmetic production, J. Environ. Chem. Eng. 11 (2), 109312, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109312>
5. Liu, R., Chi, L., Wang, X., Sui, Y., Wang, Y., Arandiyana, H. (2018) Review of metal (hydr) oxide and other adsorptive materials for phosphate removal from water, J. Environ. Chem. Eng. 6 (4), 5269–5286, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.08.008>
6. Öztürk, N., Bektas, T.E. (2004) Nitrate removal from aqueous solution by adsorption onto various materials, J. Hazard. Mater. 112 (1–2), 155–162, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.05.001>
7. Mahmudov, R., Huang, C.P. (2010) Perchlorate removal by activated carbon adsorption, Sep. Purif. Technol. 70 (3), 329–337 <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2009.10.016>

8. He, Q., Zhao, H., Teng, Z., Wang, Y., Li, M., Hoffmann, M.R. (2022) Phosphate removal and recovery by lanthanum-based adsorbents: a review for current advances, *Chemosphere* 303, 134987, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134987>
9. Gómez-Hortigüela, L., Pérez-Pariente, J., García, R., Chebude, Y., Díaz, I. (2013) Natural zeolites from Ethiopia for elimination of fluoride from drinking water, *Sep. Purif. Technol.* 120, 224–229, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.10.006>
10. van Dijk, J., Dekker, S.C., Kools, S.A., Van Wezel, A.P. (2023) European-wide spatial analysis of sewage treatment plants and the possible benefits to nature of advanced treatment to reduce pharmaceutical emissions, *Water Res.* 241, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120157>
11. Taboada-Santos, A., Rivadulla, E., Paredes, L., Carballa, M., Romalde, J., Lema, J.M. (2020) Comprehensive comparison of chemically enhanced primary treatment and high-rate activated sludge in novel wastewater treatment plant configuration, *Water Res.* 169, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115258>
12. Maizel, A.C., Remucal, C.K. (2017) The effect of advanced secondary municipal wastewater treatment on the molecular composition of dissolved organic matter, *Water Res.* 122, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.05.055>
13. Moretto, G. Russo, I., Bolzonella, D., Pavan, P., Majone, M., Valentino, F. (2020) An urban biorefinery for food waste and biological sludge conversion into polyhydroxyalkanoates and biogas, *Water Res.* 170, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115371>
14. Matassa, S., Boon, N., Verstraete, W. (2015) Resource recovery from used water: The manufacturing abilities of hydrogen-oxidizing bacteria, *Water Res.* 68, 467–478, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.10.028>
15. Romero-Güiza, M.S., Flotats, X., Asiain-Mira, R., Palatsi, J. (2022) Enhancement of sewage sludge thickening and energy self-sufficiency with advanced process control tools in a full-scale wastewater treatment plant, *Water Res.* 222, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118924>
16. Md Lutfor Rahmana, Siti Aisyah Shamriha, Nurul Affah Azlyzana, Mohd Sani Sarjadia, Sazmal Effendi Arsada, Shaheen M. Sarkarb, Sandeep Kumarc. Removal of heavy metal ions from wastewater using modified cornstalk cellulose-derived poly(amidoxime) ligand. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications* 9 (2025) 100633, <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2024.100633>
17. Singh, S., Wasewar, K.L., Kansal, S.K. (2020) Low-cost adsorbents for removal of inorganic impurities from wastewater, *Inorg. Pollut. Water*, 173–203, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818965-8.00010-X>
18. Guha, P., Singh, S.P., Choudhury, S., Kumar, A. (2024) Enhancing Precision in Gastric Cancer Detection: A Synergistic Approach with Convolutional Neural Networks and Metrological Integration. 2024 4th URSI Atlantic Radio Science Meeting, AT-RASC 2024.
19. Pasha, T.N., Farooq, M.U., Khattak, F.M., Jabbar, M.A., Khan, A.D. (2007) Effectiveness of sodium bentonite and two commercial products as aflatoxin adsorbents in diets for broiler chickens, *Anim. Feed Sci. Technol.* 132 (1-2), 103–110, <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.03.014>
20. Collins, K.A., Hunt, W.F., Hathaway, J.M. (2010) Side-by-side comparison of nitrogen species removal for four types of permeable pavement and standard asphalt in eastern North Carolina, *J. Hydrol. Eng.* 15 (6), 512–521, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.000013](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.000013)
21. Meng, Q., Chen, H., Lin, J., Lin, Z., Sun, Z. (2017) A synthesized from alkaline assisted pre-activated halloysite for efficient heavy metal removal in polluted river water and industrial wastewater, *J. Environ. Sci.* 56, 254–262, <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.10.010>
22. Teymouri, E., Mousavi, S.F., Karami, H., Farzin, S., Kheirabad, M.H. (2020) Reducing urban runoff pollution using porous concrete containing mineral adsorbents, *J. Environ. Treat. Tech.* 8 (1), 429–436.
23. Teymouri, E., Wong, K.S., Tan, Y.Y., Pauzi, N.N. Post-treatment of municipal wastewater using zeolite pervious concrete. *Journal of Water Process Engineering*, (2024), 68, 106408.
24. PND F 14.1:2.116-97 Kolichestvennyj himicheskij analiz vod. Metodika vypolneniya izmerenij massovoj koncentracii nefteproduktov v probah prirodnih i stochnyh vod metodom kolonochnoj hromatografii s gravimetricheskim okonchaniem. –M: 1997. -18 p.
25. Chakchir B. A., Alekseeva G. M. Fotometricheskie metody analiza: Metodicheskie ukazaniya. – SPb; Izd-vo SPHFA 2002.- 44 p.

Авторлар туралы мәлімет:

Алиева Багила Бердуақасовна – КЕАҚ «М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» «Тіршілік қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау» кафедрасының PhD докторанты (Шымкент, Қазақстан, электрондық пошта: alieva.bagila@mail.ru)

Кочеров Еркебулан Нургалиевич – Техника ғылымдарының кандидаты, КЕАҚ М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» «Тіршілік қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау» кафедрасының доценті (Шымкент, Қазақстан, электрондық пошта: Erkebulan083@mail.ru)

Раматуллаева Ләззат Имамадиновна – Техника ғылымдарының кандидаты, КЕАҚ М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті», «Тіршілік қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Шымкент, Қазақстан, электрондық пошта: ramatullaeva_l@mail.ru)

Құлымбет Қанат Қайратұлы (корреспондент-автор) – PhD, Ө.О. Оспанов атындағы Қазақ топырақтану және агрохимия ғылыми-зерттеу институты, Топырақ экологиясы бөлімінің ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, электрондық пошта: qulymbet.qanat@gmail.com)

Information about authors:

Alieva Bagila Berduakasovna – PhD student of the Department of “Life Safety and Environmental Protection” of the M. Auezov South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan, e-mail: alieva.bagila@mail.ru)

Kocherov Yerkebulan Nurgalievich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of “Life Safety and Environmental Protection” of the M. Auezov South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan, e-mail: Erkebulan083@mail.ru)

Ramatullayeva Lyazzat Imamadinovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of “Life Safety and Environmental Protection” of the M. Auezov South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan, e-mail: ramatullaeva_l@mail.ru)

Kulymbet Kanat Kairatuly (corresponding author) – PhD, Researcher at the Department of soil ecology, U.U. Usmanov Kazakh Research Institute of Soil Science and Agrochemistry, (Almaty, Kazakhstan, email: qulymbet.qanat@gmail.com)

*Келін түсті: 23 қазан 2024 жыл
Қабылданды: 10 наурыз 2025 жыл*