

ӘОЖ 669.018.2:539.2

Онгарбек Махабат Саятқызы

2-курс магистранты,

Физика кафедрасы,

Мұхтар Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті,
(Шымкент қ., Қазақстан)**Ғылыми жетекші:** Баубекова Гулдар Мусалиевна

PhD, қауымдастырылған профессор,

Техникалық физика кафедрасы,

Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
(Астана қ., Қазақстан)

CU-PT ЖӘНЕ NI-PT ҚОРЫТПАЛАРЫНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ РЕТТЕЛУ ҮДЕРІСІНІҢ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ӨЗГЕРІСІНІҢ ӘСЕРІН РЕТТЕУ

Аңдатпа: Бұл мақалада Cu–Pt және Ni–Pt қорытпаларындағы атомдық реттелу үдерістері мен құрылымдық фазалық өзгерістердің физикалық қасиеттерге әсері қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі қорытпалардың атомдық құрылымын термиялық өңдеу арқылы өзгерту және олардың физикалық қасиеттерін басқару мүмкіндігін айқындау. Жұмыстың мақсаты – термиялық өңдеу жағдайларының Cu–Pt және Ni–Pt қорытпаларының кристалдық құрылымына, фазалық құрамына және физикалық сипаттамаларына әсерін зерттеу. Тәжірибелік зерттеу барысында қорытпа үлгілерін әртүрлі температуралық режимдерде термиялық өңдеу, рентгендік дифракциялық талдау (XRD) арқылы кристалдық құрылымын анықтау, тор параметрлерін есептеу және құрылымдық өзгерістерді салыстыру көзделеді. Сонымен қатар, тәжірибелік мүмкіндіктерге сәйкес электрлік кедергі, микрокаттылық және магниттік қасиеттер сияқты физикалық сипаттамаларды өлшеу жоспарланады. Алынған нәтижелер негізінде термиялық өңдеу режимдері, атомдық реттелу және құрылымдық параметрлер арасындағы өзара байланыс бағаланады. Cu–Pt және Ni–Pt қорытпаларын салыстырмалы зерттеу олардың құрылымдық ерекшеліктерін анықтауға және физикалық қасиеттерін басқарудың тиімді тәсілдерін негіздеуге мүмкіндік береді деп күтіледі. Зерттеу нәтижелері функционалдық материалдарды әзірлеу және олардың қасиеттерін оңтайландыру бағытында ғылыми-практикалық маңызға ие.

Кілт сөздер: Cu–Pt қорытпалары, Ni–Pt қорытпалары, эксперименттік зерттеу, атомдық реттелу, термиялық өңдеу, фазалық ауысу, кристалдық құрылым, рентгендік дифракция, тор параметрлері, электрлік кедергі, микрокаттылық.

Қазіргі материалтану ғылымының маңызды бағыты – металдық қорытпалардың құрылымдық ерекшеліктерін зерттеу және олардың физикалық қасиеттерін бақылаудың тиімді тәсілдерін әзірлеу. Сондықтан, қорытпалардағы реттелу процесі — материалтану саласында технологиялық және ғылыми тұрғыдан қызығушылық артып келе жатқан өзекті тақырып.

Зерттеудің мақсаты – Cu–Pt және Ni–Pt қорытпаларындағы атомдық реттелу үдерісі мен құрылымдық фазалық өзгерістердің физикалық қасиеттерге әсерін термиялық өңдеу

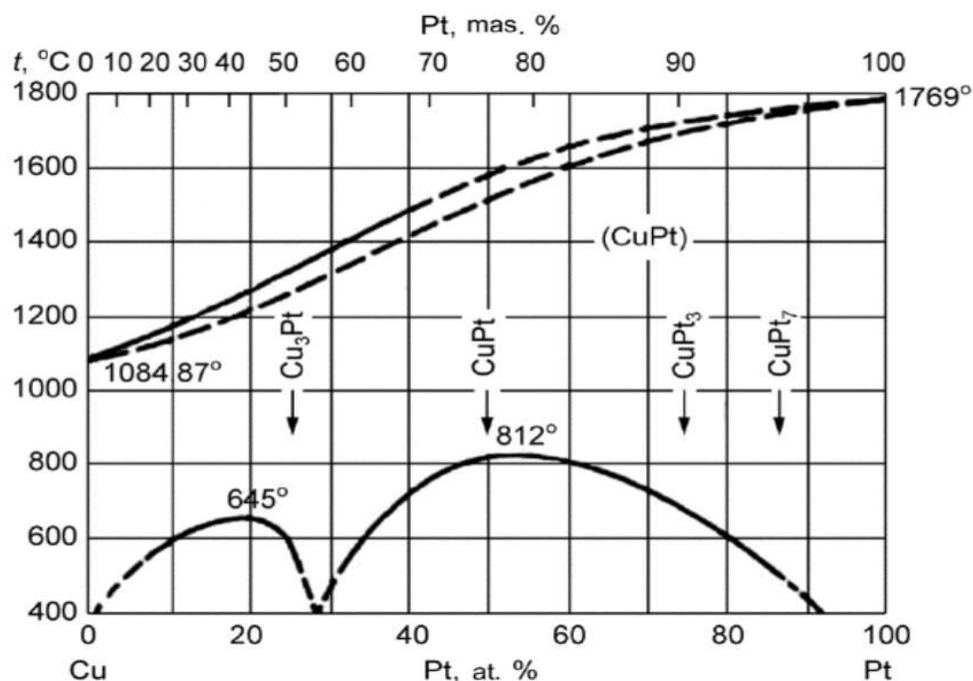
және тәжірибелік талдау әдістері арқылы анықтау. Зерттеудің негізгі міндеттері: Cu–Pt және Ni–Pt қорытпаларының таңдалған құрамдары үшін термиялық өңдеу режимдерін белгілеу; термиялық өңдеуге дейінгі және кейінгі үлгілердің фазалық құрамын рентгендік дифракциялық әдіспен зерттеу; дифракциялық деректер негізінде кристалдық тор параметрлерін есептеу және олардың өзгерісін бағалау; Cu–Pt және Ni–Pt қорытпаларының құрылымдық және физикалық сипаттамаларын салыстыру; атомдық реттелу, термиялық өңдеу және физикалық қасиеттер арасындағы байланысты бағалау.

Металдар мен қорытпалардың қасиеттері олардың химиялық құрамына ғана емес, атомдардың кристалдық торда орналасу тәртібіне, фазалық құрамына, кристалдық тор ақауларына және термиялық өңдеу жағдайларына да тәуелді. Осыған байланысты атомдық реттелу үдерістері мен құрылымдық фазалық ауысуларды зерттеу жаңа функционалдық материалдарды жасау үшін ғылыми және практикалық маңызға ие.

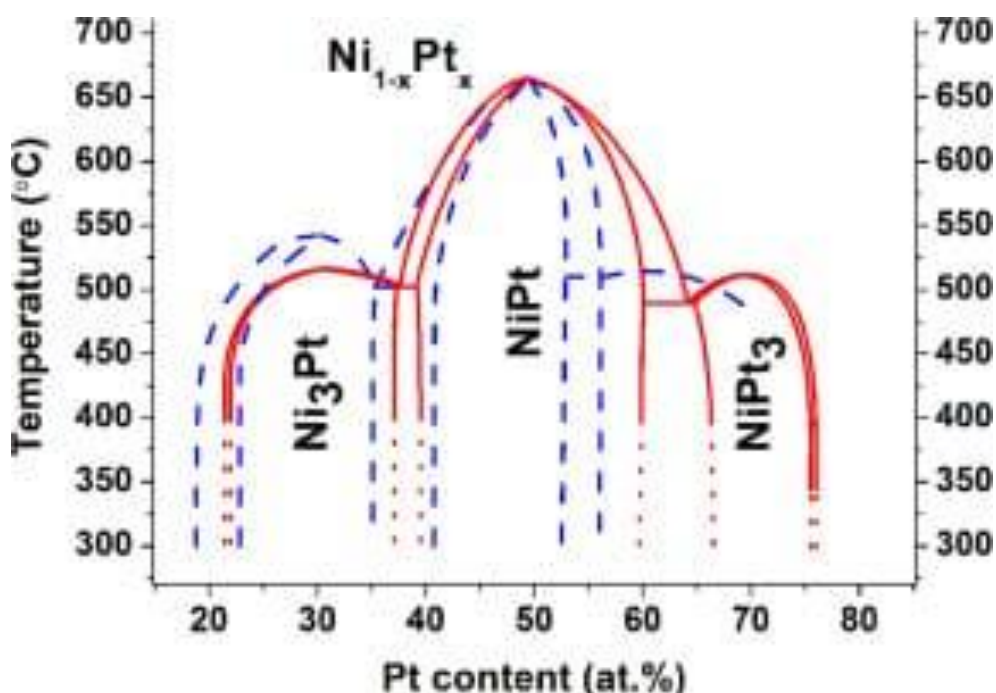
Қорытпалардағы атомдық реттелу – әртүрлі химиялық элементтердің атомдары кристалдық тордың белгілі бір позицияларында реттеліп орналасатын үдеріс. Ал температура өзгерген кезде атомдардың орналасу тәртібі өзгеріп, ретсіз күйден реттелген құрылымға өтеді. Мұндай өзгерістер кристалдық құрылымның симметриясына, тор параметрлеріне, фазалық тұрақтылыққа және электрондардың шашырау сипатына әсер етеді. Нәтижесінде қорытпалардың электрлік, магниттік, оптикалық және механикалық қасиеттері өзгеруі ықтимал.

Cu–Pt жүйесі — ретсіз ГЦК (беті орталықтанған текше) ерітіндіден реттелу-ретсіздену ауысуы кезінде қорытпалары бірқатар кристаллографиялық құрылымдар түзетін жалғыз жүйе [1]. Cu–Pt жүйесінде негізгі үш реттелген фаза белгілі: Cu_3Pt — $L1_2$ типі, CuPt — $L1_0$ типі және CuPt_3 — $L1_1$ типі [2]. CuPt_3 қорытпасы реттелген күйінде ГЦК торға негізделген $L1_2$ асқын құрылымын көрсетсе, реттелу фазалық ауысуы кезінде эквиатомдық CuPt қорытпасы ГЦК тордан орторомбтық торға ($L1_1$ асқын құрылымы күйіне) ауысады. Бұл жағдайда α , β және γ бұрыштары $\pi/2$ мәнінен өзгеше болады. Cu–Pt жүйесіндегі реттелу үдерістерін зерттеген ғалымдар атомдардың орналасу тәртібі мен электрондық құрылым арасындағы байланысты қарастырған кезде, реттелу мен ретсіздік ауысулары Cu–Pt қорытпасының электрондық құрылымына әсер ететіні зерттелген [3].

Ni–Pt қорытпалары компоненттердің арақатынасы мен құрылымдық күйіне тікелей байланысты тамаша катализаторлық және магниттік қасиеттерге ие. Бұл қорытпаларды протондар алмасуымен жұмыс істейтін немесе метанолды отын элементтерінде катализатор ретінде, сондай-ақ микромагниттер ретінде пайдалануға болады [4]. Ni–Pt қорытпаларының кейбір құрамдарында $L1_0$ типті реттелген құрылым қарастырылады. Бұл құрылым тетрагональды деформациямен сипатталады. Мұндай жағдайда кристалдық тордың (a) және (c) параметрлері бір-бірінен ерекшеленеді, ал олардың қатынасы (c/a) құрылымның тетрагональдығын сипаттайды. Ni–Pt қорытпаларындағы реттелу үдерісі мен тор параметрлерін зерттеген жұмыстарда рентгендік дифракция әдісі қолданылған [5].



1-сурет. Cu–Pt жүйесінің фазалық диаграммасы



2-сурет. Ni–Pt жүйесінің фазалық диаграммасы

Қорытпаны жоғары температурада қыздырғанда атомдар кристалдық торда кездейсоқ орналасады — бұл ретсіз қатты ерітінді деп аталады [6]. Температураны төмендетіп, белгілі бір мәнде жеткілікті ұстағанда, атомдардың диффузиясы жүріп, әр элементтің атомдары үшін өз орны қалыптасады — мұны реттелу үдерісі дейміз. Реттелу үдерісі энтропияның төмендеуімен бірге жүреді, бірақ ішкі энергияның азаюы есебінде термодинамикалық тұрғыдан тиімді болады [7]. Реттелу кезінде кристалдық тордың симметриясы өзгереді. Мысалы, ретсіз күйде CuPt жүйесі жоғары симметриялы кубтық

торға ие болса, реттелген кезде тетрагонды торға ауысады [8]. Бұл өзгеріс материалдың барлық физикалық сипаттамаларына әсер етеді: электр кедергісі төмендейді, беріктік артады, магниттік қасиеттер өзгереді [9,10].

Cu–Pt және Ni–Pt қорытпаларының құрылымдық өзгерістерін зерттеу үшін рентгендік дифракция әдісін (XRD) қолданамыз. Бұл әдіс кристалдық құрылымды, фазалық құрамды және кристалдық тор параметрлерін анықтауға мүмкіндік береді. Зерттеу бірнеше кезеңнен тұрады.



3-сурет. Зерттеу әдістемесі

Зерттеу материалдарын таңдау кезеңінде Cu–Pt және Ni–Pt қорытпаларының құрамы мен бастапқы күйі анықталады. Келесі кезеңде термиялық өңдеу жағдайларын белгілеу керек болғандықтан, қорытпаларға қолданылатын қыздыру температурасы, ұстау уақыты және салқындату режимі зерттеу мақсаты мен әдеби деректерге сәйкес таңдалады. Рентгендік дифракциялық талдау кезеңінде өндеуге дейінгі және кейінгі үлгілердің дифракциялық спектрлері алынады. Құрылымдық параметрлерді есептеу - дифракциялық максимумдардың орналасуы бойынша кристалл жазықтықтарының арақашықтығы және тор параметрлері арқылы анықталады. Тәжірибеміздің соңында нәтижелерді салыстырамыз. Екі қорытпадағы құрылымдық өзгерістер мен физикалық қасиеттер арасындағы байланыс талдаймыз. Тәжірибенің нақты температуралары мен режимдері қорытпалардың фазалық диаграммалары және зертхананың мүмкіндіктері негізінде белгіленеді.

1-кесте — Зерттелген үлгілердің құрамы

№	Қорытпа	Cu/Ni, ат. %	Pt, ат. %	Күтілетін реттелген фаза
1	Cu ₃ Pt	75	25	L1 ₂
2	CuPt	50	50	L1 ₀
3	CuPt ₃	25	75	L1 ₁
4	Ni ₃ Pt	75	25	L1 ₂
5	NiPt	50	50	L1 ₀
6	NiPt ₃	25	75	L1 ₂

Барлық үлгілер жоғары тазалықты металдардан (99,99%) индукциялық пештің ішінде аргон атмосферасында құю арқылы дайындалды [11].

Әр үлгі екі түрлі термиялық өңдеуден өткізілді:

- Ретсіз күй алу үшін 1100°C температурада 2 сағат ұстап, суда тез салқындату керек.

- Реттелген күй алу үшін 1000°C-та 2 сағат, содан кейін, 800°C-та 24 сағат баяу салқындату керек. Сол температурада 6, 12, 24 сағат ұстау қажет [12]. Рентгендік дифракциялық талдауда (РДТ) қорытпалар мен материалдардың алыс реттелу дәрежесін анықтауға үшін келесі формула қолданылады:

$$S = \sqrt{\frac{I_{\text{инт}}}{I_{\text{теор}}}} \quad (1)$$

Мұндағы, $I_{\text{инт}}$ — реттелу сызығының нағыз интенсивтігі,

$I_{\text{инт}}^{\text{теор}}$ — теориялық интенсивтік.

Мұнда реттелу дәрежесі S өте дәл, дифрактограммадағы асқын құрылымдық сызықтардың интенсивтігіне негізделіп есептеледі. S (Реттелу дәрежесінің! мәні 0-ден 1-ге дейін өзгереді. Егер S мәні 1 болса — материал толық реттелген (барлық атомдар өздерінің тамаша кристалдық орындарында орналасқан). Ал, S мәні 0 болса — материал толық реттелмеген (атомдар орындарынан ауысып, бейберекет хаосты күйде орналасқан).

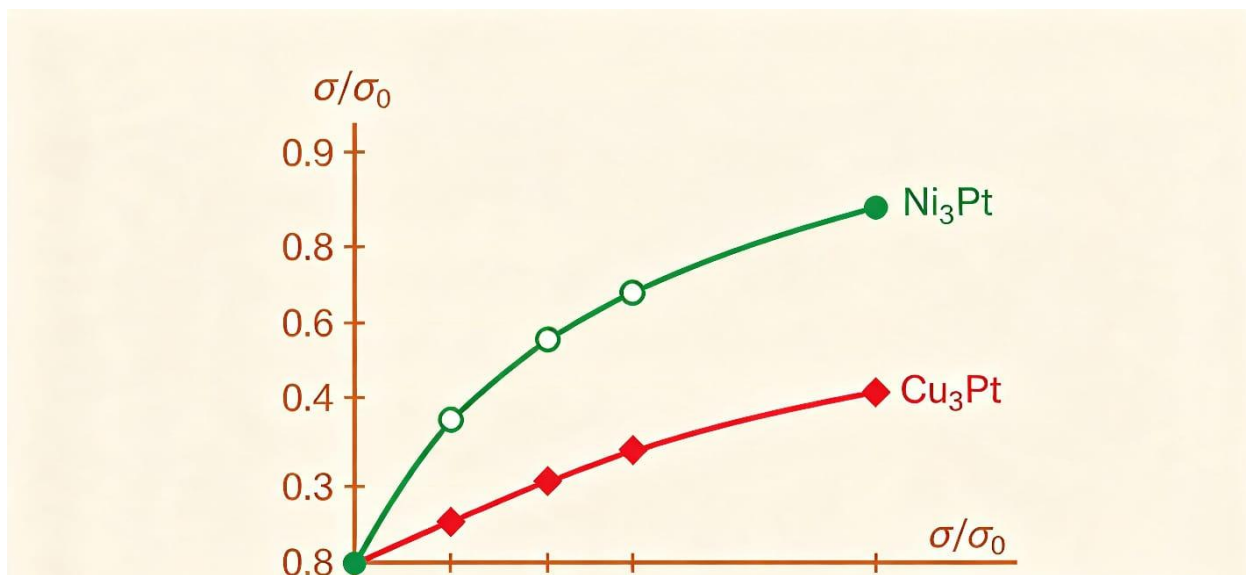
Электр кедергісін өлшеу бізде төрт сымды әдіспен, әртүрлі температураларда өлшенді. Қаттылықты анықтау Виккерс әдісімен, 100 г жүктемеде өлшенді. Магниттік қасиеттерін Вебер аспаптары арқылы анықтадық. Рентгендік дифракция нәтижелері бойынша реттелген үлгілерде ретсіз күйде болмайтын қосымша дифракция сызықтары пайда болды. Бұл сызықтардың болуы атомдардың реттік торда орналасатынын дәлелдейді [13].

2-кесте — Реттелу дәрежесінің уақытқа байланысты өзгеруі (800°C)

Ұстау уақыты, сағат	Cu ₃ Pt, S	CuPt, S	Ni ₃ Pt, S	NiPt, S
0 (тез салқындату)	0,05	0,03	0,07	0,04
6	0,42	0,38	0,48	0,41
12	0,68	0,61	0,73	0,66
24	0,85	0,79	0,89	0,82
48	0,87	0,81	0,91	0,84

Кестеден көрініп отырғандай, реттелу негізінен алғашқы 24 сағатта жүреді, одан кейін үдеріс баяулайды. Ni-Pt жүйесінде реттелу Cu-Pt жүйесіне қарағанда сәл жылдамырақ жүреді, бұл диффузия коэффициенттерінің айырмашылығымен түсіндіріледі [14].

Электрлік қасиеттеріне келсек, реттелу электр кедергісін айтарлықтай төмендетеді.



4-сурет. Реттелу дәрежесіне байланысты электр кедергісінің өзгеруі

3-кесте — Ретсіз және реттелген күйдегі электр кедергісінің салыстырмалы мәндері

Қорытпа	ρ (ретсіз), мкОм·см	ρ (реттелген), мкОм·см	Кедергінің азайуы, %
Cu ₃ Pt	38,2	22,5	41,1
CuPt	45,8	28,3	38,2
CuPt ₃	32,4	19,7	39,2
Ni ₃ Pt	34,1	18,9	44,6
NiPt	41,5	24,6	40,7
NiPt ₃	29,8	17,2	42,3

Реттелу нәтижесінде электр кедергісі 38–45%-ға төмендейді. Бұл электрондардың кристалдық тордағы шашырауының азаяды дегенді білдіреді.

4-кесте — Үлгілердің Виккерс бойынша қаттылығы

Қорытпа	HV (ретсіз)	HV (реттелген)	Арту, %
Cu ₃ Pt	165 ± 5	218 ± 6	+32,1
CuPt	182 ± 6	245 ± 7	+34,6
CuPt ₃	158 ± 4	206 ± 5	+30,4
Ni ₃ Pt	190 ± 5	262 ± 6	+37,9
NiPt	205 ± 6	281 ± 8	+37,1
NiPt ₃	175 ± 5	238 ± 6	+36,0

Реттелу кезінде қаттылық 30–38%-ға артады. Бұл реттелген аймақтардың дислокациялардың қозғалысына кедергі келтіретінімен түсіндіріледі — яғни материалды деформациялау қиындайды.

5-кесте — Ni-Pt қорытпаларының магниттік қасиеттері

Қорытпа	Күй	Магниттік сезімталдық, ×10 ⁶ м ³ /кг	Кюри температурасы, °C
Ni ₃ Pt	Ретсіз	42,3	365
Ni ₃ Pt	Реттелген	58,7	412
NiPt	Ретсіз	8,2	< 0
NiPt	Реттелген	15,6	95

Ni-Pt қорытпалары үшін реттелудің магниттік қасиеттерге айтарлықтай әсері байқалды. Көріп отырғанымыздай, реттелу Ni_3Pt -де магниттік сезімталдықты 39%-ға арттырады, ал NiPt -де парамагниттік күйден ферромагниттік күйге ауысу температурасын оң мәндерге ауыстырады. Бұл атомдардың арасындағы алмасу әрекеттесулерінің өзгеруіне байланысты.

Қорытынды. Cu-Pt және Ni-Pt қорытпаларында термиялық өңдеу арқылы реттелу үдерісін басқаруға болатынына көз жеткіздік. Реттелу дәрежесі негізінен температура мен ұстау уақытына тәуелді — 800°C температурада 24 сағат ұстағанда $S \approx 0,8\text{--}0,9$ мәніне жетті. Реттелу нәтижесінде электр кедергісі 38–45%-ға төмендеді, қаттылық 30–38%-ға артты және Ni-Pt жүйелерінде магниттік қасиеттер айтарлықтай өзгереді.

Байқаған заңдылықтардың практикалық мағынасы зор: термиялық өңдеу режимін дұрыс таңдау арқылы осы қорытпалардың қасиеттерін нақты тапсырмалар үшін қажетімше реттеуге болады. Мәселен, электроникада электр өткізгіштігін арттыру үшін толық реттелген күйді алу тиімді, ал жоғары беріктік қажет болғанда реттелу дәрежесін оңтайлы шектеуге болады. Алынған нәтижелер болашақта платина негізді қорытпаларды жаңа буынды электроника, сенсорлар және катализаторлық жүйелерде қолдану үшін негіз болады.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

1. Диаграммы состояния бинарных металлических систем : справочник : в 3 т. Т. 1 / под ред. Н. П. Лякишева. — Москва : Машиностроение, 1996.
2. Козлов Э.В., Папеткин В.В. Фазовые превращения и структура сплавов системы Cu-Pt // Металлофизика. — 1984. — Т.61. — С. 34–41.
3. Banhart J., Kuentzler R., Pfeiler W. et al. Changes of the electronic structure of Cu-Pt due to order-disorder transitions // Physical Review B. — 1991. — Vol. 44, No. 21. — P. 11624–11631. — DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.44.11624>.
4. Wang Y. et al. Intermetallic PtNi nanoparticles anchored on 3D carbon aerogel as a durable electrocatalyst for oxygen reduction // International Journal of Hydrogen Energy.
5. Rahman M. M., Sadik M. W., Sikder S. S., Hakim M. A. Order-Disorder Phase Transition and Lattice Parameter of Ni–Pt Alloys // Journal of Advanced Physics. — 2013. — Vol. 2, No. 1. — P. 29–35. — DOI: <https://doi.org/10.1166/jap.2013.1041>.
6. Горелик С.С., Рагозин В.С. Структура и механические свойства металлов. — Москва: Металлургия, 1978. — 360 с.
7. Шаскольская М.П. Кристаллография. — Москва: Высшая школа, 1976. — 399 с.
8. Oguchi T. Electronic structure and ordering in Cu-Pt alloys // Journal of the Physical Society of Japan. — 1987. — Vol.56, No.4. — P. 1421–1430.
9. Зайцев Р.А., Хакимов Ш.Ш. Электросопротивление и теплопроводность упорядоченных сплавов Cu-Pt // Физика твердого тела. — 1990. — Т.32, №7. — С. 2012–2017.
10. Вайнштейн М.Ш. Механические свойства интерметаллических соединений. — Киев: Наукова думка, 1983. — 264 с.
11. Головин Ю.И. Методы получения и исследования металлических материалов. — Москва: МИСиС, 2005. — 412 с.
12. Сидоров С.К., Ковалева О.В. Влияние режимов термической обработки на степень упорядочения в сплавах Cu-Pt // Металловедение и термическая обработка металлов. — 2001. — №8. — С. 12–16.



13. Миркин Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. — Москва: Физматгиз, 1961. — 588 с.
14. Третьяков В.И., Бондарева Л.И. Упорядочение и свойства сплавов Ni-Pt // Физика металлов и металловедение. — 1978. — Т.45, №3. — С. 542–549.

МАЗМҰНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENT

ӘЛЕУМЕТТІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ҚҰҚЫҚ ҒЫЛЫМДАРЫ - СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЮРИДИЧЕСКИЕ НАУКИ - SOCIO-ECONOMIC AND LEGAL SCIENCES

Төлегенов Тимур Сейфуллаулы

**ДИНАМИКА ТУРИСТСКИХ ПОТОКОВ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНФРАСТРУКТУРЫ
ТУРКЕСТАНА: ОТ ЭКСТЕНСИВНОГО РОСТА К СМАРТ-УПРАВЛЕНИЮ 10**

Alexander Gorevoy

**WHICH INEQUALITY STATISTICS SURVIVE AN ADMINISTRATIVE BOUNDARY CHANGE?
EVIDENCE FROM KAZAKHSTAN, 2010–2023 14**

Rakhimov Djalil

**DOES THE SHIFT TO CASHLESS PAYMENTS GO TOGETHER WITH FASTER GROWTH IN
HOUSEHOLD CREDIT? EVIDENCE FROM THE REGIONS OF KAZAKHSTAN, 2023-2025 26**

Kazhgerey Asan

**HOW MANY FOOD BASKETS DOES AN AVERAGE WAGE BUY? WAGES AND FOOD PRICES IN
THE 20 REGIONS OF KAZAKHSTAN, 2024-2026 37**

Tagimova Alua

**WHO WAS LEFT BEHIND? EDUCATION AND FINANCIAL INCLUSION IN KAZAKHSTAN AND
THREE CENTRAL ASIAN NEIGHBOURS, 2021-2024 44**

Wei Wei, Mynzhanova Gulzhakan, Niyetalina Gaukhar

**DIGITAL–PHYSICAL INTEGRATION AND ECONOMIC PERFORMANCE IN INDUSTRIAL
INTEGRATED ENERGY SYSTEMS: A SCENARIO-BASED ANALYSIS OF SMART GRID
CONTROL, BATTERY ENERGY STORAGE, AND DIGITAL TWINS 51**

Xu Fumin, Wei Wei, Ruziyeva Elvira, Moldabekova A.

**FROM CULTURAL RESOURCES TO GLOBAL CONSUMER VALUE: THE BRIDGE–IMC MODEL
AND THE INTERNATIONALIZATION OF BLACK MYTH: WUKONG UNDER THE BELT AND
ROAD INITIATIVE 64**

Ibraimkhan Alikhan

**WHICH CRIMES CAN A 14-YEAR-OLD BE TRIED FOR? THE LIST IN ARTICLE 15 OF
KAZAKHSTAN'S CRIMINAL CODE COMPARED WITH 30 OTHER JURISDICTIONS 80**

Yerboluly Madi

**DID IMPORTED CARS REALLY GET CHEAPER? CHINESE CARS AND THE AVERAGE
CUSTOMS VALUE OF PASSENGER CARS IMPORTED INTO KAZAKHSTAN, 2015-2025 91**

Салимбаев Ербол Аманжолович

**АНАЛИЗ ИНВЕСТИЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ КАК ИНДИКАТОР ИЗМЕНЕНИЙ
ПОТЕНЦИАЛЬНОГО СПРОСА НА КОНСАЛТИНГОВЫЕ УСЛУГИ 99**

Rambergenov Ramil

**REGIONAL NEW-FIRM FORMATION IN UZBEKISTAN AFTER THE 2017 REFORMS:
PERSISTENCE IN SCALE, CONVERGENCE IN INTENSITY, AND RECOMPOSITION TOWARD
TRADE 107**

Abdesh Dinara

**FROM A WOMEN'S LEAD TO A MEN'S LEAD: THE GENDER GAP IN DIGITAL PAYMENTS IN
KAZAKHSTAN AND THREE CENTRAL ASIAN NEIGHBOURS, 2021-2024 116**

Amangeldi Aidana

**DID SMALL BUSINESS IN KAZAKHSTAN REALLY SHRINK IN 2026? THE NEW TAX CODE,
REGIONAL TAX RATES AND THE FALL IN THE NUMBER OF INDIVIDUAL ENTREPRENEURS 124**

Cheng Che	
BUILD, BUY, OR PARTNER? ENTRY MODE SELECTION AND RISK GOVERNANCE FOR WIND POWER INVESTMENT IN KAZAKHSTAN	133
Wang Liang	
FROM CAPACITY EXPANSION TO SYSTEM VALUE: COORDINATED DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY, GRID FLEXIBILITY AND ENERGY STORAGE IN KAZAKHSTAN	146
Chen Jun	
CONSTRUCTION-PERIOD CREDIT RISK MANAGEMENT FOR LARGE INFRASTRUCTURE PROJECT FINANCE IN KAZAKHSTAN	159
Alniyaz Danial	
HOW MUCH FUEL DOES A HYBRID REALLY SAVE? A SAME-MODEL COMPARISON OF HYBRID AND GASOLINE CARS IN US FUEL ECONOMY	173
Assem Yergali, Maral Assanova	
DIGITAL TRANSFORMATION AND SUSTAINABLE BUSINESS MODEL INNOVATION IN SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES: A SYSTEMATIC REVIEW OF DYNAMIC CAPABILITIES, VALUE CREATION, AND THE CREDIBILITY GAP IN EMERGING ECONOMIES	180
ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР - ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ - TECHNICAL SCIENCE	
Nurmakhan Almira	
ADVANTAGES OF FIBER OPTIC COMMUNICATION OVER TRADITIONAL COPPER CABLES	193
Kozhabai Bereke	
SECURITY CHALLENGES IN IOT-BASED TELECOMMUNICATION NETWORKS	201
Azamatulys Yerasyl	
WHY AI-GENERATED CODE FAILS A BENCHMARK: A FAILURE ANALYSIS OF THREE OPEN LANGUAGE MODELS ON 30 HUMANEVAL+ TASKS	210
Nurzhan Sanzhar	
A FEW SHELLS, A FEW OPERATORS: WHERE LOW EARTH ORBIT IS CROWDED IN AN ALTITUDE-INCLINATION MAP OF 16,620 ACTIVE SATELLITES	219
Askarbek Nurislam	
CAN THE WEATHER TELL WHICH DAYS IN ASTANA WILL BE POLLUTED? CLASSIFYING PM2.5 EXCEEDANCE DAYS WITH MACHINE LEARNING AND CHECKING THE DATA AGAINST A GROUND MONITOR	225
Ilyas Arman	
SHOOTING ON THE MOVE: HOW MUCH AIM A ROBOT LOSES BY IGNORING ITS OWN VELOCITY, AND WHETHER A VIRTUAL-TARGET CORRECTION RECOVERS IT	236
Ануар Әлімжан Бахытжанұлы, Сексенбаева Айша Курманбековна	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАНДАРТОВ И МЕТОДИК ОБУЧЕНИЯ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ: NICE FRAMEWORK, ECSF И ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	242
Mukhamedzhan Yerganat	
GROWTH OF GITHUB DEVELOPER COMMUNITIES IN KAZAKHSTAN, UZBEKISTAN AND KYRGYZSTAN, 2020-2026: EVIDENCE FROM THE GITHUB INNOVATION GRAPH	252
Kashkinov Alden	
WHAT DECIDES HOW LONG A LANDER WORKS ON ANOTHER WORLD? SURFACE LIFETIMES OF 55 LANDERS ON THE MOON, VENUS, MARS, TITAN AND SMALL BODIES IN THE GCAT CATALOGUE, 1966-2025	264

Kenesbek Miras	
HOW MANY HERONIAN TRIANGLES HAVE A GIVEN LONGEST SIDE? A COMPLETE COUNT UP TO 2000 AND THE RIGHT TRIANGLES HIDDEN INSIDE	276
Amirlan Seitkadyrov, Akezhan Omashev	
AUTOMATIC MULTIPLE-CHOICE QUESTION GENERATION USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE	287
Idrissov Amirzhan	
WHERE DO SMALL OPEN LANGUAGE MODELS BREAK ON OLYMPIAD MATHEMATICS? DOMAIN, DIFFICULTY AND MODEL SIZE ON OMNI-MATH	296
ПӘНДЕР АРАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР – МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ НАУКИ – INTERDISCIPLINARY SCIENCES	
Albiyev Asser	
HOW MUCH OF AN ARTICLE COUNT IS HUMAN WORK? DECOMPOSING THE CREATION OF FIVE WIKIPEDIAS, 2010–2025	301
Amangeldy Nurbolat	
HOW MUCH OF KAZAKHSTAN'S URBAN BUILT STOCK PREDATES ITS SEISMIC CODES, AND WHERE DOES THAT STOCK SIT RELATIVE TO HAZARD?	311
Torekhan Sabrina	
WHERE ALMATY WALKS ITS OWN WAY: INFORMAL SHORTCUTS IN OPENSTREETMAP AND THE DETOURS THEY AVOID	317
Ailan Salybekova	
PARENTAL SUPPORT, PARENTAL CONTROL, STRESS AND EARLY ALCOHOL USE IN ADOLESCENT GIRLS: A NARRATIVE REVIEW WITH A FOCUS ON KAZAKHSTAN	322
Yerboluly Madi	
WHY IS KAZAKHSTAN'S GENDER GAP AT THE TOP OF CHESS SO SMALL? A BIRTH-COHORT COMPARISON ON THE FIDE RATING LIST	330
ӘЛЕУМЕТТІК ЖӘНЕ ГУМАНИТАРЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР - СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ - SOCIAL SCIENCES AND HUMANITIES	
Мұқатаева Айзат Амантайқызы, Стамбекова Жанат Байғазықызы, Слямханова Гүлім Болатқызы, Қызырбек Аяулым Ерболқызы	
ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ДӘУІРІНДЕГІ ҒЫЛЫМИ ТАНЫМ: ПОППЕР, КУН ЖӘНЕ ЛАКАТОС ИДЕЯЛАРЫ ТҮРҒЫСЫНАН ТАЛДАУ	335
Мұқатаева Айзат Амантайқызы, Сапарханова Мадина Төлегенқызы, Окенова Аружан Муратхановна, Тұрсынғазыева Ақерке Ерболатқызы	
ШӘКӘРІМ ФИЛОСОФИЯСЫНДАҒЫ ЕРКІНДІК ЖӘНЕ МОРАЛЬДЫҚ ТАҢДАУ МӘСЕЛЕСІ	345
Komekova Saida	
DO UNHAPPY REVIEWERS MIX IN MORE RUSSIAN? STAR RATINGS AND KAZAKH-RUSSIAN CODE-SWITCHING IN 175,002 ONLINE REVIEWS	354
Zhumagali Yerbol	
DOES A BIGGER MODEL CLOSE THE GAP? KAZAKH-LANGUAGE ACCURACY ON KAZAKHSTAN-SPECIFIC VERSUS UNIVERSAL SCHOOL SUBJECTS IN SMALL OPEN-WEIGHT LANGUAGE MODELS	367
Abdrakhmanova Madina	
DOES A MEDAL BUY ATTENTION? WIKIPEDIA VIEWS OF KAZAKHSTAN'S ATHLETES BEFORE AND AFTER THE PARIS 2024 OLYMPIC	371

ПЕДАГОГИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ПСИХОЛОГИЯЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР – ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ И ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ – PEDAGOGICAL AND PSYCHOLOGICAL SCIENCES

Kaldarbek Mergen

FAMILY OR SCHOOL? SOCIOECONOMIC COMPOSITION AND MATHEMATICS

ACHIEVEMENT IN KAZAKHSTAN, PISA 2022 AND 2025 379

Zhenis Adilzhan

WHICH OLYMPIAD PROBLEMS DO STUDENTS TAKE TO THE BOARD? CHOICES AND

DEFENCES IN THE 8TH-GRADE LEAGUE OF KARAGANDY MATHBATTLES 2026 386

Базарбаева Айнура Бектуровна

ДЕТСКИЙ ФОЛЬКЛОР И ПОДВИЖНЫЕ ИГРЫ КАК ИНСТРУМЕНТЫ ФОРМИРОВАНИЯ

ОСНОВ ПРАВОВОЙ КУЛЬТУРЫ У ДЕТЕЙ СТАРШЕГО ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА 393

БИОЛОГИЯ ҒЫЛЫМДАР - БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ - BIOLOGICAL SCIENCES

Bazhenova Diana

GROWTH DYNAMICS OF STERLET (*Acipenser ruthenus* L.) REARED IN A RECIRCULATING

AQUACULTURE SYSTEM 396

ТУРИСТИЧЕСКИЕ И СПОРТИВНЫЕ НАУКИ - ТУРИСТІК ЖӘНЕ СПОРТ ҒЫЛЫМДАРЫ - TOURISM AND SPORTS SCIENCES

Төлеп Жазира Маратқызы

ГАСТРОНОМИЯЛЫҚ ФЕСТИВАЛЬДЕРДІҢ ТУРИСТІК ДЕСТИНАЦИЯ ТАРТЫМДЫЛЫҒЫН

ҚАЛЫПТАСТЫРУДАҒЫ РӨЛІ МЕН ДАМУ ҮРДІСТЕРІ 403

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ - ЖАРАТЫЛЫСТАНУ ҒЫЛЫМДАРЫ - NATURAL SCIENCES

Нургельдина Асель Ермаковна, Серикбаева Жанерке Алимжановна

ШЕКАРАСЫЗ ФИЗИКА: ӘР ЕЛДЕГІ ФИЗИКАЛЫҚ БІЛІМДІ САЛЫСТЫРУ 410

Torekhan Sabrina

IS ALMATY A 15-MINUTE CITY? WALKING ACCESS TO SIX EVERYDAY PLACES FROM

170,838 BUILDINGS IN THE CITY'S EIGHT DISTRICTS 417

Онгарбек Махабат Саятқызы

SU-PT ЖӘНЕ NI-PT ҚОРЫТПАЛАРЫНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ РЕТТЕЛУ

ҮДЕРІСІНІҢ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ӨЗГЕРІСІНІҢ ӘСЕРІН РЕТТЕУ 425