

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Биологический возраст и старение: возможности определения и пути коррекции: руководство. Кишкун А.А. 2008. - 976 с. - ISBN 978-5-9704-0786-8.
2. Issayeva S.M. Contemporary view at sarcopenia (literature review) / S.M. Issayeva, M.A. Bissembay // *Medicine*. - 2019. - V.3(201). - P.61-65.
3. С.Г. Абрамович, И.М. Михалевич, А.В. Щербакова, Н.А. Холмогоров. Способ определения биологического возраста человека // *Медицинский журнал*, 2014, № 1.-с.45-48.
4. Рахимжанова А.Р., Тнимова Г.Т., Курбанова Г.Д., Карабаева А.Б. Методология и методы исследования интегрального здоровья индивида. - Методическое пособие- практикум.- Павлодар, 2014.-66с.
5. Войтенко В.П. Биологический возраст. Наследственность и старение. Войтенко В.П., Полухов А.М., Барбарук Л.Г. и др. Войтенко В.П., Полухов А.М., Барбарук Л.Г. и др. // *Геронтология и гериатрия* / - Киев, 1984,- С. 5-15.

УДК 9.929

ПЕРОВСКИТТІҢ АШЫЛУ ТАРИХЫ

Нұрбаев Б.М., Institute of Physics and Technology, Satbayev University, Алматы, Қазақстан
Дмитриева Е.А., Institute of Physics and Technology, Satbayev University, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа

"Перовскит" термині бүгінде күн батареяларын дамытуға қызығушылық танытқандардың бәрінде естіледі. Бұл технология мамандарының металл галогенді перовскиттерге негізделген гибриді органикалық-бейорганикалық жартылай өткізгіштер тобына деген керемет қызығушылығына байланысты. Мұндай құрылғылардың тиімділігінің бұрын-соңды болмаған өсуі өткен онжылдықтағы ең маңызды ғылыми жетістіктердің бірі деп саналады. Егер 2007 жылы перовскитті күн батареяларының пайдалы әсер ету коэффициенті әдетте 3% - ға жетпесе, бүгінде күн энергиясы үшін бұл маңызды көрсеткіш 39% - дан асты [1]. Принтерде ерітінді композицияларынан белсенді қабаттарды басып шығару мүмкіндігінің арқасында жұқа пленкалы перовскитті күн батареялары өндірісте өте үнемді. Бүгінгі таңда перовскиттер олардың иондық-кристалдық құрылымының жалпы түрімен біріктірілген көптеген қосылыстар деп аталады. Тарихи тұрғыдан алғанда, "перовскит" термині кальций титанаты минералын сипаттау үшін ғана қолданылған. СаTiO₃ кальций титанатының минералы алғаш рет XIX ғасырдың отызыншы жылдарында Оралда табылды. Минералдың алғашқы үлгісін Санкт-Петербургтен Берлинге 1839 жылдың жазында минеролог және Ресей империясының бас тау дәріханасының меңгерушісі (обер-берг дәріханашысы) Александр Богданович Кеммерер (1798-1858) жеткізді. Кеммерер одан әрі зерттеу үшін үлгіні неміс минералогы және кристаллографы Густав Розаға (1798-1873) берілді. Ол оның физикалық қасиеттері мен химиялық құрамын анықтады, тіпті "G. Rose, 'Beschreibung einiger neuen Mineralien des Urals', *Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie*, 1839, 551–573." мақаласы жарияланды. Кеммерердің ұсынысы бойынша Розе минералды Ресей саясаткері (болашақта апелляциялық министр және Николай I жанындағы Ішкі істер министрі) граф Лев Алексеевич Перовскийдің (1792-1856) құрметіне атады.

Бұл адамдар кім болды? Тарихта қандай рөл атқарды? Және бұл минералмен қалай байланысты? Перовскит минералымен тарихтағы алғашқы актер-үлгіні Густав Розаға берген Александр Богданович Кеммерер.

Август Александр (Александр Богданович) Кеммерер

Википедиядан біз Август Александр Кеммерердің 1789 жылы Тюрингияның Артерне қаласында (сол кезде Саксонияға тиесілі) лютерандық пастордың отбасында дүниеге келгенін білеміз. ны Санкт-Петербургке ата-анасы сегіз жасында әкелген. Бастапқы мектепте білім алғаннан кейін ол оқушыны жеке дәріханаға қабылдады және қажырлы еңбегінің арқасында 1807 жылы дәріхана оқушысына, тағы екі жылдан кейін провизорға емтихан тапсырды. А. А. Кеммерер өзінің адалдығымен әріптестерінің сенімі мен құрметіне ие болды, бұл оған 1812 жылы өзінің дәріханасын ашуға мүмкіндік берді, оның басында ол шамамен 14 жыл болды. Практикалық сабақтар Кеммерердің ғылыми жұмыстармен қатар айналысуына кедергі болмады. 1818 жылы ол үлкен көмек көрсеткен және кейіннен төраға ретінде басқарған орыс фармацевтикалық қоғамын құруға белсенді қатысты. 1822 жылы Императорлық минералогиялық қоғам оны өзінің мүшесі етіп сайлады, ал көп ұзамай Мәскеу табиғат сынаушылар қоғамы да солай жасады. Оның кең қызмет саласы оны тау-кен бөліміне жақындатты. 1824 жылы оған тау-кен және тұз департаментінің зертханасында химик қызметін ұсынды, содан кейін 1826 жылы оған жаңадан құрылған негізгі тау-кен дәріханасын басқаруды тапсырды.

Жаңа мақсат Кеммерердің өзін тек өзінің сүйікті пәні — минералогиямен айналысуға арнауына ықпал етті. Көп ұзамай ол Данциг натуралистер қоғамының мүшесі, Санкт-Петербург медициналық-хирургиялық академиясының корреспондент мүшесі және Йенадағы минералогиялық қоғамның мүшесі болды. Жұмысы үшін: "Ueberblick der Theorien der Geologie Werner's und Hutton's" Гейдельберг университеті 1829 жылы кеммерерге докторлық дәрежесін берді. 1829 жылы Ресей императоры Николай I-нің қалауымен Кеммерер (6-сыныпты бер-гауптман атағымен) кейбір жаратылыстану ғылымдарын ұлы князь Александр Николаевичке, кейіннен император Александр II мен оның әпкесі Ольгаға үйреті. Ольга Николаевна қартайған шағында өзінің және ағасының жас кезінде мұғалімі А. А. Кеммерердің электрлік телеграфпен тәжірибелерін қалай түсіргенін сағынышпен еске алды.

Көптеген жылдар бойы Кеммерер негізінен Ресей империясында табылған минералдардың қатты коллекциясын жинап, бұл коллекцияның көп бөлігі кейіннен Лондонға кетті. Тау-кен басқармасы кеммерердің

шетелден (тау-кен институтының мұражайы үшін) әр түрлі минералдардан, қазбалардан және қазба жануарларының бөліктерінің құймаларынан шыққан кезде бірнеше рет көмекке жүгініп, кейбіреулері одан жеке сатып алынды. 1846 жылы Август Александр Кеммерер отставкаға кетті. 1849 жылдың көктемінде А. Кеммерер мемлекеттік кеңесші болып тағайындалды және Ресей империясының ішкі істер министрлігі жанындағы медициналық кеңестің кеңесші мүшесі болып тағайындалды. 1857 жылы өзінің фармацевтикалық қызметінің 50 жылдығына орай Кеммерер жарамды мемлекеттік кеңесші атағын иеленді. "Тау журналында" кеммерердің минералогия туралы бірнеше мақалалары орналастырылды, мысалы, диоптаздың химиялық ыдырауы, малит, платинаны балқыту жолдары туралы. С. Н. Кулибиннің айтуынша, "кеммерер адал және мейірімді адам ретінде Жалпыға бірдей ұнады".

Тарих "перовскит" минералының үлгісі Кеммерерге қалай жеткенін үнсіз қалдырады, бірақ біз Густав Розаға 1839 жылдың жазында әкелінген жаңа минерал (кейіннен оны перовскит деп атайды) Оңтүстік Оралда, Хризостом маңындағы "Ахматовская копьё" кенішінен табылғанын білеміз. Бұл кенішті 1811 жылы Ефим Ахматов ашқан, ол кезде Хризостом астындағы Құсін металлургия зауытының бригадирі. XIX ғасырда бұл кеніш құнды минералды үлгілердің көзі ретінде кеңінен қолданылды. Оның толық сипаттамасын 1878 жылы орыс геологы и.в. Мушкетов (1850-1902) жариялады [2]. 1981 жылы ол "Тағанай" ұлттық саябағының бөлігі ретінде мемлекеттік қорғалатын геологиялық ескерткіш болып жарияланды.

Густав Розе.



Сурет 1 – Неміс минералогы және кристаллографы Густав Розе. Википедиядан, қоғамдық домен.

Густав Розе (сурет-1) 1798 жылы 18 наурызда Берлинде әйгілі ғалымдардың кем дегенде төрт буыны бар отбасында дүниеге келген. Оның атасы, Валентин Розе (1736-1771), фармацевт және химик, осы ғылыми әулеттің негізін қалаушы болды. Ол висмут, қалайы және қорғасыннан тұратын төмен балқу температурасы бар қорытпаны ойлап тапқанымен танымал, ол бүгінде дәнекер ретінде кеңінен қолданылады. Оның әкесі, кіші Валентин Розе (1762-1807), сонымен қатар химик және фармацевт болған. Оның жаңалықтары бар: құрамында сілтілі силикаттардың азот-барит тұзымен ыдырауы, инулиннің ашылуы, натрий бикарбонатын зерттеу, мышьяқты анықтау әдісі. Густав Розенің өзі минералдардың кристаллохимиялық жүйесін құрды және кристалдардың пішіні мен электрлік поляризация, кальций көмірқышқыл газының гетероморфизмі, кристалдардың пішінінің олардың түзілуіне байланысты жағдайларға тәуелділігі арасындағы байланысты зерттеді. Густав Розенің басқа ұлдары – Валентин Розе мен Эдмунд Розе де танымал ғалымдар. Валентин Розе (1829-1916) – философ, тарихшы және библиограф ретінде танымал. Эдмунд Розе (1836-1914) – неміс хирургі, түс соқырлығы мен ксантопсия саласындағы зерттеулермен танымал. Ол алғаш рет түс өлшегішті ойлап тапты-түс сезу бұзылыстарымен байланысты аурулардың дәрежесін зерттеуге арналған құрал (түс соқырлығы, түс соқырлығы, тауық соқырлығы (Никталопия) және т.б.).

Жас кезінде Густав Розе Берлин университетінде минералогияны оқыды, онда оның мұғалімі христиандардың алғашқы неміс минералогтары мен кристаллографтарының бірі болды. Ол сондай-ақ Стокгольмде ұлы физик-химик Дженс Якоб Берцелиуспен (1779-1848) бірге оқыды. Стокгольмде Густав неміс химигі Эйльхард Митчерлихпен (1794-1863) кездесті, ол өмір бойы достығын сақтап қалды. Екі химиктің достығы митчерлихке изоморфизм құбылысын ашуға көмектескен қарқынды ғылыми ынтымақтастықпен қатар жүрді.

Изоморфизмнің ашылуы (химиялық элементтердің Кристалл құрылымында бір-бірін алмастыру мүмкіндігі) химияның, минералогияның және кристаллографияның дамуына үлкен әсер етті. Розе мен Митчерлихтің ғылыми жетекшісі Якоб Берцелиус бұл тұжырымдаманы қатты заттардың атомдық құрамын анықтау үшін бірден қолданды. Изоморфизмнің ашылуымен кристалдық форма қатты денелерді сипаттауға негіз болды. Изоморфизм теориясының бастауында тұрған Густав Розе содан кейін өмір бойы минералды кристалдарды жинап, талдады. Сондықтан ол минералдарды кристалдық пішіні мен құрамына қарай жүйелеу әдісін ұсына алды, "Розе минералдарының кристаллохимиялық жүйесі" деп аталады. Ғалым осы тақырыпта екі классикалық кітап шығарды: "кристалдық формаларға сәйкес минералдарға кестелік шолудан басқа Кристаллография элементтері" ("Elemente der krystallographie, nebst einer tabellarischen uebersicht der mineralien nach den krystallformen", 1833) және "Кристаллохимиялық минералды жүйе" ("das krystallo-chemische mineralsystem", 1852). Перовскит құрылымы туралы түсінік (біз оны бүгін түсінеміз) изоморфизм идеясын қолданудың тамаша мысалы болып табылады.

1829 жылы Густав Розе натуралист, зоолог және ботаник Кристиан Готфрид Эренбергпен (1795-1876) бірге Ұлы натуралист Александр фон Гумбольдтты Ресейге әйгілі ғылыми экспедициясында ертіп жүрді. Оның басты мақсаты Орал тауларын, Сібірді және Каспий теңізінің аймағын зерттеу болды. Розе минералогиялық зерттеулерге жауапты, ал Эренберг Байкал көлі мен Каспий теңізіндегі микроорганизмдерді зерттеді. Олар 12 сәуірде Берлиннен

шығып, 1829 жылы 1 мамырда Санкт-Петербургке келді. Экспедиция бастапқыда Санкт-Петербург – Мәскеу – Владимир – Нижний Новгород – Казан – Екатеринбург – Пермь бағытымен жүрді. Экспедицияның соңғы бағыты сурет 2-де көрсетілген.

Зерттеушілер орта Оралда бірнеше апта бойы геологиялық зерттеулер жүргізіп, темір және алтын кендерінің, платина мен малахиттің кен орындарын зерттеді. Одан әрі бағыт Тобольск, Барнаул, Семей, Омбы және Миасс арқылы, содан кейін Оңтүстік Орал арқылы Орынборға өтті. Илецк қаласындағы тас тұз кен орнына барған саяхатшылар Астраханьға келіп, Каспий теңізі арқылы қысқа сапарға шықты. Экспедиция 13 қарашада Санкт-Петербургке оралды. Сол 1829 жылы Густав Розе Санкт-Петербург Ғылым академиясының шетелдік корреспондент мүшесі болып сайланды. Берлинге оралғаннан кейін Розе он жыл бойы жиналған минералдарды қарқынды түрде зерттеді. Барлығы 117 түрлі минералдар анықталды, олардың кейбіреулері (соның ішінде канкринит, родицит және чевкинит) алғаш рет сипатталды. Розе 1839 жылы "G. Rose, 'Beschreibung einiger neuen Mineralien des Urals', Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie, 1839, 551-573." және 1842 жылы жарық көрген "А. фон Гумбольдт, г. Эренберг және Г. жүзеге асырған Орал, Алтай және Каспий теңізіне Экспедиция. Розе 1829 жылы Ұлы Мәртебелі Ресей императорының бұйрығымен: минералогиялық-геогностикалық бөлігі және сапар туралы тарихи есеп". 1839 жылы Кеммерердің Розаға сапары, сөзсіз, перовскит деп аталатын жаңа минералды зерттеуді сұрап, Ресейдегі Розенің экспедициясымен, зерттеу белсенділігімен және қарқынды байланыстарымен тікелей байланысты. Ол жаңадан анықталған перовскитті экспедицияда жиналған Орал минералдарын сипаттайтын мақалаға қосқаны бекер емес.

Минералды атаған адам кім болды?



Сурет 2 – Ресейге экспедиция бағыты.



Сурет 3 – Граф Лев Алексеевич Перовский. Википедиядан, қоғамдық домен

Лев Алексеевич Перовский (сурет-3) 1792 жылы 9 қыркүйекте дүниеге келген. Ол сенатор, халық ағарту министрі, Мәскеу университетінің қамқоршысы, ботаник және библиофил Граф Алексей Кириллович Разумовский мен филлист Мария Михайловна Соболевскаяның он заңсыз балаларының бірі болды. Ресми түрде Арыстан, оның төрт ағасы және бес әпкесі туған әкесінің асырап алған тәрбиеленушілері болып саналды. "Оқушылар" Тегі Мәскеу — Перово маңындағы Разумовский мүлкінің атауынан алынды. Осылайша Перовскийдің Жаңа асыл тұқымы пайда болды, ол Ресей тарихы мен орыс мәдениетінде елеулі із қалдырды.

Лев Алексеевич Перовский 1804 жылы Асыл қадір-қасиетке көтерілді. Ол үйде және Мәскеу университетінің асыл интернатында жақсы білім алды. 1808 жылы Мәскеу университетінің студенттері (мазмұны қазыналық ақша есебінен болған студенттерге қарағанда, оқу кезеңінде өздерін өз есебінен ұстайтын студенттер) қабылданды. 1810 жылы университеттен кандидат дәрежесімен шығып, Ұлы мәртебелі свиттегі бағаналы мектепте оқыды, сол жерден ол прапорщик болып қызметке кірді (1812). Отан соғысы кезінде ол Бородин, Малоярославец, Вязьма және Қызыл шайқастарда ерекшеленді; 1813-1814 жылдардағы шетелдік жорықтар кезінде – Люцен кезінде ол "батылдығы үшін" деген алтын қылышпен марапатталды. 1815 жылы жетінші коалиция соғысы кезінде ол Ресейдің Бас штабының бастығы князь Петр Волконскийдің қол астында болды, жарақат алды. 1818-1823 жылдары-1-ші резервтік атты әскер корпусының Обер-квартир-мастері. Ол "өркендеу Одағы" және "әскери қоғам" декабристік қауымдастықтарында болды; Николай I-нің бұйрығымен "мінсіз ұмытшақтық, қысқаша қате түсінік" салдарынан тергеуге тартылған жоқ. Азаматтық қызметке ауысып, уделов департаментінің мүшесі, кейін вице-президенті, сенатор, уделов министрінің жолдасы болды. 1833 жылы ол Әулие Пантелеймон ауруханасында қайта тірілу шіркеуінің құрылысын қадағалады. Граф Лев Алексеевич Перовский 1834 жылы Мшатканың (Қырымның оңтүстік

жағалауы) кең аумағының шетінде 25 гектар жер учаскесін сатып алып, сол жылы үй құрылысын бастады. 1841 жылы ішкі істер министрі болып тағайындалды [3].

Лев Перовский ерекше жігерлі адам болды және крепостнойлық құқықтың белсенді қарсыласы ретінде беделге ие болды. 1842 жылдан бастап ол басқарған ішкі істер министрлігі шаруаларды босатуға дайындық жөніндегі Бас штабқа айналды. Бұл Перовскийдің крепостнойлық құқықты шектеуге және болашақта оны жоюға бағытталған бірқатар заңнамалық бастамаларына, атап айтқанда 1846 жылы императорға "Ресейдегі крепостнойлық күйді жою туралы" жазба беруге мүмкіндік береді. Өкінішке орай, Николай бұл реформаларды ешқашан жасаған емес. Ресейдегі крепостнойлық құқық Перовский қайтыс болғаннан кейін 1861 жылы Александр II-нің "жер мен ерік туралы Манифестімен" жойылды. Алайда, Лев Перовский XIX ғасырдағы Ресей тарихындағы осы маңызды реформаны дайындағандардың бірі болғанына күмән жоқ [4]. Сонымен бірге Лев Алексеевич фанатикалық жинаушы және минералдардың нәзік білгірі ретінде танымал болды. Оның минералогияға деген құштарлығы 1873 жылы Эрмитаж сатып алған Ежелгі және қазіргі заманғы оюланған тастардың үлкен коллекциясына әкелді. Лев Перовский тау-кен өнеркәсібінің дамуына үлкен үлес қосты (асыл тастарды өндіруді қоса алғанда) тек қызметтің қарызы бойынша ғана емес, сонымен бірге минералогияға деген құштарлығымен "жылытылды". Оның бастамасымен көптеген жаңа кен орындары ашылды. "Тау-кен журналын" шығару жөніндегі "ғылыми комитетке" кірді. Академик А. Е. Ферсман Перовский туралы былай деп жазды: "барлық орыс ғылымы оған отыз жылға жуық қызметі үшін XIX ғасырдың бірінші жартысын сипаттайтын тасқа ерекше назар аударуға міндетті" [5].

Перовскит минералы

Бірінші перовскит-минерал, кальций титанаты, химиялық формуласы CaTiO_3 [6]. Ол 1839 жылы ашылды. Содан бері 1978 жылы қорғасынды (Pb) қамтитын перовскиттер туралы алғашқы есеп шыққанға дейін шамамен 140 жыл өтті. Осы материалдар класынан жасалған күн батареясының жұмыс моделін көру үшін тағы отыз жыл қажет болды [7]. Сонымен, бұл не-перовскит?

Бізді қызықтыратын перовскиттер- ABX_3 Жалпы химиялық формуласы бар гибридіті орғано-бейорғаникалық қосылыстар, мұндағы А – органикалық немесе бейорғаникалық моновалентті катион (әдетте метиламмоний, формамидиний немесе цезий), В-екі валентті металл ионы (Sn^{2+} , Ge^{2+} , Pb^{2+}), ал х – галогенді анион (Cl^- , Br^- немесе I^-), перовскит құрылымы бар қосылыстар немесе перовскиттер деп аталады! Сурет 4-те (сол жақтағы) табиғи перовскиттің құрылымы көрсетілген.

Бастапқыда перовскиттің кристалдық құрылымы текше болып саналды, бұл бірнеше жүздеген химиялық қосылыстар кристалданатын перовскиттің құрылымдық түрін енгізуге негіз болды. Кейінірек CaTiO_3 құрылымы текшеге қатысты аздап бұрмаланғаны анықталды (бөлме температурасында ол орторомбты, рпма кеңістіктік тобы) және кальций титанаты текше құрылымын фазалық ауысу нәтижесінде 1260-1300°C жоғары температурада ғана алады.

Перовскит-жер бетіне салыстырмалы түрде сирек кездесетін минерал. Оның кристалдары текше (псевдокубикалық) пішінге ие, текшелердің беттері шеттеріне параллель қысқа соққылармен кесілген (сурет-4). Көбінесе кристалдар текшелердің беттерінде дәнекерленген. Қоспаларға байланысты ол әртүрлі түске ие: көбінесе кара – сұр-кара, темір-кара, қызыл-қоңыр; сирек ашық – Гиацинт қызыл, померандық және бал сары. Ашық түсті перовскит мөлдір.



Сурет 4 – Перовскиттің құрылымы сол жақтағы (көгілдір – кальций атомы, сұр – титан атомы, қызыл – оттегі атомы) Википедиядан, қоғамдық домен, перовскит минералы: ортадағы-Википедиядан, қоғамдық домен, оң жақта-үлкен орыс энциклопедиясынан

Минералогиялық шкала бойынша қаттылық: 5,5–6, тығыздығы: 3,97–4,0 г/см³. Кальцийді Ce , Ti Nb және Ta алмастыруға болады, басқа қоспалар болуы мүмкін, бұл кнопит, дизаналит және лопариттің пайда болуына әкеледі. Перовскит негізінен тальк және хлорит тақтатастарында кездеседі. Микроскопиялық түрде ол жанартау тектес жыныстарда да кездеседі (мелилит базальтында, базальт лавасында). Оралдағы, Тиролдағы (Австрия), сондай-ақ Швейцария мен Финляндиядағы кен орындары.

Қорытынды

Бұл мақалада перовскиттің күн энергетикасында маңызды орын алатынын түсіндірледі. Оның ашылу тарихы баяндайды. Перовскиттің зертеуліне байланысты 3 кісінің үлесі жайында және олардың ғылыми мансабы жайлы жазылған. Перовскит минералының химиялық формуласы, кристалдық құрылымы және оның қоспалары жайлы

жазылған. Лев Перовский мен зерттеушілер А. А. Кеммерер мен Г. в. Розенің жеке таныстығын растайтын тарихи дереккөздер жоқ. Барлық үш қатысушының ұқсас саяси көзқарастары туралы болжам жасауға болады.

Жұмысты Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қолдауында (грант No AP23485698 Ілгіш негіздерде қалайы негізіндегі перовскиттерді зерттеу.)

Список использованных источников

1. Priyanka E., Muchahary D. Performance improvement of perovskite/CIGS tandem solar cell using barium stannate charge transport layer and achieving PCE of 39% numerically //Solar Energy. – 2024. – Т. 267. – С. 112218.
2. И.В. Мушкетов, ‘Материалы для изучения геогностического строения и рудных богатств Златоустовского горного округа на Южном Урале //Записки Минерал. Общества, 1878, 2, Кн. 13, 9-242.
3. https://ru.wikipedia.org/wiki/Перовский,_Лев_Алексеевич.
4. Перспективный перовскит: три персонажа в истории открытия Евгений Кац //Семь искусств, №11 • 29.11.2020 <https://litbook.ru/article/14832/>.
5. А. Е. Ферсман А. Е. Очерки по истории камня. //М, 1961. Т. 2. С. 129.
6. Katz E. A. Perovskite: name puzzle and German-Russian odyssey of discovery //Helvetica Chimica Acta. – 2020. – Т. 103. – №. 6. – С. e2000061.
7. Kojima, A., Teshima, K., Miyasaka, T., Shirai, Y. Novel photoelectrochemical cell with mesoscopic electrodes sensitized by lead-halide compounds (2) //ECS Meeting Abstracts. – IOP Publishing, 2006. – №. 7. – С. 397.

УДК 631.4:546.3:001.18

ENVIRONMENTAL MONITORING OF ATMOSPHERIC POLLUTION IN THE KARAGANDA REGION

Nurlybayeva K.A., Academician E.A. Buketov Karaganda University, Karaganda, Kazakhstan
Mukasheva G.Zh., Academician E.A. Buketov Karaganda University, Karaganda, Kazakhstan
Sarsembaeva A.Sch., Academician E.A. Buketov Karaganda University, Karaganda, Kazakhstan
Kanafina B.A., Academician E.A. Buketov Karaganda University, Karaganda, Kazakhstan

Introduction

Atmospheric air pollution is one of the most acute environmental problems of the Karaganda region, which is an industrially developed region of Kazakhstan. The intensive development of industry, especially mining and metallurgy, contributes to the release of significant amounts of pollutants into the atmosphere. To prevent negative consequences, regular environmental monitoring is necessary, which allows you to monitor the state of the environment and take measures to improve it.

Karaganda region is one of the most industrially developed regions of Kazakhstan, which is accompanied by high levels of atmospheric pollution. Over the past 10 years, the air quality situation in the region has undergone both periods of improvement and exacerbation, due to various factors such as the introduction of purification technologies, industrial development and changing climatic conditions.

Sources of atmospheric pollution

Heavy industry enterprises, in particular metallurgical and coal plants, remain the main sources of air pollution in the Karaganda region. Companies such as ArcelorMittal Temirtau, Karaganda Metallurgical Plant and coal mines in the region are the largest air pollutants, contributing significantly to emissions of carbon dioxide (CO₂), nitrogen oxides (NO_x), sulfur dioxide (SO₂), ammonia (NH₃) and particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}).

According to the data presented in the report of the Karaganda Regional Department of Ecology (2022), emissions of substances such as carbon dioxide, nitrogen oxides, sulfur dioxide, solid particles and volatile organic compounds make the greatest contribution to atmospheric pollution. In 2021, the total volume of emissions of pollutants into the atmosphere amounted to about 500 thousand tons, which indicates the significant scale of the environmental problem (Kozhabekova, 2022).

Methods of environmental monitoring

Environmental monitoring of the atmosphere in the Karaganda region is carried out using a number of methods that allow us to assess the concentration of harmful substances in the air and identify sources of pollution. Among the most common methods are:

1. Instrumental measurements. Regular measurements of atmospheric air are carried out at stationary observation posts equipped with modern equipment for analyzing the content of pollutants. These posts are located near industrial enterprises and residential areas, which allows you to monitor changes in air quality in real time.

2. Laboratory tests. Air samples taken at the posts are analyzed in specialized laboratories. Particular attention is paid to concentrations of particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}), nitrogen oxides, sulfur dioxide and hydrocarbons, as they are the main risk factors for human health (Ivanov et al., 2021).

3. Satellite monitoring. The latest technologies, such as satellite imagery, allow us to get a global picture of atmospheric pollution in large areas. Satellite data are used to create models of the spread of pollutants and predict their concentrations in various regions of the region (Abdrakhmanova, 2023).

Results and their discussion

Main monitoring results