ДӘРІС № 14. СУ МЕН АУАНЫ ТАЗАРТУДА НАНОҚҰРЫЛЫМДЫ КӨМІРТЕКТІ СОРБЕНТТЕРДІ ҚОЛДАНУ

Дәрістің мақсаты: наноқұрылымды көміртекті сорбенттердің түрлерін, ластаушы заттарды ұстау механизмдерін, су мен ауаны тазартудағы қолданылуын және технологиялық шектеулерін түсіндіру.

1. Наноқұрылымды көміртекті сорбенттер туралы түсінік

Сорбент – газдан немесе сұйықтықтан белгілі бір затты өз бетіне не көлеміне жинақтай алатын материал. Адсорбция кезінде ластаушы бөлшектер сорбенттің бетіне жиналады; бұл құбылыс абсорбциядан, яғни заттың материал көлеміне сіңуінен, ерекшеленеді. Көміртекті сорбенттердің тиімділігі кеуек жүйесіне, меншікті бетіне, беттік функционалдық топтарына және ластағыштың табиғатына тәуелді.

Наноқұрылымды көміртекке көміртекті нанотүтікшелер (CNT), графен және графен оксиді (GO), нанокеуекті көміртек материалдары, сондай-ақ олардың композиттері жатады. Белсендірілген көмір – кең таралған кеуекті сорбент; оның құрылымында нанометрлік кеуектер болуы мүмкін, бірақ ол міндетті түрде жеке нанобөлшектерден тұрады дегенді білдірмейді.



1-сурет. Көміртекті сорбенттердің құрылымдық ерекшеліктері (сызбалық түрде)

2. Құрылысы мен негізгі қасиеттері

Микрокеуектердің ені 2 нм-ден кіші; мезокеуектер – 2–50 нм, ал макрокеуектер – 50 нм-ден үлкен. Микрокеуектер молекулаларды ұстауға қолайлы, ал ірілеу кеуектер олардың ішкі бетке тасымалдануын жеңілдетеді. Үлкен меншікті бет пайдалы болғанымен, сорбция сыйымдылығы тек осы көрсеткішпен анықталмайды.

Графен – көміртек атомдарының бір қабатты екіөлшемді торы. Графен оксидіндегі –OH, –COOH және эпоксидтік топтар судағы металл иондарымен әрекеттесуге мүмкіндік береді. Нанотүтікшелердің сыртқы беті мен түтікшеаралық кеңістігі органикалық молекулаларды адсорбциялай алады. Материалдың беті химиялық өңдеу арқылы өзгертілсе, оның таңдамалылығы артуы мүмкін.

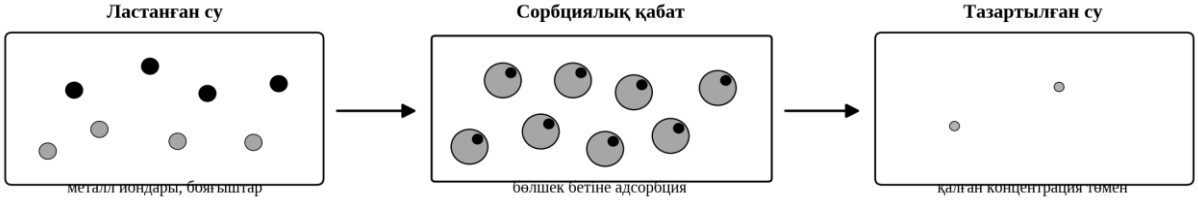
Көміртекті сорбенттер биомасса, көмір немесе полимер прекурсорларын көмірлендіру және белсендіру арқылы алынуы мүмкін. Өңдеу кеуек өлшемдері мен беттік топтардың құрамын өзгертеді. Оларды сипаттауда меншікті бетті анықтау, инфрақызыл спектроскопия және электрондық микроскопия әдістері қолданылады.

3. Адсорбцияның негізгі механизмдері

Физикалық адсорбция ван-дер-Ваальс күштері мен кеуектердің толуына негізделеді. Химиялық адсорбцияда немесе беткі кешен түзілуінде ластағыш беттік топтармен берігірек байланысады. Сонымен қатар π–π әрекеттесу, сутектік байланыс және электростатикалық тартылу байқалады. Металл иондары үшін ерітіндінің pH мәні мен беттік заряд ерекше маңызды.

4. Нанокөміртекті сорбенттерді суды тазартуда қолдану

Су құрамында ауыр металл иондары (Pb^{2+}, Cd^{2+}, Cu^{2+}), бояғыштар, фенолдар, пестицидтер және фармацевтикалық қосылыстар кездесуі мүмкін. Сорбциялық тазартуда су көміртекті материалмен жанасады да, еріген ластағыштардың бір бөлігі оның бетіне өтеді. Бұл әдіс алдын ала механикалық тазарту және басқа физика-химиялық әдістермен бірге қолданылғанда тиімді болуы мүмкін.



2-сурет. Ластағыштардың көміртекті сорбент қабатында ұсталу сызбасы

5. Сорбентті таңдау және процесс факторлары

Белсендірілген көмір органикалық ластағыштарды кетіруге қолайлы және түйіршік не ұнтақ түрінде кең қолданылады. Графен оксиді мен функционалданған нанотүтікшелер кейбір металл иондарын байланыстыруға перспективалы, алайда оларды өндірістік су ағынынан толық бөліп алу қажет. Сондықтан нанокөміртекті материалдарды мембрана, полимер немесе магниттік тасымалдағышқа бекітілген композит түрінде қолдану қарастырылады.

Тазарту нәтижесіне ерітіндінің pH мәні, температура, жанасу уақыты, бастапқы концентрация, сорбент мөлшері, иондық күш және бәсекелес иондар әсер етеді. Мысалы, pH өзгергенде металл ионының ерітіндідегі түрі мен сорбенттің беткі заряды өзгереді. Өте жоғары pH жағдайында металл гидроксиді тұнбаға түсуі мүмкін; мұны сорбциямен шатастыруға болмайды.

Зертханалық тәжірибеде сорбентті ерітіндімен араластырып, белгілі уақыт өткен соң тұндыру немесе сүзу арқылы бөледі (периодтық режим). Өндірісте су түйіршіктелген сорбент салынған колонна арқылы үздіксіз өткізілуі мүмкін. Мұнда ағын жылдамдығы, қабат биіктігі және жұмыс ұзақтығы ескеріледі; зертханалық сыйымдылық колоннаның нақты жұмыс мерзіміне тікелей тең емес.

6. Тиімділікті есептеу

Ластағышты кетіру дәрежесі: $R = [(C_0 - C_e) / C_0] \times 100\ \%$. Тепе-теңдіктегі сорбция сыйымдылығы: $q_e = [(C_0 - C_e) \times V] / m$. Мұнда C_0 және C_e – бастапқы және соңғы концентрациялар (мг/л), V – ерітінді көлемі (л), m – құрғақ сорбент массасы (г), q_e – мг/г.

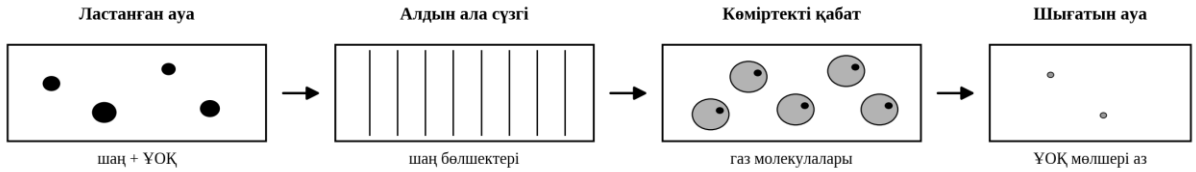
Есеп мысалы: 1,0 л суда ластағыштың бастапқы мөлшері 10 мг/л, тазартудан кейін 2 мг/л болды; 0,5 г сорбент қолданылды. Онда $R = 80\ \%$, ал $q_e = (10 - 2) \times 1,0 / 0,5 = 16$ мг/г. Бұл – есептік мысал, белгілі бір сорбентке тән тәжірибелік нәтиже емес.

7. Регенерация және қауіпсіздік

Қаныққан сорбентті десорбция, еріткішпен жуу немесе термиялық әдістер арқылы регенерациялау мүмкіндігі материал мен ластағышқа байланысты бағаланады. Қайта пайдалану кезінде сыйымдылықтың төмендеуі және көміртек бөлшектерінің суға өтуі бақыланады. Металл жинаған сорбент пен регенерациялық ерітінді қауіпті қалдық ретінде тиісті талапқа сай өңделуі тиіс.

8. Нанокөміртекті сорбенттерді ауаны тазартуда қолдану

Ауа тазартуда көміртекті сорбенттер негізінен ұшпа органикалық қосылыстарды (ҰОҚ: толуол, бензол буы және басқа органикалық булар), иіс тудыратын кейбір молекулаларды ұстау үшін пайдаланылады. Газ молекулалары кеуектерге диффузия арқылы өтіп, ішкі бетте адсорбцияланады. Белсендірілген көмір өндірістік газ ағындары мен желдету сүзгілерінде қолданылады; наноқұрылымды композиттер арнайы таңдамалы тазарту бағытында зерттелуде.



3-сурет. Ауа ағынындағы бөлшектер мен газдарды кезеңдеп ұстау сызбасы

Ауаны сүзудің екі міндетін ажырату қажет: шаң мен аэрозольдер көбіне механикалық талшықты сүзгіде ұсталады, ал ҰОҚ молекулалары көміртекті сорбциялық қабатта адсорбцияланады. CO_2 немесе NO_x сияқты газдарды тиімді ұстау үшін арнайы беттік модификация және жағдайлар қажет; кәдімгі көмір сүзгісі барлық газды бірдей жоймайды.

9. Жұмыс жағдайлары мен технологиялық шектеулер

Газ ағынының жылдамдығы артқанда жанасу уақыты азаяды. Ылғалдылық жоғары болса, су буы кейбір ластағыштармен адсорбциялық орындар үшін бәсекелесуі мүмкін. Сүзгі қаныққан соң ластағыштың шығу концентрациясы өседі: мұны «серпіліс» (breakthrough) деп атайды. Сондықтан өнеркәсіптік жүйеде сүзгі ауыстыру мерзімі шығатын газдағы ластағыш концентрациясын өлшеу арқылы анықталады.

Негізгі қиындықтар: наноматериалдың құны, түйіршіктеу немесе тасымалдағышқа бекіту қажеттілігі, ағынға кедергі, регенерация шығыны, ұзақ мерзімді тұрақтылық және нанобөлшектердің қоршаған ортаға таралу қаупі. Практикада сорбент таңдау кезінде оның тиімділігімен қатар қауіпсіздігі мен жалпы пайдалану құны есепке алынады.

10. Қорытынды және бақылау сұрақтары

Наноқұрылымды көміртекті сорбенттер судағы металдар мен органикалық заттарды, ал ауадағы көптеген органикалық буларды ұстай алатын перспективалы материалдар. Тазарту тиімділігі кеуек өлшеміне, беттік топтарға және жұмыс жағдайларына тәуелді. Өндірістік енгізудің маңызды шарттары – сорбентті оңай бөлу, регенерациялау және оның экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету.

Бақылау сұрақтары: 1) Адсорбция мен абсорбцияның айырмашылығы қандай? 2) Графен оксидіндегі функционалдық топтар не үшін қажет? 3) pH суды тазартуға қалай әсер етеді? 4) Ауа сүзгісіндегі «серпіліс» нені білдіреді?

Ұсынылатын әдебиеттер

1. Liu X. et al. Carbonaceous adsorbents in wastewater treatment. Science of the Total Environment, 2024, 955, 177106. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.177106.

2. Li G. et al. Research Progress in Graphene-Based Adsorbents for Wastewater Treatment. C, 2024, 10(3), 78. DOI: 10.3390/c10030078.

3. Yao X. et al. Water vapor and VOC adsorption on porous carbon. Frontiers of Environmental Science & Engineering, 2024, 18, 110. DOI: 10.1007/s11783-024-1870-x.