АННОТАЦИЯ

философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін
"8D07113- Химиядағы наноматериалдар және нанотехнологиялар"
білім беру бағдарламасы бойынша
Бексейтова Қалампыр Сунақбайқызының
"Суды микропластиктерден және органикалық ластаушы заттардан тазартуға арналған сүзгі-сорбциялық наноқұрылымдық жүйенің технологиясын әзірлеу және зерттеу"

Жұмыстың жалпы сипаттамасы: Бұл диссертациялық жұмыс судың жаңа ластаушы көздері – микропластиктер мен органикалық ластаушы заттарды ыдырату және жою үшін экологиялық тиімді суық плазма технологиясын қолдану мүмкіндігін зерттеуге арналған. Сонымен қатар, белсендендірілген көмір негізіндегі композиттік материалдарды адсорбент ретінде пайдалану арқылы судың тазарту тиімділігін арттыру және жоғары дәрежелі тазартуға қол жеткізу бағаланады.

Жұмыстың өзектілігі: Қазіргі таңда микропластик пен тұрақты органикалық ластағыштардың (ТОЛ) қоршаған ортаға тигізетін кері әсері жаһандық экологиялық мәселелердің бірі болып отыр. Әлемдік ғылыми қауымдастық су экожүйелеріндегі микропластиктердің таралуы мен оның тірі организмдерге және экожүйелік процестерге тигізетін әсерін кеңінен зерттеуде. 2021 жылғы БҰҰ-ның қоршаған орта жөніндегі баяндамасында жыл сайын мұхиттарға 9–14 миллион тонна пластик қалдықтары түсетіндігі және бұл көрсеткіш 2040 жылға қарай үш есеге артуы мүмкін екендігі атап өтілген. Микропластиктердің диаметрі 5 мм-ден аспайтын бөлшектері табиғи ортада ыдырамай, су ресурстары арқылы кең таралып, олардың экологиялық және адам денсаулығына тигізетін әсері алаңдаушылық тудырады.

Соңғы зерттеулер көрсеткендей, микропластиктер адам ағзасына су, ауа және тамақ арқылы еніп, ұзақ мерзімді токсикологиялық әсер етуі мүмкін. Ғалымдардың мәліметтері бойынша, әрбір адам аптасына орта есеппен 5 грамм микропластик тұтынады, бұл шамамен несие картасының салмағына тең. Бұл деректер микропластиктердің азық-түлік тізбегіне енуінің ауқымдылығын және оның денсаулыққа тигізетін әлеуетті қаупін көрсетеді.

Қазіргі қолданыстағы әдістер (коагуляция, флотация, адсорбция, фотокатализ, биологиялық ыдырату) көбінесе жоғары энергетикалық шығындарды талап етеді немесе жанама қалдықтардың түзілуіне әкеледі. Осыған байланысты, плазмохимиялық әдістер мен адсорбция технологияларын біріктіретін тиімді, экологиялық таза жүйелерді әзірлеу өзекті мәселе болып табылады.

Суық плазма технологиясы (cold plasma, CP) соңғы жылдары су тазарту процестерінде перспективалы әдіс ретінде танылуда. Бұл әдіс суда радикалдар мен озон тәрізді жоғары реактивті қосылыстарды түзе отырып, органикалық ластағыштарды толық минерализациялауға қабілетті.

Жаһандық деңгейде суды тазарту мәселелерін шешу қажеттілігі:

• Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының (ДДҰ) деректері бойынша, әлем халқының 30%-ы таза ауыз суға қол жеткізе алмайды.

• ЮНЕСКО-ның 2022 жылғы баяндамасы бойынша, дамушы елдерде су сапасының төмендеуі өнеркәсіптік және ауыл шаруашылығы ластануының нәтижесінде күшейіп отыр.

• Еуропалық химиялық агенттік (ECHA) 2021 жылы микропластиктер мен олардың туындыларының қоршаған ортада жүздеген жылдар бойы сақталатынын және оларды толық жою қажеттігін атап өтті.

Осылайша, суды тазарту технологияларын жетілдіру және заманауи әдістерді қолдану жаһандық экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етуге ықпал етеді. Бұл зерттеу суық плазма мен активтелген көмірді біріктіретін инновациялық әдісті ұсына отырып, суды микропластиктер мен тұрақты органикалық ластағыштардан тиімді тазартуға бағытталған.

Жұмыстың мақсаты: микропластикті ыдырату және тұрақты органикалық қосылыстарды жою үшін суды тазартудың тиімді сүзгі-сорбциялық наноқұрылымды жүйесін әзірлеу және зерттеу. Бұл жүйе суық плазманы, сондай-ақ ыдырау өнімдерін адсорбциялау үшін белсендірілген көмірді біріктіріп қолдану арқылы экологиялық қауіпсіз және жоғары тиімді су тазарту технологиясын жасауға бағытталған.

Диссертациялық жұмыстың міндеттері:

• Суық плазманың әсерінен микропластиктердің нанопластиктерге дейін ыдырау процесін зерттеу. Өңдеу параметрлерінің ыдырау деңгейіне әсерін анықтау, бөлшектердің өлшемдері мен морфологиясының өзгерістерін талдау.

• Плазма нәтижесінде түзілген белсенді бөлшектер әсерінен тотығу нәтижесінде жүретін құрылымдық өзгеріс механизмін анықтау. Микропластиктердің деградациясының кинетикасын бағалау.

•Микропластиктердің ыдырау өнімдерін толығымен жою үшін белсендірілген көмірдің адсорбциялық қасиеттерін бағалау. Кеуекті құрылымның өзгерістерін, сорбциялық қабілетін және сорбция механизмін зерттеу.

•Судағы органикалық ластаушы заттарды суық плазма технологиясымен тазалау тиімділігін зерттеу. Деградация заңдылықтарын анықтау және оның химиялық өзгеру механизімін сипаттау.

Қорғауға арналған негізгі тұжырымдар:

Суық плазмамен өңдеу микропластиктердің полимерлік тізбектерін қарқынды фрагментациялап, оларды нано өлшемдерге дейін ыдыратады. Меламин шайыры негізіндегі микропластик бөлшектерінің мөлшері 2004±93 нм-ден 68±5,7 нм-ге дейін, полистирол бөлшектері 1030±106 нм-ден 41,6±1,01 нм-ге дейін ыдырады.

Микропластиктердің ыдырау механизмі — C=C және C–H байланыстарының үзілуі, плазма нәтижесінде түзілген белсенді бөлшектер әсерінен жүретін тотығу деструкциясынан карбонил топтары (C=O) пайда болады. 1мл ерітіндідегі микропластиктердің концентрациясы 26630-дан(бөлшек саны) 78160-ге көбейіп ұсақ нанобөлшектерге дейін бөлшектенеді.

Наноқұрылымды белсендірілген көмірдің меншікті бет ауданы: грек жаңғағынан алынған белсендірілген көмірде 28,1%-ға ал микрокеуектік көлемінің 31,3%-ға азаюына, ал кокос қабығынан алынған белсендірілген көмірде 34,9%, ал микрокеуектік көлемінің 20,8%-ға азаюы нанотүтіктердің бетінде ыдырау өнімдері нанопластиктердің жиналу есебінен болды. Термогравиметриялық талдау 100–400 °C аралығындағы белсендірілген көмір массасының жоғалуы адсорбцияланған органикалық қосылыстардың термиялық бұзылуының нәтижесінде болды.

Суық плазма тұрақты органикалық бояғыш-метилен көгін жоғарғы тиімділікпен - pH 4 жағдайында 25 минут ішінде 100% ыдыратады, ал pH 7 және pH 10 жағдайында бұл процесс 30–35 минутта ыдырады.

Зерттеу объектісі: суық плазма, микропластиктер және тұрақты органикалық ластағыштар, активтелген көмір.

Зерттеу мәні: суық плазма әсерінен микропластиктердің және органикалық ластағыштардың (метилен көгі) деструкция механизмдері, олардың ыдырау өнімдерінің сорбциялану процестері.

Зерттеу әдістемесі: Диссертациялық жұмысты орындау кезінде Трансмиссиялық электронды микроскопия, Hitachi ht7800 крио-tem, Дзета-потенциалы мен бөлшектердің мөлшерін талдау, Malvern Nano Series (Malvern Instruments Limited, Malvern, United Kingdom), Массаның төмендеуі, Сканерлеуші электронды микроскопия, Hitachi s-4800 (Жапония), Бэт (Brunauer–Emmett–Teller) Micromeritics Gemini VII (Micromeritics Instrument Corp, АҚШ) сорбциялық анализаторының көмегімен, ИҚ-Фурье спектроскопиясы (FTIR) Nicolet is50 спектрометрімен талданды (Thermo Fisher Scientific, АҚШ).

Зерттеу жұмысының ғылыми жаңалығы:

Алғаш рет микропластиктерді ыдырату үшін суық плазма технологиясы сыналып, әдістің микропластиктерді наноөлшемге дейін тиімді ыдыратыны анықталды.

Наноқұрылымды белсендірілген көмірдің микропластиктердің ыдырау өнімдерін адсорбциялау нәтижесінде меншікті бет ауданы мен микрокеуектік көлемінің азаюы, оның нанопластик фрагменттерін тиімді сүзу қабілетін көрсетіп, адсорбциялық механизмінің тиімділігін дәлелдеді.

Суық плазманың ораникалық ластағыштарды плазмохимиялық ыдырату үдерісінің жоғары тиімділігі анықталды.

Суық плазма мен сорбция әдістерінің комбинациясы микропластиктерді толық ыдырату және олардың өнімдерін тиімді жоюдың жаңа экологиялық таза технологиясы ретінде ұсынылды.

Қолданыс аймағы: сумен жабдықтау жүйелері мен айналым жүйелерін тазалау, тұрмыстық сарқынды суларды тазалау

Жұмыстың теориялық және практикалық маңыздылығы. Бұл зерттеу суық плазманың әсерінен микропластиктердің және тұрақты органикалық ластағыштардың (метилен көгі) деструкция механизмдерін ғылыми тұрғыдан түсіндіруге ықпал етеді. Зерттеу нәтижелері суық плазма арқылы микропластиктердің құрылымдық және химиялық өзгерістерінің

ерекшеліктерін, олардың ыдырау өнімдерінің пайда болу заңдылықтарын, сондай-ақ плазмалық өңдеудің негізгі параметрлерінің деструкция тиімділігіне әсерін теориялық негіздеуге мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері су тазарту технологияларын жетілдіру мақсатында суық плазма мен активтелген көмірді үйлестіретін кешенді жүйені әзірлеуге негіз болады. Бұл технология микропластиктердің және тұрақты органикалық ластағыштардың тиімді жойылуын қамтамасыз етіп, олардың қоршаған ортаға әсерін барынша азайтуға мүмкіндік береді.

Нәтижелердің сенімділігі мен негізділігі ең алдымен бақылау деректеріне сәйкес келеді.

Диссертациялық жұмыстың нәтижелерінің сенімділігі мен негізділігі импактфакторы жоғары шет ел журналдарында, Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғарғы білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті (ҒЖБМ ҒЖБССҚК) ұсынған басылымдарда және халықаралық ғылыми конференциялар материалдарында жарияланымдардың бар болуымен расталады.

Автордың жеке үлесі: Автор диссертациялық жұмыстың барлық кезеңдеріндегі зерттеу жұмысына: сандық есептеулерге және зерттеу әдісін таңдап алу барысына түгелдей қатысты. Есептерді және нәтижелерді талқылау жетекшілермен бірлесіп жүргізілді.

Диссертациялық жұмыстың аппробациясы:

ҚР Білім және ғылым министрлігінің Білім және ғылым сапасын қамтамасыз ету комитеті (БжҒСҚК) ұсынған ғылыми басылымда

- **Бексейтова К.С.,** Байменов А.Ж., Жантикеев У.Е., Саулахнаулы Е., Есин В.А., Михаловкий С.В., Азат С., Загрязнение пресной воды микропластиком: источники, последствия и стратегии смягчения (обзор литературы) // *Вестник НЯЦ РК.* – 2024. – Вып. 1(97). – DOI: 10.52676/1729-7885-2024-1-34-44. – ISSN 1729-7516. – СС 34-43.
- Сеймуханова Л.Н., Жантикеев У.Е., **Бексейтова К.С.,** Кунарбекова М.С., Рахимова Б,У., Кудайбергенов К.К., Азат С. Получение наноцеллюлозы для очистки воды от красителей // *Вестник НЯЦ РК.* – 2024. – Вып. 4 (декабрь). – DOI: 10.52676/1729-7885-2024-4-181-190. – 10 с.
- Сапаргали И.О., **Бексейтова К.С.,** Жантикеев У.Е., Нургалиев Н.Н., Азат С. Комплексный метод очистки микропластика в воде с использованием сорбентов // *Шәкәрім университетінің хабаршысы. Технические науки = Bulletin of Shakarim University. Technical Sciences*. — 2025. — № 1(17). — С. 51–57. — DOI: 10.53360/2788-7995-2025-1(17)-51. — ISSN 2788-7995 (Print),

Scopus және Web of science базаларына кіретін нөльдік емес импакт– факторы бар басылымдар

- Sailaukhanuly Y., Popova A., Mansur T., **Bexeitova K.,** Toshtay K., Tovassarov A., Tasmagambetova A. Preliminary Study and Assessment of Drinking Water from Almaty, Kazakhstan // Eurasian Chemico-Technological Journal. – 2022. – DOI: 10.18321/ectj1478. – ISSN 1562-3920. – JIF 0.655. – Q4. – CiteScore 1.4. – General Chemical Engineering – 29%. – 10 с.
- **Bexeitova K.,** Baimenov A., Varol E.A., Kudaibergenov K., Zhantikeyev

U., Sailaukhanuly Y., Toshtay K., Tauanov Z., Azat S., Berndtsson R. Microplastics in freshwater systems: A review of classification, sources, and environmental impacts // Chemical Engineering Journal Advances. – 2024. – DOI: 10.1016/j.ceja.2024.100649. – JIF 5.5. – Q1. – CiteScore 8.3. – General Chemical Engineering – 83%. – 17 с.

- **Bexeitova K.,** Zhantikeyev U., Yeszhan Y., Sapargali I., Kudaibergenov K., Toshtay K., Mikhalovsky S., Amrousse R., Berndtsson R., Azat S. Evaluating Microplastic Detection Techniques in Human-Impacted Water Systems: A Mini-Review // ES Energy and Environment. – 2024. – Том 25. – DOI: 10.30919/esee1233. – CiteScore 10.7. – Environmental Engineering – 89%. – 15 с.

- Kunasheva Z., Kubasheva R., Kuzmina R., Utepkalieva G., Erzhanova N., Aituganova S., Kiisheva D., **Bexeitova K.** Physical and Chemical Features of The Thermolysis of Wastewater Sludge // Engineered Science. – 2023. – ISSN: 2576-988X (Print), 2576-9898 (Online). – Q1, 98%. – DOI: 10.30919/es991. – 9 с.

Патент:

Азат С., Жантикеев У.Е., **Бексейтова К.С.,** Тауанов Ж.К., Тоштай К., Сайлауханулы Е., Кудайбергенов К.К. Способ получения сорбента для очистки воды от микропластика // Патент на полезную модель №8598. – 03.11.2023. – 6 с.

Жарияланымдар: Диссертациялық жұмыстың нәтижелері 13 баспа жұмысында жарияланды, оның ішінде 5 мақала Scopus деректер базасына енгізілген, 3 жарияланым Қазақстан Республикасы Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған басылымдарда, 4 халықаралық ғылыми жинақтарда, симпозиумдар мен шетелдік конференцияларда жарияланған. Пайдалы модельге 1 патент алынды.

Ғылыми-зерттеу жұмыстарымен және мемлекеттік бағдарламалармен байланысы:

№ AP14869499 «Тұрақты полимер мен органикалық ластаушы заттардың: микро- нанобөлшектерден молекулаларға дейін ыдырауы үшін су тазалауға плазмалық технологияны қолдану» - 2022–2024 ж.ж.

Жұмыстың көлемі мен құрылымы: Диссертациялық жұмыс 115 бетте берілген және 37 сурет пен 17 кестеден тұрады. Жұмыс кіріспеден, әдебиеттерге шолудан, зерттеу объектілері мен әдістерінің сипаттамасынан, нәтижелер мен оларды талқылаудан, қорытындыдан және 144 атаудағы әдебиеттер тізімінен тұрады.