

БЕГИМЖАНОВА ЕРКЕЖАН ЕРНАРҚЫЗЫ

**«Экологиялық тәуекелдерді бағалауда геокеңістіктік деректерді
интеграциялау (Қарағанды облысының өнеркәсіптік аймақтары
мысалында) »**

8D07306 - «Геокеңістіктік сандық инженерия»

Философия докторы (PhD)
дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация

Ғылыми кеңесші:
т.ғ.к., профессор
К.Б. Рысбеков
PhD доктор, профессор
Ы.Жакыпбек

Шетелдік ғылыми кеңесші: т.ғ.д.,
профессор Дай Хуаян (Қытай тау-
кен техникалық университеті,
Пекин)

Қазақстан Республикасы
Алматы, 2025

БЕЛГІЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

ШРК – Шекті рұқсат етілген концентрациясы;

СИ - стандартты индекс;

ДДСҰ – Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының

ГАЖ - геоақпараттық жүйелерді

ЖҚЗ - Жерді қашықтан зондтау

ҚТҚ - Қатты тұрмыстық қалдықтар

InSAR - Интерферометриялық синтетикалық диафрагмалық радар

МАЗМҰНЫ

	КІРІСПЕ	4
1	ҚОРШАҒАН ОРТА ЛАСТАНУЫНЫҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ КАРТОГРАФИЯЛАУ	7
1.1	Қоршаған ортаны ластанушы негізгі көздері және салдары	7
1.2.	Шет елдегі және еліміздегі экологиялық проблемалардың қазіргі жағдайларын талдау	15
1.3	Экологиялық ластануды картографиялаудың әдістемелік негіздері	23
	Бірінші тарау бойынша тұжырым	26
2	ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАҒАЛАУДАҒЫ ГЕОКЕҢІСТІКТІК ЖӘНЕ ГЕОМАТИКАЛЫҚ ТӘСІЛДЕРДІ НЕГІЗДЕУ	27
2.1	Экологиялық тәуекелді бағалауда қолданылатын геодезиялық тәсілдер	27
2.2	Экологиялық тәуекел деңгейін картографиялау және интерпретациялауда ГАЗ-ды қолдану	39
2.3	Экологиялық тәуекелдерді бағалаудағы геостатистикалық әдістер	48
	Екінші тарау бойынша тұжырым	55
3	ҚАРАҒАНДЫ ОБЛЫСЫНЫҢ ӨНЕРКӘСІПТІК АЙМАҚТАРЫ БОЙЫНША ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАҒАЛАУДА ГЕОКЕҢІСТІКТІК ДЕРЕКТЕРДІ ИНТЕГРАЦИЯЛАУ	56
3.1	Қарағанды облысының өнеркәсіптік аймақтарындағы қауіптілік деңгейін талдау	56
3.2	Қарағанды облысының өнеркәсіптік аймақтарындағы ластануын деңгейін бағалау әдістемесі	63
3.3	Қауіпті аймақтарды анықтауда ауыр металдардың өзара құрамдық корреляциялық-геостатистикалық моделдеу	75
	Үшінші тарау бойынша тұжырым	91
	ҚОРЫТЫНДЫ	92
	ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	93

КІРІСПЕ

Диссертациялық жұмыс тақырыбының өзектілігі. Өнеркәсіп пен урбанизацияның қазіргі дамуы қоршаған ортаға антропогендік жүктеменің артуымен және экологиялық мәселелердің ушығуымен қатар жүреді. Қазақстан үшін, әсіресе Қарағанды облысы үшін бұл мәселе ерекше маңызға ие. Аталған өңір елдің ірі индустриялық орталықтарының бірі болып табылады, мұнда металлургия, көмір, химия және энергетика салаларының кәсіпорындары шоғырланған. Табиғи ресурстардың қарқынды пайдаланылуы, шығарындылар мен жиналған қалдықтардың жоғары шоғырлануы аймақтың халқының денсаулығына және аумақтың тұрақты дамуына әсер ететін кешенді экологиялық тәуекелдерді қалыптастырады.

Дәстүрлі экологиялық мониторинг әдістері көбінесе кеңістіктік дәлдік пен тәуекелдерді кешенді бағалау деңгейін қамтамасыз ете алмайды. Ал геокеңістіктік деректермен жұмыс істеудің заманауи технологиялары — геоакпараттық жүйелерді (ГАЗ), Жерді қашықтан зондтау (ЖҚЗ), экологиялық мониторинг пен статистикалық көрсеткіштер деректерін біріктіру — экологиялық тәуекелдерді неғұрлым дәл әрі жан-жақты бағалау үшін жаңа мүмкіндіктер береді.

Өртүрлі геокеңістіктік деректерді біріктіру ластанудың кеңістіктік заңдылықтарын анықтауға, ластаушы заттардың таралуын модельдеуге, экологиялық тұрғыдан осал аумақтарды айқындауға, сондай-ақ экологиялық жүктемені азайту бойынша негізделген шараларды әзірлеуге мүмкіндік береді. Қарағанды облысының өнеркәсіптік өңірлері үшін бұл мәселе ерекше өзекті, өйткені:

- экологиялық тәуекелдерді басқарудың тиімді құралдарын әзірлеу;
- ұлттық және халықаралық экологиялық саясат талаптарына сәйкестікті қамтамасыз ету;
- халық денсаулығы мен қоршаған ортаға теріс әсерді барынша азайту;
- тұрақты әлеуметтік-экономикалық дамудың негіздерін қалыптастыру қажеттілігі туындап отыр.

Зерттеудің маңыздылығын арттыратын факторлардың бірі — Қазақстан Республикасының стратегиялық құжаттарында экологиялық қауіпсіздік пен тұрақты даму мәселелерінің басым бағыттар ретінде айқындалуы:

- «Жасыл Қазақстан» ұлттық жобасы (2021–2025 жж.) – өнеркәсіптің қоршаған ортаға тигізетін теріс әсерін азайту мен өңірлердің экологиялық жағдайын жақсартуды көздейді;
- Қазақстан Республикасының Экологиялық кодексі (жаңа редакциясы, 2021 ж.) – қоршаған ортаға әсерді бағалау және экологиялық тәуекелдерді басқарудың заманауи тәсілдерін бекітеді.

Халықаралық тұрғыдан алғанда да бұл тақырыптың өзектілігі жоғары. Қазақстан жаһандық бастамаларға қатысушы ретінде БҰҰ-ның Тұрақты даму мақсаттарын (ТДМ, 2015–2030 жж.) іске асыру жөнінде міндеттеме алынған. Сонымен қатар диссертациялық жұмыс BR21881939 «Тау-кен металлургия

кешені үшін ресурс үнемдейтін энергия өндіруші технологияларды әзірлеу және инновациялық-инжинирингтік орталық құру» бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру жобасы аясында орындалды.

Сондықтан Қарағанды облысы мысалында экологиялық тәуекелдерді бағалау кезінде геокеңістіктік деректерді интеграциялауға бағытталған бұл зерттеу өзекті болып табылады. Ол экологиялық қауіпсіздікті басқарудың ғылыми негіздерін және практикалық құралдарын жетілдіруге, мониторингтің тиімділігін арттыруға, тәуекелдерді болжаудағы белгісіздікті азайтуға және ұлттық пен халықаралық стратегиялық басымдықтарға сәйкес келуге мүмкіндік береді.

Жұмыстың мақсаты: Қарағанды облысының өнеркәсіптік аймақтарында геокеңістіктік деректерді интеграциялау негізінде экологиялық тәуекелдерді бағалау болып саналады.

Диссертациядағы шешілетін негізгі мәселелер:

- Қарағанды облысының Теміртау қаласы өнеркәсіптік аймақтардың экологиялық жағдайын талдау;
- Экологиялық тәуекелдерді бағалау мақсатында геокеңістіктік деректерді жинақтау және интеграциялау;
- Экологиялық тәуекелдерді бағалау әдістемесін әзірлеу және ластаушы заттардың таралу аймағын модельдеу;
- ГАЖ негізінде интеграцияланған карталарды құру және визуализациялау;
- Тұрғылықты тұрғындардың қауіпті аймақтағы орналасу көрсеткішін талдау.

Зерттеу әдістері:

Алға қойылған міндеттерді шешуде жүйелі талдаулар, геокеңістіктік және статистикалық мәліметтер мен ауыр металдардың өзара құрамдық корреляциялық-геостатистикалық моделі қолданылды.

Диссертациядағы қорғалатын ғылыми қағидалар:

- Геокеңістіктік және статистикалық мәліметтерді интеграциялау арқылы өнеркәсіп аймақтардағы экологиялық тәуекелдерді бағалау әдістемесін құруға мүмкіндік береді.
- Ауыр металдардың өзара құрамдық корреляциялық-геостатистикалық моделі қауіпті аймақтарды анықтауға мүмкіндік береді.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы:

- Геокеңістіктік және статистикалық мәліметтерді интеграциялау арқылы өнеркәсіп аймақтардағы экологиялық тәуекелдерді бағалау әдістемесі ұсынылды.
- Қауіпті аймақтарды анықтауда ауыр металдардың өзара құрамдық корреляциялық-геостатистикалық моделі ұсынылды.

Ғылыми нәтижелер мен қорытындылардың негізделгендігі және сенімділігі мыналармен дәлелденеді:

- тәуекелдерді тәуекелді бағалауда геокеңістіктік және статистикалық мәліметтерді пайдаланумен;

- Тау кен өндірудегі шығарындылардың денсаулыққа қауіп қатерін сандық бағалау және корреляциялық-геостатистикалық моделі қолдаунудан;
- ғылыми нәтижелерді оқу үдерісінде енгізумен, техникалық және ғылыми жобаларын орындауда пайдаланумен.

Жұмыстың апробациясы.

Диссертациялық жұмыстың негізгі қағидалары мен нәтижелері мынадай конференцияларда баяндалды және талқыланды: Халықаралық-тәжірибелік конференция «Сатпаев оқулары» (Алматы, 2021), materiály XVIII Mezinárodní vědecko - praktická konference «Zprávy vědecké ideje -2021» (Польша, 2021), materials of the XVII International scientific and practical Conference Conduct of modern science (Praha, 2021), materialły XXII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, «Strategiczne pytania światowej nauki - 2025» (Przemyl,, 2025).

Ғылыми жариялымдар.

Диссертация тақырыбы бойынша 11 ғылыми еңбек жарияланды. Олардың ішінде 4 мақала Қазақстан Республикасы білім және ғылым министрлігінің білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған журналдарда, 1 мақала Journal of Advanced Research in Natural Science журналында, 4 мақала халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция жинақтарында, 2 мақала Scopus/Web of Science базасында Q1 квартиліне енетін, процентилі 96% General Engineering және 86% Environmental Science журналында жарияланды.

Диссертациялық жұмыстың құрылымы мен көлемі.

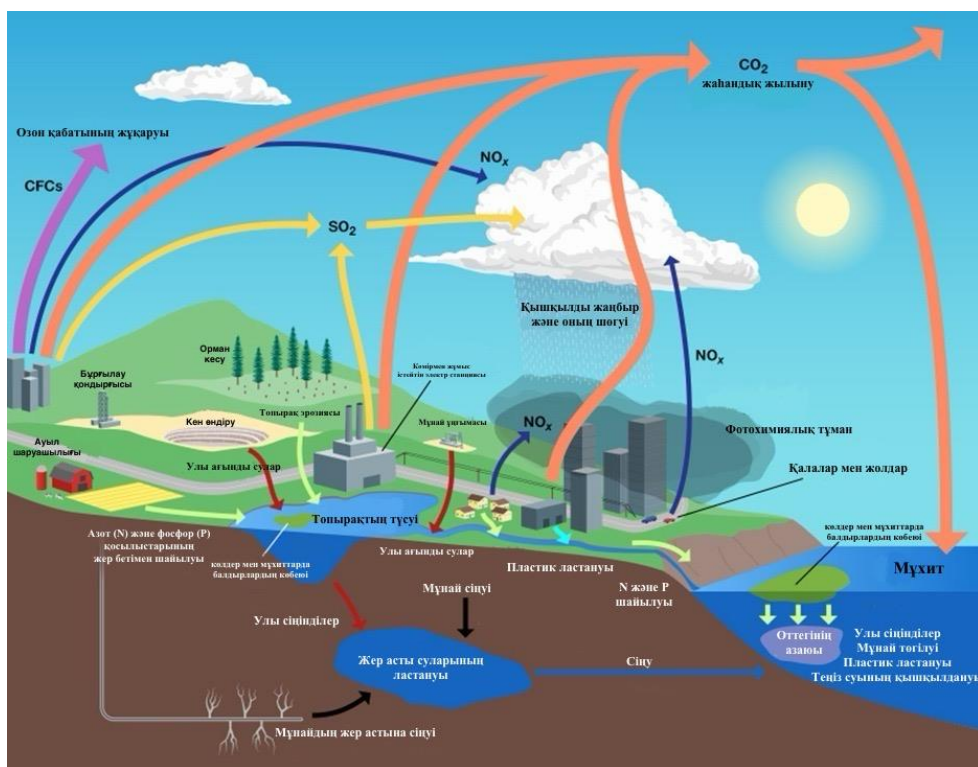
Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 3 тараудан, қорытындыдан және 115 пайдаланылған әдебиеттер тізімінен, 101 беттен, 48 суреттен тұрады.

1 ҚОРШАҒАН ОРТА ЛАСТАНУЫНЫҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ КАРТОГРАФИЯЛАУ

1.1 Қоршаған ортаны ластанушы негізгі көздері және салдары

Қоршаған ортаның физикалық және биологиялық компоненттерінің қалыпты экологиялық процестерге кері әсер ететіндей дәрежеде ластануы 21 ғасырдың ең өзекті мәселелерінің біріне айналып отыр. Бұл ластанулар адам денсаулығына, экожүйелерге және планетамыздың жалпылама қауіп төндіруде.

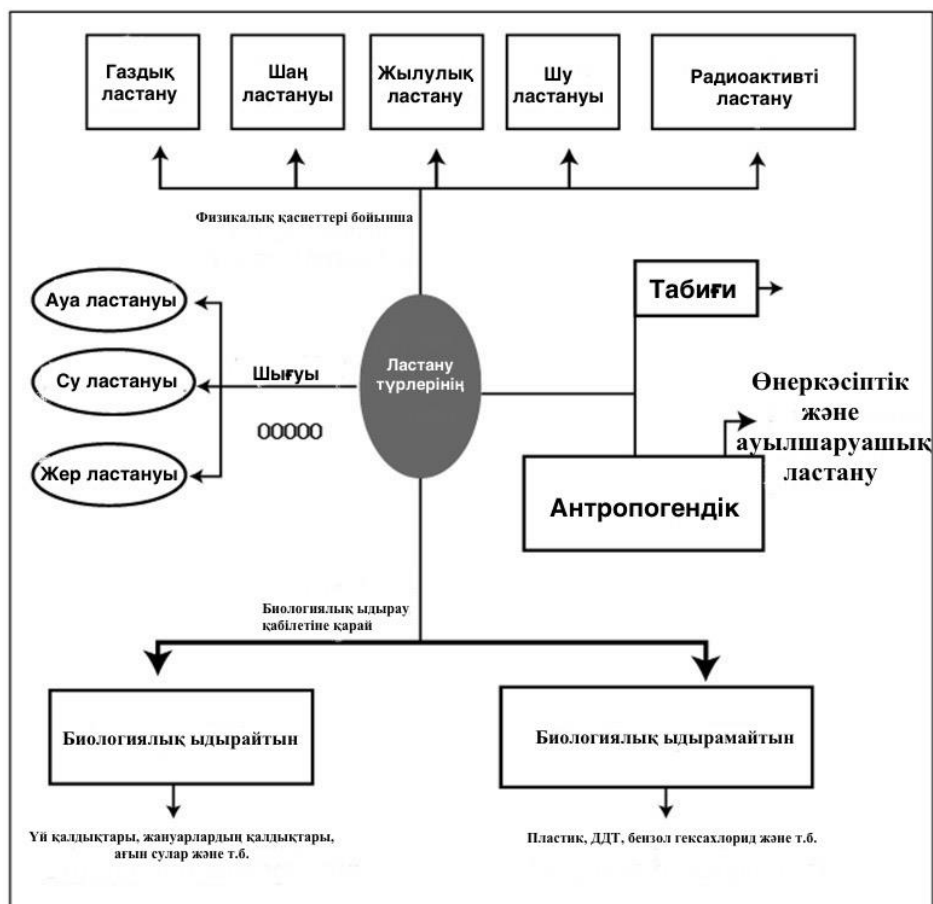
Қоршаған ортаның ластануы кез келген қатты, сұйық, газ заттардың және жылу, дыбыс, радиоактивтілік түрдегі энергияның таралуы, сұйылтуы, ыдырауы, қайта өңделуі кезіндегі табиғи ортаға әсері (1.1 – сурет). Әдетте қоршаған орта бойынша жіктелетін ластанудың негізгі түрлері ауаның, судың, жердің, шудың, жарықтың және пластикалық ластану болып табылады (1.2 – сурет). Аталмыш ластанудың барлық түрлері қоршаған ортаға және табиғатқа теріс әсер етуі және адамның денсаулығы мен әлуметтік жағдайына тікелей әсер етеді [1].



1.1 Сурет – Қоршаған ортаның ластану барысы

Ауаны ластайтын газ тәріздес ластаушы заттарға күкірт диоксиді, азот диоксиді және көміртегі тотығы жатады. Олар электр станцияларында, автомобильдерде және басқа жану көздерінде жағылатын мазут, бензин және табиғи газ сияқты қазбалы отындардан тікелей ауаға шығарылады. Түтіннің негізгі құрамдас бөлігі озон газ тәрізді ластаушы, ол атмосферада азот

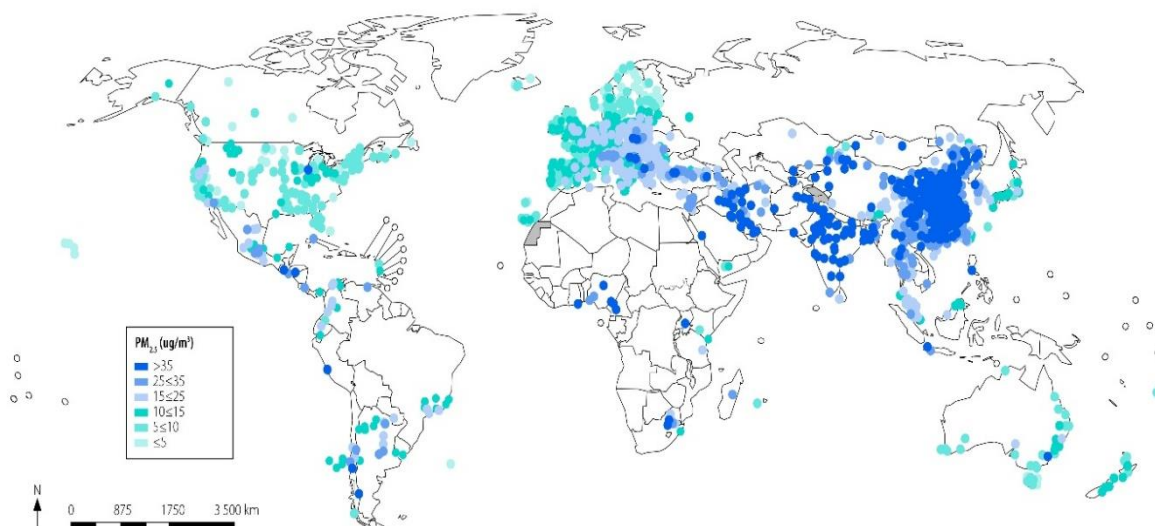
диоксиді мен әртүрлі ұшпа органикалық қосылыстар (мысалы, бензин булары) арасында жүретін күрделі химиялық реакциялар арқылы түзіледі.



1.2 Сурет – Қоршаған ортаны ластануының негізгі түрлері

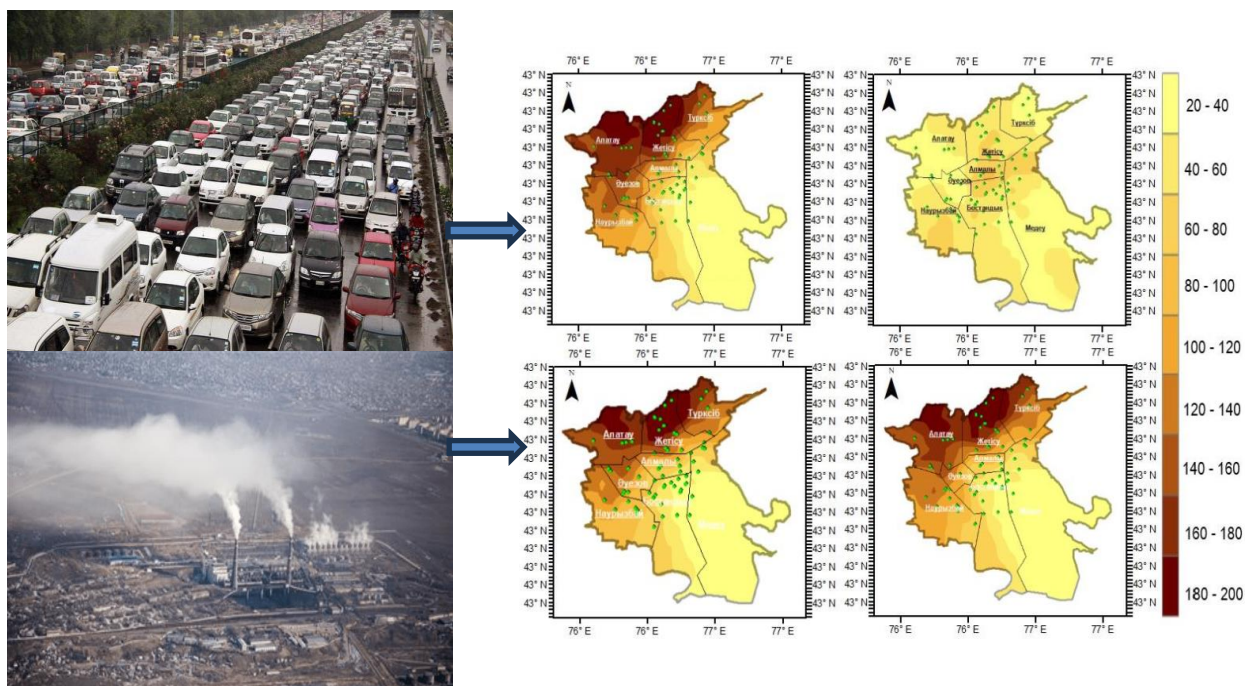
Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының (ДДҰ) мәліметінше, майда бөлшектердің (PM_{2.5}) ауадағы ластануынан әлем бойынша жыл сайын 4,2 миллион мезгілсіз өлім тіркеледі, ал әлем халқының 90%-дан астамы оның зиянды әсеріне ұшырайды. Кейбір ғылыми зерттеулер PM_{2.5} деңгейлері ДДҰ-ның ауа сапасы жөніндегі нұсқаулықтарынан бес есеге дейін асып түсетінін көрсеткен [2, 3, 4]. ДДҰ деректер базасында жинақталған PM_{2.5} жерүсті өлшемдерін қамту бүкіл әлемде біркелкі емес және жоғары және орташа кірісі бар елдерде және негізінен Қытайда, Еуропада, Үндістанда және Солтүстік Америкада шоғырланған (1.3 – сурет) [5]. Осы суретте 2010...2019 жылдар аралығындағы PM_{2.5} деректері бар елді мекендердің орналасқан жері мен өлшеулер саны бойынша картасы көрсетілген.

Атмосфералық ауаның ластануымен байланысты қоғамдық денсаулыққа төнетін қауіптер саяси шешімдерді қабылдауға және жұртшылықтың хабардар болуына әсер етеді. Бұл өнеркәсіптік ластануға байланысты денсаулық мәселелерін шешуде тиімді коммуникациялық стратегиялардың маңыздылығын көрсетеді.



1.3 Сурет – 2010 жылдан 2019 жылға дейін $PM_{2.5}$ тарату деңгейлері

Бұндай ластанушы көздерінің әсерін зерттеуде барысында Қазақстанда 2024 жылғы қаңтардағы статистикалық мәліметтер бойынша 70 елді мекеннің ішінен атмосфералық ауаның төмен ластану дәрежесіне 32, орташа ластану дәрежесіне 27, жоғары ластану дәрежесіне 8 және өте жоғары ластану дәрежесіне 3 елді мекен анықталған. Ал 2020 - 2024 жылдардың соңғы 5 жылында атмосфералық ауаның ластануының тұрақты жоғары деңгейі Қарағанды, Астана, Алматы және Теміртау қалаларында байқалады. Алматы қаласында $PM_{2.5}$ аспалы бөлшектері, көміртегі оксиді және азот диоксиді негізгі ластанушы екендігі көрсетілген. Сондықтан еліміз бойынша ауа ластануы алғашқы қатарда тұратын аталмыш аумақтардың негізгі ластанушыларын мониторингтеу және экологиялық жағдайды уақтылы бақылау өте өзекті мәселе болып табылады. Диссертант осы ғылыми жұмысты [6] орындау барысында ластануы жоғары болған Алматы қаласына бойынша зерттеу жасау барысында 2022 жылдағы қыс, көктем, жаз және күз айларындағы ластану өзгеріс теріне талдау жасалды. Зерттеу нәтижесі бойынша қыс айларында жылыту мезгілдерінің есебінен ауадағы $PM_{2.5}$ концентрациясы көктем және жаз айларына қарағанда өте жоғары, максималды көрсеткіштерге жуық мәндерді көрсетті. Ал жаз айларында бұл көрсеткіш экологиялық таза деп айтуға болады (1.4 - сурет). Еліміздегі экономикалық орталығы Алматы ластанған қалалар қатарына жатқызылып отыр. Осы себепті Алматы қаласы тұрғындарының тыныс алу органдары ауруларымен соңғы 5 жыл ішінде тіркелуі жиілене бастаған. Мұнда 79,7 %-ы бронхит, 5,9 %-ы инфекциялық бронхит, 6,4 %-ы пневмония, 3,4 %-ы астма, 3,2 %-ы өкпенің созылмалы аурулары және 1,4 %-ы инфекциялық емес бронхит. Ал бұл көрсеткіштер жас ерекшелігіне байланыстыда әр түрі көрсетіштерді көрсетуде (1.1 - Кесте).



1.4 Сурет – 2022 жылғы Алматы қаласының қыс, көктем, жаз және күз айларындағы $PM_{2.5}$ мен ластану өзгерісі

1.1 – Кесте. Алматы қаласының жас ерекшелігіне сәйкес аурулардың жіктелу көрсеткіші

№	Ауру атауы	Жас кезеңдері, %		
		Балалар 0...14 жас	Жасөспірімдер 14...18 жас	Ересектер 18-ден жоғары
1	Жедел бронхит	55,8	4,1	40,2
2	Инфекциялық бронхит	48,6	4,7	46,7
3	Инфекциялық емес бронхит	44,9	4,4	50,6
4	Өкпенің созылмалы аурулары	17,6	2,7	76,5
5	Астма	38,4	5,1	56,4
6	Өкпе қабынуы	47,3	3,9	64,6

Жоғарыда көрсетілген көрсеткіштерге негізделе отырып, адам денсаулығына әсерін азайту мақсатында, тұрақты түрде мониторингтеу өте маңызды жаһандық мәселелерге айналып отыр. Ал бұл мақалада біз Алматы қаласы ауасын ластаушы заттардың кеңістік-уақыттық таралу өзгерістерін бақылау жүгізіу мақсатында негізгі ластаушы көздерге талдау жасадық

Осындай маңызды қала Алматыда халық санының артуы, автокөлік, ЖЭО және жеке сектордағы үйлердің сапасыз көмір жағуы және көмірмен жұмыс істейтін электр станцияларының шығарындылары қала халқының өмір сүруіне қиындықтар тудыруда. Сонымен қатар автокөліктің пайдаланылған газдары мен ЖЭО шығарындыларының атмосфералық ауаға әсер етуі шектен тыс артқандығы дәлелденіп, Алматы қаласының атмосфералық ауаның сапасын, қалалық экожүйелерді қорғау мен қалпына

келтіру, урбанизацияланған аумақтарда адам үшін жайлы, экологиялық қауіпсіз өмір сүру ортасын құру үшін ластану дәрежесін дәл картаға түсіру мен әсерін нақты бағалау экологиялық тепе-теңдікті сақтауда жылдам, әрі нақты жобаларды дайындауға мүмкіндік береді. Қаладағы жағдайды жақсарту мақсатында ЖЭО-2 шығарындыларының санын қысқарту, оны газға ауыстыру, шығарындыларды бақылаудың озық технологияларын орнату немесе жана экологиялық таза электр станциялары мен жылу орталықтарын салу, ал көлік секторында жағдайды жақсарту үшін метро маршруттарын, жеке және қоғамдық көліктерді биоотынға ауыстыруды кеңейту ұсынылады.

Жердің ластануын тудыратын қалдық материалдар жалпы түрде қалалық қатты қалдықтар, үйлерден, мекемелерден, сауда мекемелерінен және өнеркәсіптік нысандардан шыққан қоқыстар жатады. Қауіпті қалдықтарға негізінен сұйық түрінде, сонымен қатар әртүрлі химиялық өндіріс компаниялары, мұнай өңдеу, қағаз және балқыту зауыттары, машина жасау цехтары, химиялық тазартқыштар, автомобиль жөндеу шеберханалары мен басқа да көптеген өндірістер немесе коммерциялық нысандар шығаратын қатты заттар, шламдар немесе газдар түрінде пайда болатын зиянды және қауіпті заттар жатады. ҚТҚ және қауіпті қалдықтарды дұрыс кәдеге жаратпау, жер асты және ағынды суларды және жердің ластануына себеп болады [7]. Қазақстанда жыл көлемінде 4,5-5 млн. т қатты тұрмыстық қалдықтар түзіледі. Оның көпшілік бөлігі полигондарға көмуге жіберіледі [8]. Қауіпті қалдықтарды жерге орналастыру әрқашан ең жақсы шешім болып табылмайды. Мұнда қатты немесе контейнердегі қауіпті қалдықтарды «қауіпсіз полигондарға» көму арқылы кәдеге жаратуға болады. Бірақ сұйық қауіпті қалдықтар геологиялық жағдайлар қолайлы болған жағдайда терең ұңғымаларды айдау жүйелерінде жер астында көміледі. Кейбір қауіпті қалдықтар, мысалы, диоксиндер, ПХД, цианидтер, галогенді органикалық заттар және күшті қышқылдар өңделмесе немесе тұрақтандырылмаса, белгілі бір концентрация шегіне сай болмаса, Құрама Штаттарда жерге тастауға тыйым салынады [9, 10, 11]. Қауіпсіз полигондарда полигонның түбі мен астыңғы таужыныстар немесе жер асты сулары қабаты арасында кемінде 3 метр топырақ болуы керек, ал тұрмыстық қатты қалдықтар полигондары үшін қажет екі есе, аяқталғаннан кейін соңғы өткізбейтін жабын және қауіпсіздікті арттыру үшін екі рет өткізбейтін төменгі төсеніш болуы керек. Жер асты айдау ұңғымалары (оларға сұйық қалдықтар жоғары қысыммен айдалады) сұйықтықты тау жыныстарының немесе саздың су өткізбейтін қабаттары арасында қысылған таужыныстың өткізгіш қабатында тұндыру керек. Сондай-ақ, ұңғымалар үш концентрлі құбырмен қапталған және тығыздалған және қосымша қауіпсіздік үшін кез келген ауыз су көздерінен кемінде 400 метр қашықтықта болуы керек. Ал Қазақстан Республикасы Статистика комитетінің мәліметі бойынша, Қазақстанда қалдықтардың пайда болуының негізгі көзі тау-кен өнеркәсібі болып табылады – жылына 88,3 млн тонна немесе жалпы жылдық қалдықтар көлемінің 68%. Тұрмыстық

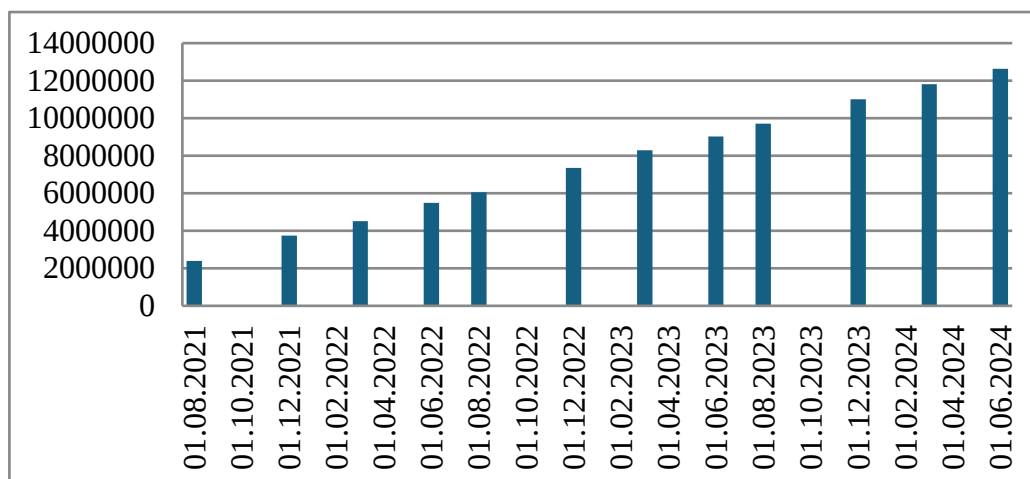
қалдықтар жыл сайынғы қалдықтардың барлық түрлерінің 2,3% (3 млн. тонна) құрайды [12].

Тұрмыстық қалдықтардың ластануы бойынша зерттеу жұмысында кішігірім бір зерттеу аумағы қарастырылды. Мұнда зерттеу нысаны ретінде Алматы қаласынан 78 км солтүстік-шығысқа қарай орналасқан қатты тұрмыстық қалдықтар полигоны алынды. Полигон аумағы-29 га. Ұзындығы-1 км, ені-380 м. Жер бедері-таулы аймақ. Апатты қоқыс алаңына айналған. Елді-мекеннің жанында орналасқандықтан, халықтың шаруашылығына, қоршаған ортаға үлкен зардабын тигізіп отыр. Диссертант 2021 – 2024 жылдары аралығында түсірістерді DJI Phantom 4RTK ұшқышсыз ұшу аппараты көмегімен 80, 120, 150 м биіктікте түсірген (1.5- сурет). Нәтижесінде полигоне аумағының құрылғанына аз уақыт болғанына карамастан, осы аз уақыттың ішінде аумағы үлкен жылдамдықпен артып жатқандығын көрсеткен (1.6 - сурет) [13].



1.5 Сурет – Түсіріс жұмыстырының орындалу барысы

Суды ластаушылар нүктелік көздерден немесе дисперсті көздерден келеді. Бұлар өнеркәсіптік нысаннан немесе қалалық кәріз жүйесінен ағызу үшін пайдаланылатын құбырлар немесе арналар. Сонымен қатар ауылшаруашылық аймағынан ағынды сулар сияқты әртүрлі ластаушы заттар. Суды ластаудың өнеркәсіптік нысаннан келетін ластануларды бақылау оңай, өйткені ластанған су жиналып, оны тазартуға болатын бір нүктеге жеткізіледі. Ал ауылшаруашылық аймағынан келетін ластаушыларды бақылау қиын. Сондықтанда суды ластау проблемаларының үлкен бөлігін тудыруда.



1.6 Сурет - Қатты тұрмыстық қалдықтар көлемі

Тау-кен жұмыстары әртүрлі әлеуметтік, экономикалық және экологиялық жағынан оң және теріс әсерлермен сыйпатталады. Экономикалық жағынан олар мемлекет кірісіне үлес қосып, айтарлықтай адамдарды жұмыспен қамтамасыз етіп, жұмыс орындарын құруға, жергілікті экономиканы көтеруге және шалғай аудандарда аса қажетті инфрақұрылымды дамытуға мүмкіндік береді. Бірақ, бұл жұмыс игерілуі қысқа, әрі экологиялық және әлеуметтік зардаптары ұзақ болып табылады. Сондықтан, зерттеу нәтижесіне сәйкес пайдалы қазбаларды игерудегі әсерлерін экономикалық, экологиялық және әлеуметтік үш категорияға бөліп жіктеуге арқылы тиімділігі талданды. Пайдалы қазбаны игеруде уақытша экономикалық өсу көрсеткенімен 1.7-суретте келтірілгендей қоршаған ортаға және әлеуметтік жағдайға кері әсерінің басым екендігін көруге болады. Сонымен қатар, пайдалы қазбаларды игеруде ауамен ингаляцияланған ұсақ шаң бөлшектері өкпе ауруын – пневмокониозды (тау жынысы – силикоз) тудырады. Мұрын-жұтқыншақ пен тыныс алу жолдарының қалыпты жағдайында ингаляциялық шаңның 90%-ы сақталады, бірақ үлкен шаң бөлшектері шырышты қабыққа қатты зақым келтіреді. Шаңның әсерінен өкпе тінінің деградациясы пайда болады. Құрамында SiO_2 бар тау жыныстарының шаңы өкпеге енгенде, ыдырауды тездететін H_2SiO_3 кремний қышқылы түзіледі [14].

Қоршаған ортадағы металдардың (лоидтардың) пайда болу көздеріне электр станциялары, электрондық қалдықтар, кәріз шөгінділері, қазба отындарын жағу, медициналық қалдықтар, өнеркәсіптік ағынды сулар, тыңғайтқышты қолдану, аэрозольдер түзілуі, ауылшаруашылық қызметі, тау – кен өндірісі сияқты факторлар жатады. Топырақтар қоршаған ортаға шығарылған металдардың негізгі сіңірушісі болып табылады. Мұнда металдар тұндыру, адсорбция, десорбция, металл оксиді немесе гидроксидінің түзілуі, гидролиз және биологиялық сияқты бірнеше күрделі физикалық және химиялық процестерден өтеді. Сонымен қатар топырақтағы металдардың жиналуын органикалық заттар, филлосиликаттар, карбонаттар

және зарядталған минералдар сияқты әртүрлі компоненттер күшейтеді. Топырақта металдардың таралуы табиғи және антропогендік болып бөлінеді. Табиғи көздерге жанартаудың атқылауы, тау жыныстарының геологиялық үгілуі және т.б. Ал металдың антропогендік көздеріне ауылшаруашылықта тыңайтқыштар мен пестицидтерді кеңінен пайдалану, металдарды өндіру және балқыту, өнеркәсіптік шығарындылар, аэрозоль шөгінділері, көмірсутектердің төгілуі жатады.



1.7 Сурет – Тау-кен өндірісінің нақты әсерін бейнелейтін тұжырымдамалық құрылым сұлбасы

Қоршаған ортада металдардың (лоидтардың) болуы экологиялық ластану мен адам денсаулығына кері әсер ететін күрделі үрдіске және ластанған ортаны тазарту жаһандық мәселеге айналып отыр. Зерттеу нәтижелеріне сәйкес, антропогендік әрекеттер әсерінен қоршаған ортаға металл (лоид) мөлшерінің шамадан тыс бөлініп отырғандығын дәлелдеді. Сондықтан зиянды металдарды (лоидты) қоршаған ортадан жою мен қалпына келтірудің тиімді әдісі ретінде фиторемедиация, ион алмасу, мембраналық фильтрация және адсорбция сияқты селективті технологияларды қолданып, қоршаған ортадағы металды (лоидты) жою қатысты көптеген жұмыстар атқарылуда.

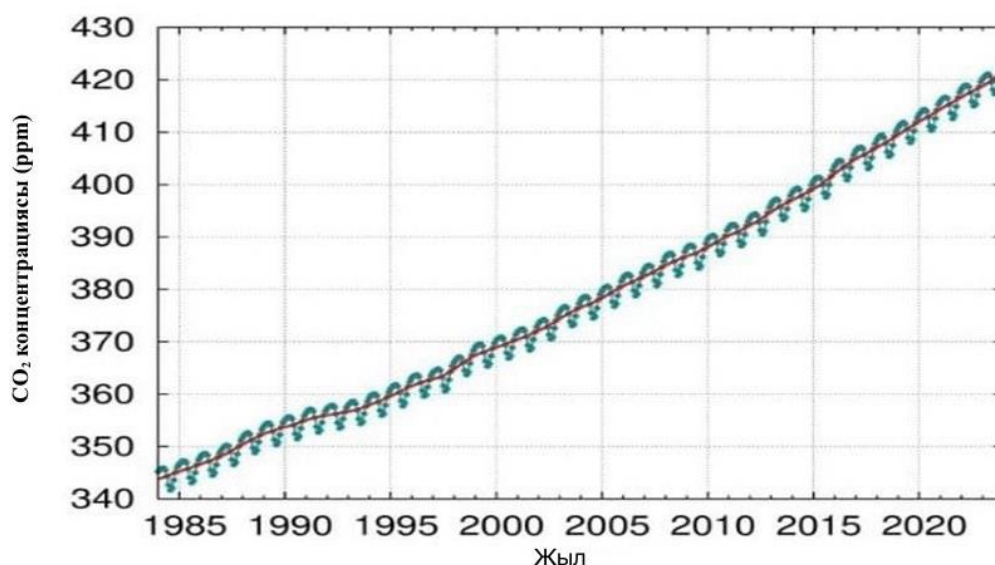
Бұл зерттеулер шығарындылардың құрамы мен таралу үлгілері кен түрі, өңдеу технологиялары және аймақтың климаттық жағдайлары сияқты көптеген факторларға байланысты болатындықтан, нақты ластағыштарды анықтап, тиімді төмендету стратегияларын әзірлеуде жергілікті зерттеулердің маңыздылығын айқын көрсетеді. Қазақстанда құрғақ және шөлейт климат жағдайлары басым болғандықтан, тау-кен және металлургиялық қызметтен шыққан қатты бөлшектер атмосферада ұзақ уақыт сақталып, жақын маңдағы халық үшін әсер ету қаупін арттырады. Сонымен қатар, өнеркәсіптік аймақтарға жақын орналасқан қауымдастықтардың әлеуметтік-экономикалық сипаттамалары көбінесе медициналық қызметке шектеулі қолжетімділікті және қоршаған ортаның денсаулыққа әсері туралы хабардарлықтың төмен деңгейін қамтиды, бұл бағытталған шаралардың қажеттілігін айқындайды.

Қоршаған ортаның ластануы қазіргі уақытта ғаламдық деңгейдегі экологиялық дағдарыстардың негізгі көзіне айналып отыр. Ауаның, судың және жердің ластануы экожүйелердің тұрақтылығын бұзып, адам денсаулығына тікелей қауіп төндіруде. Жалпы алғанда, экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін атмосфералық, жер және су ресурстарын тұрақты мониторингілеу, қалдықтарды өңдеудің заманауи технологияларын енгізу, энергия көздерін газдандыру мен көлік секторының экологиялық тиімділігін арттыру бағытында жүйелі шаралар қабылдау қажет.

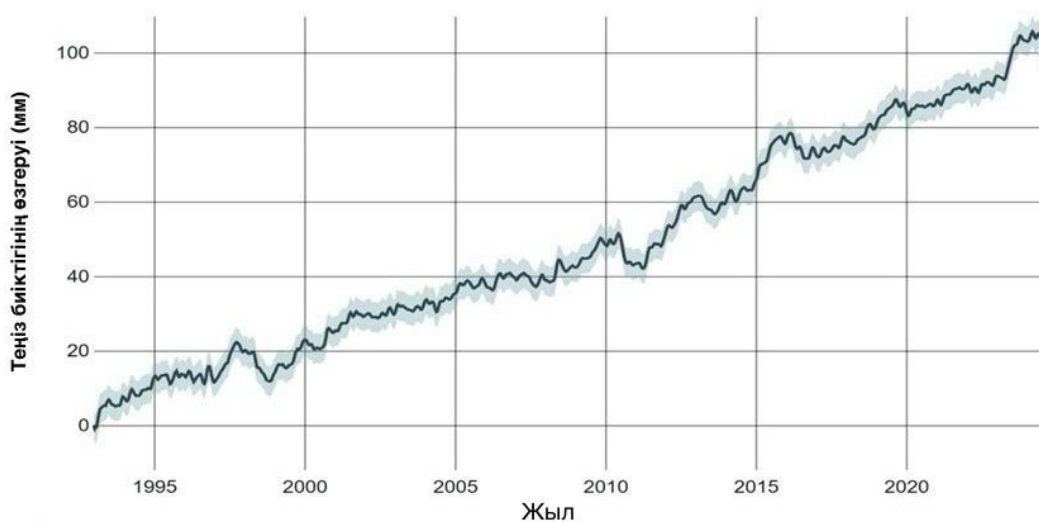
1.2 Шет елдегі және еліміздегі экологиялық проблемалардың қазіргі жағдайларын талдау

Әлем бойынша ең үлкен экологиялық проблемалардың бірі парниктік газдар шығарындылары әсерінен күннің жылуын ұстап, жаһандық жылынуға алып келуі саналады. Зерттеу бойынша 2024 жыл рекордтық ең ыстық жыл болып расталды [15]. Бұндай көрсеткіштерге ді көрсетудің басты себептері көмірді, табиғи газды және мұнайды электр және жылу үшін жағу парниктік газдар шығарындыларын арттырады, атмосферадағы жылуды ұстайды және жер бетінің температурасын жоғарлатады. Сондықтан соңғы жылдары әлем бойынша ең жойқын орман өртерінің болуы, Африканың, Таяу Шығыстың және Азияның бөліктерінде шегірткелердің қаптауы, Арктика аймақтарында мәңгілік мұздың еруі мен теңіз деңгейінің көтерілуі кездесуде (1.8, 1.9 сурет). Ал басқада экологиялық апаттарға тағам қалдықтары, ормандарды кесу, биоәртүрліліктің жоғалуы сияқты жағдайлардың тіркелуі.

Биоәртүрліліктің жоғалуы әлемнің көптеген жерлерінде өсімдіктердің, жануарлардың және басқа организмдердің азаюын сипаттайды. Соңғы 50 жылда адам тұтынуының, халық санының және урбанизацияның қарқынды өсуі байқалды. 2020 жылы сүтқоректілердің, балықтардың, құстардың, бауырымен жорғалаушылар мен қосмекенділердің популяциясы 1970 және 2016 жылдар аралығында орта есеппен 68%-ға азайғанын көрсетті [15].



1.8 Сурет – Көмірқышқыл газының (CO₂) тарихи атмосфералық концентрациясының өсуі



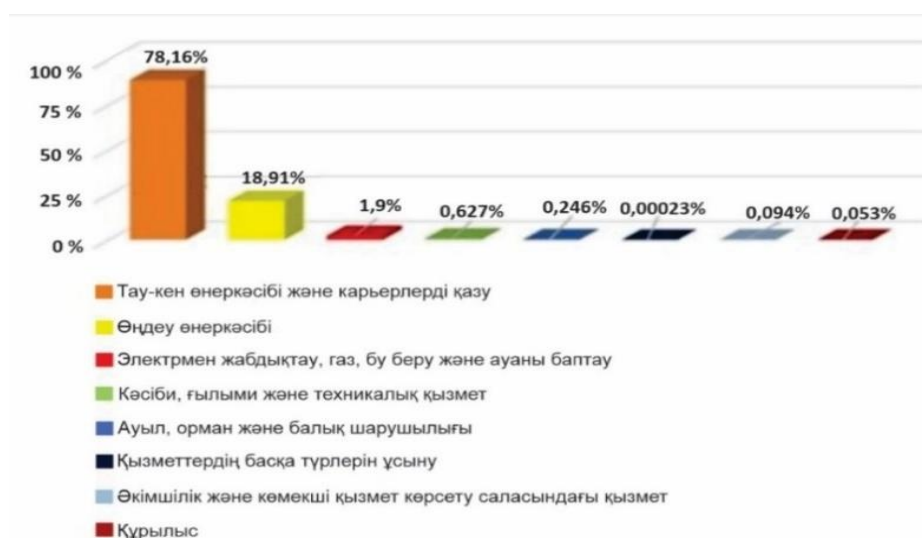
1.9 Сурет – Теңіз деңгейінің көтерілуі (1993-2025).

Қоршаған ортаның пластма заттармен ластануы жыл сайын артуда. Бұрын-соңды жасалған пластиктің 91% -ы қайта өңделмейді, олардың ыдырауына 400 жыл қажет екенін ескерсек, ол жойылғанға дейін көптеген адамдардың денсаулығына өзіндік зиян алып келеді [15].

Тау-кен және қазба отындары ресурстарды шамадан тыс игеру қоршаған ортаның нашарлауына және шектеулі ресурстардың сарқылуына әкеледі. Әлем модернизацияланып, жаһандық халық саны өскен сайын қазбалы отындар, минералдар және металдар сияқты ресурстарға сұраныстың артуы байқалады. Бұл парниктік газдар шығарындыларын жоғарылатып қана қоймайды, сонымен қатар мекендеу ортасының жойылуы мен ластануы

арқылы жергілікті қауымдастықтарды қиратуы мүмкін. Ресурстарға бай елдер қысқа мерзімде экономикалық пайда көрсе де, экологиялық және әлеуметтік шығындар орасан зор және ұзаққа созылады.

Республикамызда 2022 жылы тау-кен өндіру өнеркәсібінде пайда болған қалдықтардың жалпы көлемі 712 197,5 мың тонна, жалпы қалдықтардың 78,16 %-ын құрап отыр [16, 17]. Бұл көрсеткіш 2021 жылмен салыстырғанда 242 298,6 мың тоннаға немесе 51,5%-ға артық (1.10-сурет). Ал, 2021 жылдың қорытындысы бойынша республикада өнеркәсіптік объектілерді, желілік құрылыстарды және басқа да кәсіпорындарды салу кезінде, пайдалы қазбалар кен орындарын игеру, оларды өңдеу және геологиялық барлау кезінде бұзылған 245,2 мың га жер бар, оның ішінде 55,8 мың га жер игерілген және рекультивацияға жатады.



1.10-сурет. 2022 жылғы мәлімет бойынша республикада жиналған қатты қалдықтардың көрсеткіштері

Қазіргі уақытта Васильков алтын кен орнын ашық әдіспен игеру кезінде тау-кен жұмыстарымен бұзылған жер көлемі 2031,3 га құрайды. Аумақты бұзудың негізгі объектілері: карьер – 169,6 га; өнеркәсіп алаңы – 204,5 га; үйінді – 497,9 га; қалдық қоймасы – 903,4 га [18]. Қоңырат кен орнын ашық әдіспен пайдалану кезінде бұзылған, рекультивациялануға жататын жердің жалпы көлемі 1096,9 га құрайды, оның ішінде: 790,12 га – ауылшаруашылық алаңы, 267,1 га – экологиялық және санитарлық-гигиеналық аумақ, 39,68 га құрылыстық аумақ [19].

Нұрқазған тау-кен байыту комбинатында тау-кен жұмыстары кезінде 477,58 га жер бұзылған, оның ішінде зауыттың тұрақты қалдық қоймасының ауданы 338,25 га. Бұзылған аумақтардан кесілген өсімдік топырағының жалпы көлемі 932 425 м³ [20]. «Ақтоғай тау-кен байыту комбинаты» комбинатының жобасы бойынша жер телімінің көлемі 3754,65 гектарды құрайды. Алынған құнарлы топырақ осы объектілерді рекультивациялауда пайдалану үшін карьердің, тау жыныстарының үйіндісінің, жобаланған

өндірістік алаңдардың және объектілердің жанындағы құнарлы топырақ қабатының жобаланған үйінділерінде сақталады [21, 22].

Жер балансының деректері бойынша республиканың бұзылған аумақтарында бос және тау жыныстары үйінділері, қалдық қоймалары, күл үйінділері, тау-кен карьерлері, мұнай кен орындары мен қоралар бар. Ең көп бұзылған жерлер Қарағанды, Қостанай, Маңғыстау, Ақмола, Шығыс Қазақстан, Ақтөбе және Павлодар облыстарында орналасқан. Бұзылған жерлер аумақтарының едәуір бөлігі өнеркәсіп, көлік, байланыс, ғарыш қызметі, қорғаныс, ұлттық қауіпсіздік қажеттіліктеріне және басқа да ауыл шаруашылығы емес мақсаттарға пайдаланылады. Минералды шикізат кенорындарын ашық әдіспен игеру ауқымының жылдан-жылға қарқынды өсуіне байланысты қоршаған табиғи орта шаң-тозандармен, газдармен және зиянды химиялық заттектермен ластанады да, экологиялық тепе-теңдіктің өзгереді. Осыған байланысты, аймақтық мағынада жергілікті атқарушы органдар қолданыстағы заңнамаға сәйкес тау-кен өндіру кәсіпорнындағы бар бұзылған жерлерді қалпына келтіру бойынша қажетті шараларды қабылдауға міндетті.

Өндірістік объектілерді, желілік құрылыстарды және басқа да кәсіпорындарды салу кезінде, пайдалы қазбалар кен орындарын игеру, оларды өңдеу, геологиялық барлау жұмыстары кезінде бұзылған жер учаскелері қайта қалпына келтіруге. Республикада өз аумағындағы жерлерді бұзған 2888 кәсіпорын мен ұйым бар. 2021 жылы 3,7 мың га жер бұзылып, 15,9 мың га бұзылған жер игеріліп, 61,1 мың га бұзылған жер қалпына келтірілді. Ең көп бұзылған жер аумағы Қостанай облысында – 1,9 мың га. Ақтөбе облысында бұзылған жердің ең үлкен аумағы – 1,5 мың гектар қалпына келтірілді.

Республикада 100 миллион тоннадан астам қатты тұрмыстық қалдықтар мен 23 миллион тоннадан астам өндірістік қалдықтар, оның ішінде техногендік минералдық түзілімдер жинақталған. Олардың құрамында тұрақты органикалық ластаушылар – хром және қорғасын, кадмий және мырыш сияқты ауыр металдар бар. Өнеркәсіп қалдықтарымен, оның ішінде техногендік минералдық түзілімдермен (ТМТ) жағдай өте қанағаттанарлықсыз болып қалуда. Бүгінгі күні республикада 775 қатты тұрмыстық қалдықтар нысаны есепке алынды, оларда 34 миллиард тоннаға жуық өндірістік қалдықтар жинақталған, жыл сайынғы өсу үрдісі байқалады.

Тау-кен өнеркәсібінің дамуы жердің улы заттармен ластану процесін күшейтті. 2010 жылғы қаңтардағы жағдай бойынша республикада 43 миллиард тоннадан астам қалдықтар шығарылды, оның 600 миллион тоннаға жуығы улы. Бұл көрсеткіш жыл сайын 700 миллион тонна өнеркәсіптік қалдықтарға артып отыр, оның 250 миллион тоннаға жуығы улы. Елдің бір тұрғынына орта есеппен бір жарым мың тоннаға жуық өндірістік және коммуналдық қалдықтар келеді, бұл Еуропа елдеріндегі қалдықтардың жинақталу деңгейінен асып түседі. Ең көп үлесті Қарағанды – 29,4%, Шығыс

Қазақстан – 25,7%, Қостанай – 17% және Павлодар – 14,6% облыстарындағы тау-кен байыту кешендерінің қалдықтары құрайды.

Қостанай, Қарағанды, Ақтөбе, Шығыс Қазақстан, Павлодар, Батыс Қазақстан, Атырау және Жамбыл облыстарында орналасқан көмір, кара металдар, фосфорит өндіруші кәсіпорындарда тау-кен және өңдеу қалдықтарының біршама үйінділері жинақталған. Көмір өндіретін жерлерде топырақтың ластануының белгісі кара дақ тәрізді болып келеді, бұл өсімдіктерге арналған қоректік заттардың теңгерімсіздігімен, өндіру кезеңіндегі антропогендік жүктеменің дәрежесімен, қолданылатын агротехнологиялармен, тұрақты мониторингтің болмауымен және тау-кен кәсіпорындарындағы бұзылған жерлердің уақытылы рекультивацияланбауымен түсіндіріледі.

Барлық өнеркәсіптік аймақтарда экологиялық қауіпті әсер ету зоналары бар: қоқыс үйінділері, үйінділер, карьерлер, ұңғымалар, жалпы ауданы 60 мың гектардан асатын тау-кен қалдықтары, олар үнемі топырақты ластайды. Тек түсті металлургия кәсіпорындарының қызметі нәтижесінде 22 миллиард тоннадан астам қалдықтар жинақталды, оның ішінде 4 миллиард тоннаға жуық тау-кен қалдықтары, улы – 1,1 миллиард тоннадан астам байыту қалдықтары және 105 миллион тонна металлургиялық қайта бөлу қалдықтары.

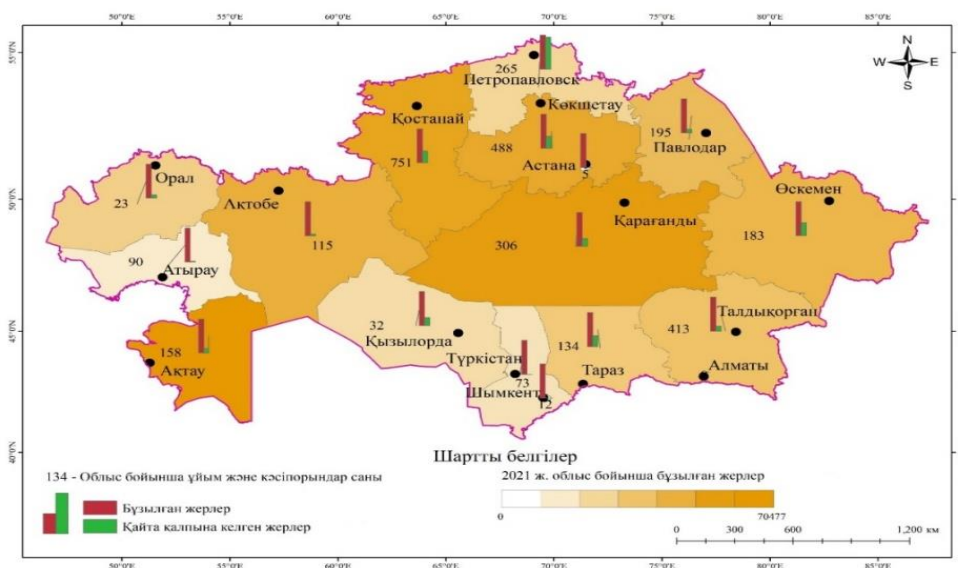
Түсті металлургия қалдықтары алып жатқан аумақ шамамен 15 мың гектарды құрайды, оның ішінде тау жыныстары үйінділері 8 мың гектарды, өңдеу зауыттарының қалдықтары – 6 мың гектарға жуығын және металлургиялық зауыттардың үйінділері – 500 гектардан астам жерді алып жатыр. Кара металлургия мен химия өнеркәсібіндегі қалдықтардың көлемі де шамамен осындай.

Республикамызда өнеркәсіптік нысандарды және желілік құрылыстарды салуда, пайдалы қазбалар кенорындарын игеруде, геологиялық барлау жұмыстарын жүргізу кезінде 171,0 мың.га жердің бұзылғандығы есепке алынған [23], соның ішінде 49,9 мың.га істен шығарылған, олар қайта қалпына келтіруге жатады. Бұзылған жердің ең көп аудандары Қарағанды (41,4 мың.га бұзылған және соның ішінде 10,1 мың.га істен шығарылған), Қостанай (сәйкесінше 30,8 мың және 8,4 мың.га), Маңғыстау (сәйкесінше 21,1 мың.га және 3,6 мың.га), Ақмола (сәйкесінше 17,5 мың.га және 7,1 мың.га), Шығыс Қазақстан (сәйкесінше 13,1 мың.га және 6,3 мың.га) және Павлодар (сәйкесінше 12,1 мың.га және 1,2 мың.га) облыстарында тіркелген.

Республика бойынша бұзылған жерлердің 1,6 мың.га қайта қалпына келтірілген, соның ішінде 0,6 мың.га ауылшаруашылық мақсатына, 1,0 мың.га басқа алқаптарға айналдырылды. Қалпына келтірілген жерлердің ең көп аудандары Қарағанды (0,9 мың.га), Қостанай (0,4 мың.га), Батыс Қазақстан (0,3 мың.га) облыстарында тіркелді. Республикада едәуір аумақтарында топырақ жамылғысының ауыр металдармен, мұнай

өнімдерімен және күрделі органикалық заттармен ластануы түрлі экологиялық проблемаларды тудыруда.

Қазақстан Республикасының Экология және табиғи ресурстар министрлігі 2022 жылғы қоршаған ортаның жай-күйі және Қазақстан Республикасының табиғи ресурстарын пайдалану туралы бойынша жауапты органдардың берген мәліметтерін зерттеу жүргізу арқылы ArcGIS бағдарламасында Республикамыз бойынша бұзылған және қайта қалпына келтірілген жерлердің салыстармалы картасы құрастырылды (1.11-сурет). Картада облыс бойынша ең көп техногендік бұзылған жерлер қоңыр қою түспен, ал аз бұзылған жерлер ашық қоңыр түспен көрсетілген. Ең қатты бұзылған жер Маңғыстау және Қарағанды облыстарында тіркелген, ал сәйкесінше қайта қалпына келген жерлердің салыстырмалы көрсеткіші диаграмма бойынша қайта қалпына келтіру жұмыстарыда жүргізілеуде. Бірақ, бұл көрсеткіш өте төмен. Ең аз бұзылған жер Атырау, Түркістан мен Оңтүстік Қазақстан облыстарында анықталған. Бірақ диаграммаға қарасақ рекультивациялау жұмыстары жүргізілмеген. Картадағы сандар облыстағы жерлерді лаптап жатқан ұйымдар мен кәсіпорындар санын көрсетеді.



1.11-сурет. 2021 ж. Қазақстан бойынша бұзылған және қайта қалпына келген жерлердің салыстырмалы картасы

Еліміздегі Дөң Кен Байыту Комбинаты– Ақтөбе облысының Хромтау ауданындағы Хромтау қаласында орналасқан хром кентастарын өндірумен және оны байытумен айналысатын кәсіпорын аумағында жүргізілген [24, 25] ғылыми зерттеу жүргізілген (1.12-сурет).

Комбинат аумағындағы жерлер карьерлер, сыртқы үйінділер, өндірістік алаңдардың аумақтары, байыту фабрикасы және т.б. мақсатта пайдаланып, антропогендік әсерден үлкен өзгеріске ұшыраған. Аумақтан 3 топырақ шұңқырына қазба жұмыстары жүргізіліп, аймақтың жаңадан пайда болған үйінділерден және тың жерлер мен көлденең беттерінен алынған топырақ

үлгілеріне химиялық және физикалық құрамына зертханалық талдау жасалығды. Нәтижелері зерттелетін Дөн ТБК зерттеу объектісінде, сондай-ақ хром өндіру және қайта өңдеу орындарынан алыс бақылау алаңдарында Cr, Zn, Cd, Co, Ni жалпы нысандары бойынша ауыр металдар мөлшері ШРК-ның асатындығы дәлелденген.



1.12-сурет. Дон кен байыту комбинатының карьері және үйінді үстінің жағдайы

Сонымен қатар Родниковое ол құрамында алтыны бар рудаларды сілтісіздендіру технологиясы бойынша ашық әдіспен игерілетін, Белая Горка әкімшілік аймаққа қарасты Шығыс Қазақстан облысының Көкпекті ауданының солтүстік бөлігінде орналасқан кен орны (1.13-сурет) [26].



1.13-сурет. Шаймалау үйіндісінің жалпы көрінісі

Родниковое кен орны үйінділерге іргелес аумақтарында топырақ сынамаларын алып, оны зертханалық талдау нәтижелері бойынша олардың экологиялық ластану дәрежесіне әсер ететін негізгі факторлары мен топырақтың ластануының басым түрлері анықталды. Ұзақ уақыт пайдаланған кен орны карьер үйінділерінің беткі 10 см қабатындағы топырақ құрамын зерттеу барысында топырақта Pb, Cd, Zn, Cu, Fe сияқты ауыр металдардың

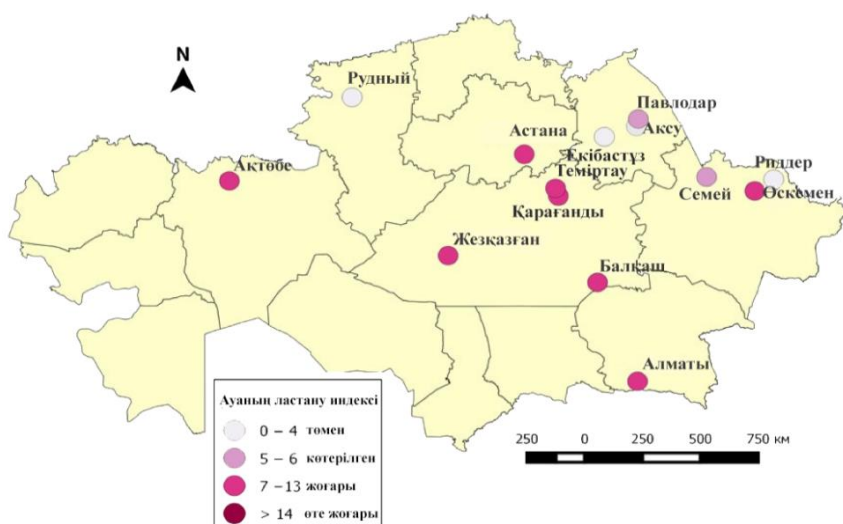
бар екенін зерттеу нәтижесі көрсетті (1.2-кесте). Сонымен қатар кен орнының үйінді топырағындағы мыс пен қорғасын деңгейі бақылаумен салыстырғанда жоғары болды.

Осылайша үйінділердің топырақтарында ауыр металдардың белсенді жинақталуы байқалады да, аумақтың топырақтары қорғасын, кадмий, мырыш, мыс және темір сынды ауыр металдармен ластанғандығы анықталды.

Жалпы елімізде 2019 жылы ауаның ластану индексінің деректері бойынша Астана (Нұр-Сұлтан), Қарағанды, Теміртау, Ақтөбе, Балқаш, Өскемен, Жезқазған және Алматы сияқты сегіз қалада ауаның ластану деңгейі «жоғары» болған (жетіден көп немесе оған тең) (1.14 - сурет). Қазақстанның халқы ең көп қоныстанған Астана (Нұр-Сұлтан) мен Алматы қалаларында қатты ластанған. Ал Павлодар және Семейде ауаның ластану деңгейі «жоғарылаған». Сонымен қатар зерттелген басқа төрт қалада ауаның ластану деңгейі «төмен» көрсеткішті көрсеткен [27, 28].

1.2-кесте. Кен орны топырағының 10 см қабатындағы ауыр металдардың көрсеткіштері

	Бақылау (мг/кг)	Кен орнының үйінділерінде (мг / кг)
Pb	0,6301	0,7625
Cd	0,0139	0,0187
Zn	1,1591	4,3376
Cu	0,2327	0,2729
Fe	11,69	11,40



1.14 - Сурет. 2019 жылы ауаның ластану индексі

Осы зерттеу нәтижесіне сәйкес жалпы тоқтатылған бөлшектер (TSP) көрсеткіші бойынша таңдалған қалалар 2019 жылы қатты ластанған. Жалпы тоқтатылған бөлшектер концентрациясы он (он екі қаланың ішінде) 100 мкг м^{-3} -тен асқан, ал SO_2 концентрациясы жеті (он төрт қаланың ішінде) 20 мкг м^{-3} -тен асты. SO_2 орташа жылдық концентрациясы Алматыда (128 мкг м^{-3}), Өскеменде (90 мкг м^{-3}) және Теміртауда (58 мкг м^{-3}) өте жоғары болған. Сегіз қала (он төрт қаладан) ауаның ластану индексі (API) бойынша ауаның ластануының «жоғары» деңгейін көрсеткен. Қыс пен жаз арасындағы ластануы бойынша айырмашылықтар көп, бұл өзгерістер қалалар мен ластаушы заттарға байланысты болып табылады. Мұндағы маусымдық өзгерістерді түсіндіру қиын, өйткені өнеркәсіптік белсенділік туралы нақты деректер жоқ [27, 28].

Сондықтан пайдалы қазбалар кенорындарын ашық әдіспен игеру кезінде тау-кен жұмыстарының қоршаған табиғи ортаға, адамның денсаулығына және ландшафтың өзгеруіне әсері тиеді. Бұл жағымсыз жағдайларды болдырмау мақсатында бұзылған жерлерді қайта қалпына келтіру жұмыстары әр елде әртүрлі деңгейде жүргізіліп жатыр. Ал елімізде жер ресурстарын тиімді пайдалануын заң бойынша басқару мен қадағалау маңызды мәселеге айналып отыр.

1.3 Экологиялық ластануды картографиялаудың маңызы

Экологиялық картографиялау мақсаты экологиялық жағдай мен оның таралу динамикасын, ластаушы факторлардың кеңістіктік және уақыттық өзгергіштігін анықтау болып табылады. Сондықтан адам денсаулығына, табиғи ортаға және экожүйелерге әсерін экологиялық картографиялау үшін мәліметтерді жинау, талдау, бағалау, интеграциялау, аумақтық интерпретация жүргізу және әртүрлі, жиі салыстыруға қиын экологиялық ақпараттың географиялық тұрғыдан дұрыс картографиялау өте маңызды мәселеге айналып отыр.

Экологиялық картографиялау әдетте табиғатты қорғауға бағытталған мемлекеттік, өңірлік және жергілікті деңгейдегі бағдарламалар мен жобаларды ғылыми-кеңістіктік ақпаратпен қамтамасыз ету мақсатында жүзеге асырылады. Қазіргі таңда экономиканың жаппай дамуы жер ресурстарын тиімсіз пайдалану, жер асты байлықтарын жаппай игеру әлемдік деңгейде жерлердің су және жел эрозиясына ұшырауына, ауыл шаруашылығы мақсатындағы жерлердің азайуына және әртүрлі техногендік ластануларға алып келуде [29-31].

қоршаған ортаның жай-күйі туралы ақпарат ағынының үнемі артуы, кеңістіктік шешімдерді қажет ететін теориялық және әдіснамалық мәселелердің едәуір күрделілігі болған жағдайында экологиялық картографиялау маңызды рөлі атқарады. Картографиялық материалдар жүйесін жетілдіру арқылы қол жеткізілетін картографиялық материалдардың

жоғары ақпараттылығы (ақпараттың тығыздалу дәрежесі), тікелей қабылдау, кеңістіктік талдау және жалпылау үшін карталардың көрнекілігі мен қолжетімділігі картографиялық әдісті ғылыми және қолданбалы зерттеулерде жаппай қолданылады.

Экологиялық картографияда үш негізгі бөлімді бөлуге болады [32]:

1. Биоэкологиялық картаға түсіру;
2. Геоэкологиялық картаға түсіру;
3. Антропоэкологиялық картаға түсіру

Соңғы жылдары қоршаған ортаны картаға түсірудің негізгі тақырыптары:

- антропогендік әсерлер және табиғи ортаның өзгеруі;
- қолайсыз және қауіпті процестер мен құбылыстар;
- табиғатты қорғау;
- медициналық-географиялық және рекреациялық;
- кешенді экологиялық;
- адамның өмірі мен қызметі үшін табиғи жағдайлар мен ресурстарды бағалау [29].

Қоршаған ортаның жай-күйін бағалау мен картаға түсірудің әртүрлі тәсілдері бар: жекелеген компоненттердің жай-күйі, ластанудың таралуы, деградация дәрежесі, экожүйелердің жай-күйі, халықтың тіршілік әрекетінің табиғи жағдайларын бағалау бойынша және т.б. қоршаған ортаның адамға әсерін зерттеудегі маңызды медициналық-географиялық карталарда келтірілген.

Автордың еңбегінде [32] экологиялық карталар жалпы табиғат карталары емес (ландшафт, топырақ, геоботаникалық және т.б.), бірақ организмдер мен қоршаған ортаның қатынастарының карталары. Көптеген қарым-қатынастарды бір ғана экологиялық карта толық көрсете алмайды. Экологиялық карта-бұл кез-келген аумақты экологиялық бағалауды жүзеге асыратын картографиялық жұмыс. Экологиялық карта тірі организмдердің жағдайына, соның ішінде адамдардың өмірі мен денсаулығына әсер ететін ортаның сипаттамаларынақтам түрде көрсетуге мүмкіндік береді.

Жіктелуі бойынша экологиялық карталар бөлінеді [33]:

- 1) базалық (аумақтың бастапқы ресурстық-экологиялық жай-күйі);
- 2) қоршаған ортаның ластануы мен бұзылуының карталары;
- 3) бағалау;
- 4) болжамды және ұсынымдық.

Кешенді экологиялық картаның негізгі мазмұны-адам өмірі үшін маңызды заманауи ландшафт құрылымы мен қоршаған орта ерекшеліктерін бағалау. Бұл факторлар экологиялық маңызды ретінде анықталады және ландшафттың ерекшелігіне байланысты. Осылайша жасалған карталар кеңістіктік-уақыттық көріністегі табиғи жағдайлар мен тіршілікті қамтамасыз ету жүйелерінің кеңістіктік және уақыттық өзгерістерін жақсы сипаттайды.

Табиғатты қорғаудағы картографиялаудың қызмет түрлері [34]:

-ғылыми-зерттеу жұмысы (табиғи ортаның құрамдас бөліктері бойынша бөлімшелермен, зерттеу әдістері, әртүрлі иерархиялық деңгейлердің аумақтық бірліктерімен немесе жаһандық ауқымда);

- атмосфералық ауаны, жер үсті және жер асты суларын, топырақ пен жер қойнауын, флора мен фаунаны, ландшафттарды (экожүйелерді) тұтастай (құқықтық, экономикалық, технологиялық, гигиеналық аспектілерді қоса алғанда; жергілікті, өңірлік, ұлттық және халықаралық ауқымда) қорғау жөніндегі практикалық іс-шаралары;

- экологиялық білім беру және тәрбиелеу (оқытуды, экологиялық білімді насихаттауды және адам мен қоғамның ақпаратқа құқықтарын іске асыруды).

Табиғатты қорғау бағытындағы ғылыми-зерттеу жұмыстарын картографиялық қамтамасыз ету жер туралы басқа ғылымдардың ұқсас міндеттерінен түбегейлі ерекшеленбейді және карталардың танымдық функциясының көріністерінің бірі болып табылады. Ғылыми-зерттеу жұмыстары барысында карталар [35] төмендегі функцияларын орындайды:

- жұмыстарды ұйымдастыру және нәтижелерді аумақтық байланыстыру мәселелерін шешу үшін пайдаланылатын зерттеу құралдары (негізінен топо-негіз);

- зерттеу пәні (объективті бар құбылыстың жеңілдетілген моделі ретінде). Осы мақсатта мазмұны мен дәлдігі бойынша ғылыми және қолданбалы мәселелерді шешуге жарамды топографиялық және тақырыптық карталарды пайдалануға болады.

Практикалық табиғатты қорғау қызметін картографиялық қамтамасыз ету белгілі бір аумақтық қамту мен бағыттылықтың мақсатты бағдарламаларын әзірлеу және іске асыру кезінде барынша толық көлемде жүзеге асырылады. Практикалық қызметке арналған экологиялық карталар[41]болып бөлінеді:

-түгендеу-бағалау (жекелеген компоненттердің және тұтастай ландшафттың көрсеткіштері мен жай-күйін бағалауды, әсер етуші факторлардың аумақтық бөліну сипаттамаларын қамтиды);

- болжамды (ағымдағы тенденцияларды сақтай отырып немесе белгілі бір сценарийлер шеңберінде болашақ дамудың кейбір күндердегі гипотетикалық нәтижелерін көрсетеді);

- ұсынымдық (экологиялық жағдайды оңтайландыру мақсатында болжамды іс-шаралардың аумақтық орналасуын көрсетеді);

- бақылау немесе мониторинг карталары (ұсынылған іс-шараларды іске асыруға байланысты жағдайды бақылау үшін).

Мұндай бөлу экологиялық карталардың ерекше қасиеті емес, өйткені оны практикалық мәселелерді шешу үшін барлық дерлік карталарға қолдануға болады.

Экологиялық картографиялаудың рөлі қоршаған ортаның жай-күйі туралы ақпарат ағынының үнемі артуы, кеңістіктік шешімдерді қажет ететін теориялық және әдіснамалық мәселелердің едәуір күрделілігі жағдайында

артады. Картографиялық белгілер жүйесін жетілдіру арқылы қол жеткізілетін картографиялық материалдардың жоғары ақпараттылығы (ақпараттың тығыздалу дәрежесі), карталардың тікелей қабылдау, кеңістіктік талдау және жалпылау үшін көрнекілігі мен қолжетімділігі картографиялық әдісті ғылыми және қолданбалы зерттеулерде таптырмас етеді.

Экологиялық-картографиялық әдіс экологиялық-географиялық зерттеудің, экологиялық-географиялық болжамдаудың, экологиялық-географиялық сараптаманың қажетті құрамдас бөлігі болып табылады. Экологиялық картаға түсіру табиғи ресурстарды пайдалану және экологиялық картаға түсіру аясында пайда болды және қазіргі уақытта тақырыптық картаға түсірудің жаңа бөлігі болып табылады.

Бірінші тарау бойынша тұжырым

1. Жер және су ресурстарының ластануы да экологиялық жағдайды нашарлатып, тұрмыстық және өндірістік қалдықтардың бақылаусыз жиналуы, қауіпті заттардың полигондарға дұрыс орналастырылмауы мен тау-кен өнеркәсібінің әсері жер асты суларының, топырақтың және экожүйелердің деградациясына әкеліп жатқандығы байқалады.

2. Ластаушы заттар қоршаған табиғи ортаға, адамның денсаулығына және ландшафтың өзгеруіне әр елде әртүрлі дәрежеде алып келіп отыр, сондықтан жер ресурстарын тиімді пайдалану және өнеркәсіптерден шығарылатын қауіпті заттар көлемін заң бойынша басқару мен қадағалау негізгі шешім болып саналады.

3. Экологиялық картографиялау табиғи және әлеуметтік-экономикалық процестердің өзара байланысын айқындап, экологиялық жағдайдың аумақтық ерекшеліктерін визуалды және талдамалық тұрғыда көрсету арқылы экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етуге, тұрақты даму стратегияларын әзірлеуге және қоршаған ортаны басқаруға мүмкіндік береді.

2 ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАҒАЛАУДАҒЫ ГЕОКЕҢІСТІКТІК ЖӘНЕ ГЕОМАТИКАЛЫҚ ТӘСІЛДЕРДІ НЕГІЗДЕУ

2.1 Экологиялық тәуекелді бағалауда қолданылатын геодезиялық тәсілдер

Қоршаған ортаның тұрақсыздануы, антропогендік және табиғи факторлардың күшеюі экологиялық тәуекелдерді дәл және уақтылы бағалаудың маңыздылығын арттыруда. Бұл тұрғыда геодезиялық тәсілдер экологиялық зерттеулердің ажырамас бөлігі болып табылады және тәуекелдерді кеңістіктік-уақыттық тұрғыда бағалау үшін негізгі ақпараттық негізді қамтамасыз етеді.

Геодезиялық өлшеулер мен координаттық бақылаулар табиғи және техногендік процестердің кеңістіктік динамикасын анықтауға, экологиялық өзгерістердің сандық сипаттамасын беруге және жер бедерінің деформациясын, шөгуін, эрозиясын немесе су деңгейінің ауытқуын жоғары дәлдікпен өлшеуге мүмкіндік береді. Бұл мәліметтер экологиялық қауіпті аймақтарды анықтау, тәуекел дәрежесін бағалау және экологиялық мониторинг жүйесін жетілдіру үшін аса маңызды.

Сонымен қатар, геодезиялық тәсілдер спутниктік навигация (GNSS/GPS) және қашықтан зондтау (ДЗЗ) технологияларымен ұштаса отырып, геоақпараттық жүйелермен (ГАЖ) интеграцияланады. Мұндай біріктірілген тәсіл табиғи ортаның кеңістіктік өзгерістерін жоғары дәлдікпен картографиялауға, экологиялық тәуекелдердің таралу аймақтарын болжауға және уақыт бойынша өзгерістерді динамикалық бақылауға мүмкіндік береді.

Жер бетіндегі және гравитациялық өрістегі кеңістік-уақыттық өзгерістерді сандық анықтау үшін ғарыштық-геодезиялық әдістерді кең көлемде қолданылады. Сондай-ақ жер қыртысының деформациясын, теңіз деңгейінің өзгеруін, геодинамикалық құбылыстарды жүйелі түрде бақылайды және талдайды. Ал ғаламдық навигациялық спутниктік жүйелер (GNSS), соның ішінде GPS, жердегі позицияларды миллиметрлік дәлдікпен үнемі қадағалап отырады. Интерферометриялық синтетикалық диафрагмалық радар (InSAR) үлкен аумақтарда, тіпті бұлттар мен өсімдіктер арқылы да жер деформациясын анықтау үшін спутниктік радарды пайдаланады. Бұл технологиялар жер үсті лазерлік сканерлерімен және дәстүрлі геодезиялық маркашкерлік аспаптармен қатар планетамыздың динамикалық әрекетін бақылау үшін сенімді негіз жасайды (2.1 - сурет).

Жер қыртысы мен оның бетінің деформациялық үдерістерін спутниктік геодезия технологиялары арқылы мониторингтеу нәтижелерін пайдалану — жер қойнауы таужыныстары массивінің табиғи кернеулі-деформациялық күйінің қалыптасу бастауларын және заңдылықтарын тануға кең мүмкіндік ашады. Бұл мәселе – геомеханика ғылымы пайда болғаннан бері Жер туралы ғылымдардың маңызды бағыттарының бірі болып табылады. Барлық түрдегі

жер қойнауын пайдалану нысандарындағы техногендік-табиғи апаттардың ең кең таралған көзі — олардың ажырамас құрылымдық элементі болып табылатын таужыныстары массивіндегі деформациялық үдерістер. Геомеханика ғылымының бүкіл даму кезеңінде жер қойнауын пайдалану қауіпсіздігін арттыруға елеулі әсер ете алатын негізгі ғылыми міндеттердің бірі – тау жыныстары массивтерінің кернеулі-деформациялық күйінің қалыптасу бастаулары мен заңдылықтарын әртүрлі кеңістіктік және уақыттық деңгейлерде ашу және олардың нысандардың қауіпсіздігімен байланысын айқындау.



2.1 Сурет - GPS деректерімен жер бедерінің сандық үлгілерін және аэрофотосуреттерді қолдану

Бұл міндетті шешуге GPS/ГЛОНАСС спутниктік геодезиясының әдістері мен технологияларын геомеханикалық зерттеулерге енгізу айтарлықтай ықпал етеді. Тік және көлденең жылжуларды миллиметрлік дәлдікпен өлшеу мүмкіндігі бар тұрақты бақылау станциялары мен геодезиялық белгілердің деректері оларды тұтас орта механикасы әдістерімен кернеу және деформация өрістеріне сәйкестендіруге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, үздіксіз немесе дискретті (сериялық) бақылауларды әртүрлі өлшеу базаларында салыстырмалы түрде аз еңбексыйымдылықпен жүргізу — уақыт бойынша әртүрлі масштабтық деңгейлерде кернеу мен деформация өрістерінің құрылымын мониторингтеудің кең мүмкіндіктерін ашады. Қазіргі уақытта Ресей аумағында және оған шекаралас Қазақстан, Украина және Беларусь аймақтарында бірнеше жүздеген тұрақты жұмыс істейтін GNSS станциялары бар, олар деректер жинап, IGS ғаламдық желісіне жоғары дәлдіктегі геодезиялық байланыс орнатуға мүмкіндік береді. Бұл жүйелі циклдік мониторингтік өлшеулер жүргізуге жағдай жасайды.

Ғарыштық геодезияның (imaging geodesy) соңғы жылдардағы дамуы — жоғары кеңістіктік айырымдылыққа және кең ауқымды қамтуға ие озық технология — зерттеушілерге төмен еңбек шығынымен жер бетінің жоғары сапалы ығысу бағаларын көп мөлшерде алуға мүмкіндік берді. Бұл геологиялық апаттарды бақылау және басқару қабілетін едәуір арттырды [36].

Ғарыштық геодезияда ығысу мәндерін анықтау үшін қолданылатын әртүрлі дереккөздер (мысалы, радарлық, оптикалық және LiDAR сенсорлары) мен талдау тәсілдері (мысалы, дифференциалды синтетикалық апертуралы радар интерферометриясы — DInSAR; көпапертуралы InSAR; пиксельдік ығысу трекингі; және ең жақын нүктелерді итерациялық сәйкестендіру әдісі — ICP) өзіндік артықшылықтар мен шектеулерге ие. Алайда, бұл дереккөздер мен әдістер арасындағы айырмашылықтар, әсіресе үш өлшемді (3D) деформация карталарын, соның ішінде жақын аймақтардағы (near-field) өзгерістерді құрастыруда, әлі толық зерттелмеген және қосымша талқылауды қажет етеді.

Континенттік ауқымдағы ірі жер сілкіністері әдетте жер бетінде күрделі жарылым торларын түзіп, кең таралған деформация аймақтарын қалыптастырады [37, 38]. Өкінішке қарай, GNSS немесе нивелирлеу сияқты сирек орналасқан жерүсті бақылау деректері мұндай деформациялардың кеңістіктік таралуын дәл анықтауға жеткіліксіз [39].

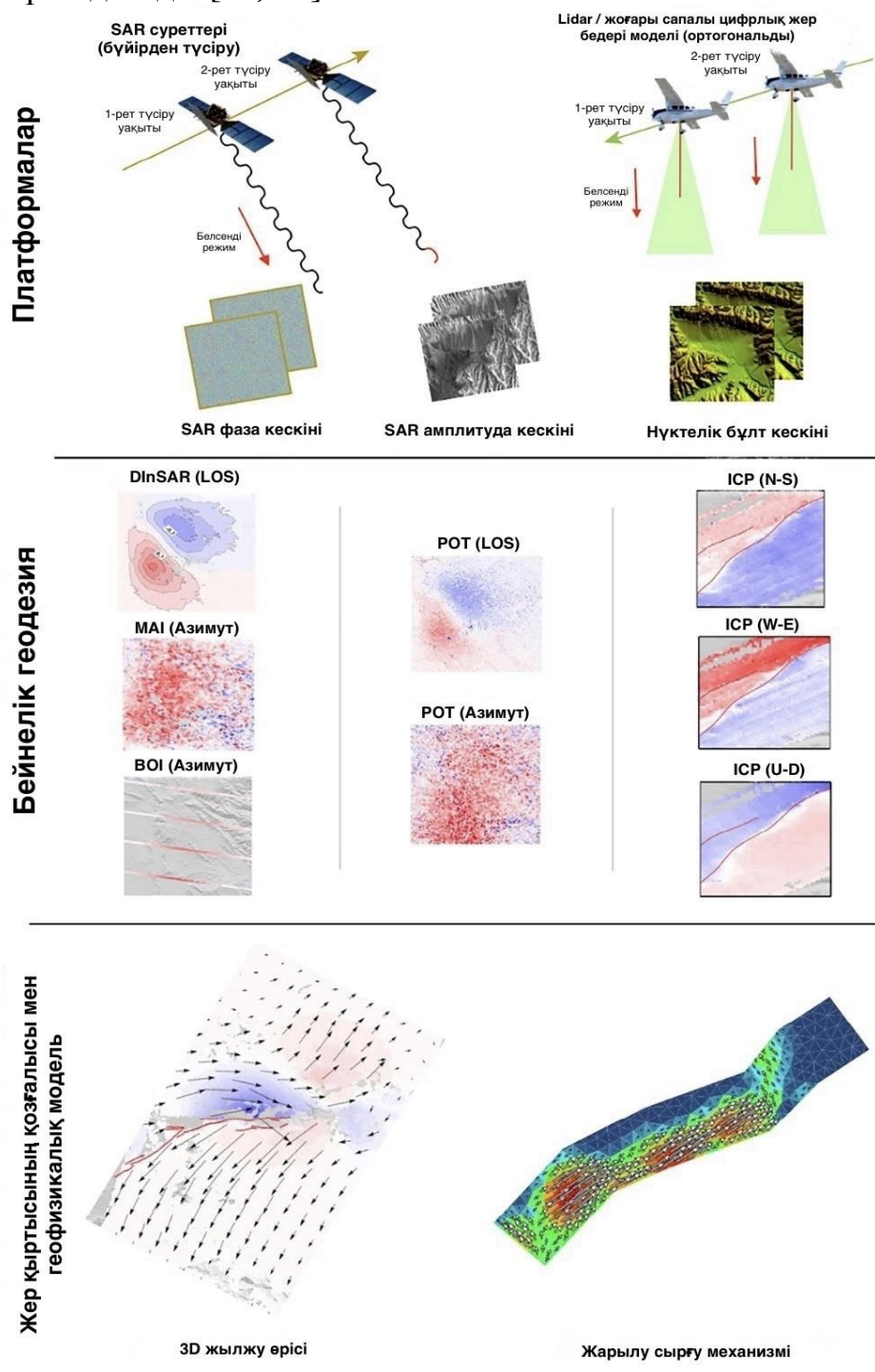
Керісінше, жоғары айырымдылыққа және кең қамту аймағына ие заманауи қашықтықтан зондтау әдістері — Ғарыштық геодезияның (imaging geodesy) жетілдірілген нұсқалары — Жер бетінің сантиметрлік масштабтағы деформациясын 1–20 метр қадаммен, ондаған немесе жүздеген километрге дейінгі аумақтарда анықтай алады. Бұл тәсіл жерүсті өлшеулердің шектеулерін еңсеріп, қазіргі таңда кескіндік геодезияны жер сілкіністерін зерттеудің стандартты бөлігіне айналдырды [40, 41].

Жоғары кеңістіктік айырымдылықпен қатар, ғарыштық геодезияның басты артықшылығы — апат аймағына тікелей бармай-ақ деректер жинай алу мүмкіндігі. Жол және байланыс инфрақұрылымы бұзылған жағдайда да спутниктік немесе әуе платформалары арқылы деректер оңай алынады [40, 42].

Ғарыштық геодезия — бұл қашықтықтан зондтау кескіндері арқылы жер бетінің деформациясын картаға түсіруге арналған барлық әдістердің жиынтығы. Бұған спутниктік оптикалық және радарлық (SAR) деректер, сондай-ақ LiDAR өлшеулері кіреді [42]. Осы деректер негізінде үш негізгі әдіс санаты қалыптасқан (2.2 – сурет):

- SAR фазалық ақпараты — InSAR немесе DInSAR әдістері (ең кең таралған және негізгі таңдау);
- SAR немесе оптикалық кескіндердің амплитудалық ақпараты — пиксельдік ығысу трекингі (pixel offset tracking), мұндағы дәлдік кескін пикселінің өлшеміне тәуелді;

- LiDAR деректері — алдын ала және кейінгі нүктелік бұлттарды салыстыру арқылы тікелей үш өлшемді (3D) деформацияны анықтайтын жоғары айырымды әдіс [43, 44].



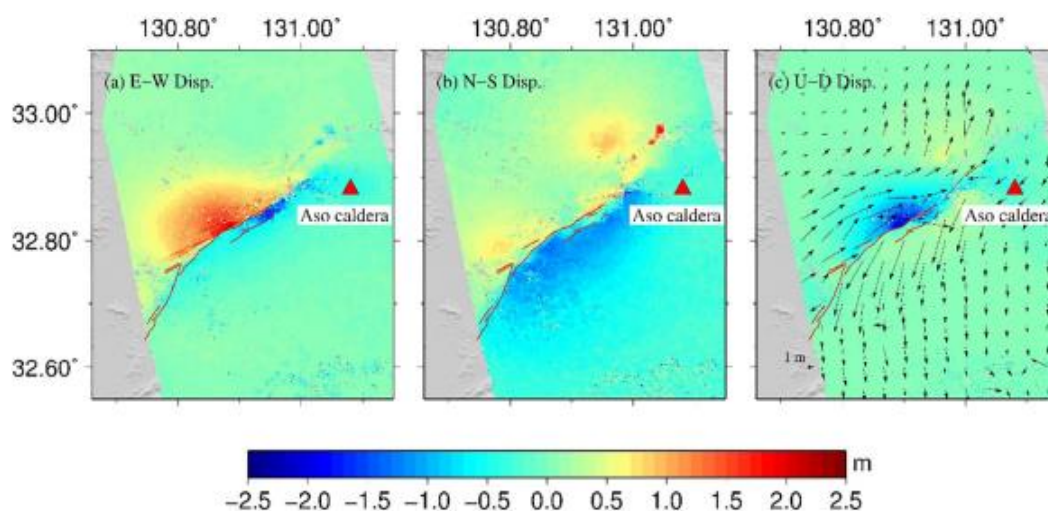
2.2 – Сурет. Ғарыштық геодезияда ығысу мәндерін анықтау үшін қолданылатын әртүрлі дереккөздер

Зерттеуде авторлар [45] әртүрлі ғарыштық геодезия әдістерін қолдану үшін қолжетімді SAR кескіндері мен LiDAR деректерін жинап, өңдеді. Нәтижелер көрсеткендей, L-диапазонды ALOS-2 спутнигінің stripmap

кескіндері С-диапазонды Sentinel-1 TOPS кескіндерінен айтарлықтай сапалырақ. SAR фазалық деректерінен алынған LOS деформацияларының дәлдігі ALOS-2 үшін $< 1,16$ см, ал Sentinel-1 үшін $< 0,44$ см. Дегенмен, ALOS-2 толқын ұзындығының ұзағырақ болуы деформация градиентіне аз сезімталдық тудырады және басты жарылым маңында жақсы когеренттілік береді.

Азимут бойынша алынған деформацияларда да ALOS-2 нәтижелері анағұрлым тұрақты: дәлдігі $< 10,3$ см, ал Sentinel-1 үшін $35,2$ см. Бұл айырмашылық Доплер жиілік жолағының тиімді енімен (ALOS-2 үшін 1671 МГц, Sentinel-1 үшін 327 МГц) түсіндіріледі. Пиксельдік ығысу бойынша ALOS-2 кескіндері Sentinel-1 деректеріне қарағанда дәлірек, өйткені олардың пиксель айырымдылығы жоғары және толқын ұзындығының ұзақ болуы когеренттілікті сақтайды. Демек, L-диапазон кескіндері жоғары сапалы деформация деректерін алуда маңызды рөл атқарады. SAR амплитудасына негізделген ығысу деректері жоғары айырымдылыққа байланысты фазалық деректермен салыстырмалы сапа көрсетті. Ұзақ уақыт бойы амплитудалық талдау тек көмекші әдіс ретінде қарастырылғанымен, бұл зерттеуде ALOS-2 кескіндерінің жоғары пиксель дәлдігі LOS және азимуттық бағыттағы нақты деформацияларды анықтауға мүмкіндік берді. LiDAR деректері нақты үш өлшемді ығысу картасын визуалды түрде алуға мүмкіндік береді және әсіресе жақын аймақтық деформацияларды анықтауда тиімді. LiDAR және SAR амплитудалық деректері когеренттілік тапшылығын толықтырып, жарылым бойындағы қосымша жарылулар мен жарықшақтарды айқын көрсетті.

Зерттеу нәтижесінде үш түрлі физикалық сигнал негізінде үш түрлі 3D деформация картасы құрылды. Фазалық әдіс жоғары дәлдікті қамтамасыз етеді, бірақ когеренттілікке тәуелді. Амплитудалық әдіс шуылдарға (speckle noise) сезімтал. LiDAR әдісі кеңістіктік қамту шектеулі болғанымен, деректердің нақтылығын арттырады. Қорытынды 3D карта негізінен фазалық, LiDAR және амплитудалық деректердің интеграциясы арқылы жасалды (2.3 – сурет). Орташа дәлдігі — көлденең бағытта 23 см және тік бағытта 18 см.



2.3 – Сурет үш түрлі бақылау деректерін (SAR фазасы, SAR амплитудасы және LiDAR) біріктіру арқылы алынған толық үшөлшемді (3D) косейсмикалық жылжулар

Бұл зерттеу 3D кескіндік геодезияның жер сілкіністерінің фокальдық механизмдерін анықтау, жарылымның динамикалық дамуын түсіндіру және геологиялық қауіптерді бағалау салаларында болашақта кеңінен қолданылуының ғылыми негізін қалайды.

Қазіргі уақытта халықтың жаһандық мәселелерін шешу, климаттың өзгеруін бақылау, табиғи және техногендік апаттардың алдын алу мақсатында ғарыштық бақылау деректерін пайдалану сұранысы қарқынды түрде өсіп келеді [46]. Жерді қашықтықтан зондтау (ЖҚЗ) — яғни ғарыштан техногендік және табиғи экожүйелердің жай-күйін бақылау — қазіргі таңда әлемнің ірі мемлекеттерінде ең табысты әрі қарқынды дамып келе жатқан инновациялық салалардың бірі болып табылады. Ғарыштық зерттеулердің өзекті бағытының бірі — экологиялық апаттар мен экологиялық шиеленісті жағдайларды анықтау үшін ғарыштық жүйелерді пайдалану болып саналады [47].

Қашықтықтан зондтау әдісі жер үсті зерттеулерімен салыстырғанда кең аумақтарды қамтудың экономикалық тұрғыдан тиімді және қайталанатын тәсілдерін ұсынады [48]. Сондықтан бұл әдіс пайдалы қазбаларды өндіру аймақтарындағы экологиялық мониторингте шешуші рөл атқара алады, әсіресе геоақпараттық жүйелер (ГАЖ), спутниктік суреттер және цифрлық классификация жүйелері қолданыла отырып, жер пайдаланудағы және өсімдік жамылғысындағы өзгерістерді автоматты түрде анықтау мүмкіндігі бар жағдайларда өзекті [49, 50].

Ауаның ластануын қашықтықтан зондтау арқылы анықтау әдісінің басты артықшылығы — кең әрі географиялық тұрғыдан біртекті аумақтарды қамту мүмкіндігі болып табылады. Бұл әдіс ірі ауқымдағы бақылауларды қолдайды және белгілі бір жер немесе құрлық бөлігі үстіндегі ауаның орташа ластану концентрациясын алуға мүмкіндік береді [51]. Алайда, ауаның ластануын қашықтықтан бақылау тек Жердің тропосферасы мен стратосферасы шегінде мүмкін. Бірқатар зерттеулер қашықтықтан зондтау арқылы алынған деректер мен жер бетінде жүргізілген өлшеулер арасында жақсы үйлесімділік бар екенін көрсетті. Сондықтан қашықтықтан зондтау деректері көбінесе ауа сапасын бағалау өлшеулерінің баламасы ретінде қолданылады [52]. Дисперсияны модельдеу әдісі атмосферадағы газдар мен бөлшектердің қозғалысын модельдеу арқылы олардың таралуын және концентрациясының өзгерісін болжауға мүмкіндік береді [53]. Сонымен қатар, деректерді өңдеу сапасы мен модельдің кіріс параметрлері дұрыс таңдалуы тиіс, себебі олардың дәл болмауы әсерді бағалауда және болжам нәтижелерінде қателіктерге әкелуі мүмкін [54].

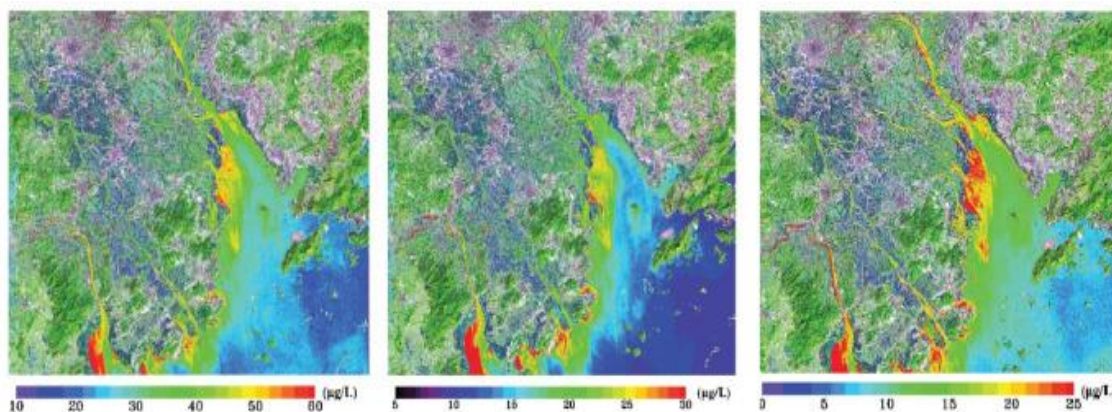
Қашықтықтан зондтау технологиялары геоақпараттық жүйелермен (ГАЖ) қатар табиғи құбылыстарды анықтау мен бақылауда үлкен әлеуетке ие. Оларға су айдындарының жай-күйін анықтау мен мониторингі, олардың

сапасы мен ластану деңгейін бағалау да кіреді [55]. 1972 жылы Landsat-1 жерсерігінің сәтті ұшырылуынан бері қашықтықтан зондтау технологиялары жарықтың су беттерінен шағылу спектрлік, кеңістіктік және уақыттық сипаттарын пайдалану арқылы су сапасын бақылауда нағыз революция жасады [56]. Бұл технологиялар спутниктер мен ұшақтарға орнатылған әртүрлі сенсорларды қолдану арқылы әртүрлі толқын ұзындықтарындағы сәулеленуді өлшейді, соның нәтижесінде судағы химиялық, биологиялық және физикалық ластанушыларды анықтауға мүмкіндік береді [57].

Су ресурстарын қашықтықтан мониторингілеу динамикалық бақылауды қамтамасыз етеді, жоғары бейімделгіштік пен тиімділікке ие және үлкен көлемдегі деректерді өңдеуді қамтуы мүмкін [58]. Сонымен бірге, бұл әдіс экономикалық тұрғыдан тиімді және өнімді болып саналады. Сондықтан қашықтықтан зондтау технологияларының дамуымен [59, 60] олардың су ластануын бақылаудағы қолданылуы барған сайын жетілдірілуде, нәтижесінде су сапасы туралы кешенді әрі динамикалық ақпарат алу мүмкіндігі кеңейіп отыр.

Қашықтықтан зондтау технологияларын дәстүрлі су сапасын бақылау әдістерімен біріктіру су экожүйелерін бағалау кезінде ластану деңгейін анықтаудың дәлдігін және толықтығын арттыра алады.

Автор [61] (2012) қашықтықтан зондтау әдісі арқылы шағылысу қабілетін (reflectance) өлшеу үшін спектрометрді пайдаланып, ауыр металдардың (Cu, Pb, Zn) концентрациясын бағалау мақсатында арнайы алгоритмдер әзірледі. Бұл зерттеу Қытайдағы өзеннің мысалында жүргізген (2.4 – сурет).



2.4 - Сурет Ауыр металдардың таралуы — мырыш (Zn), қорғасын (Pb) және мыс (Cu)

Үндістанның Тирупपुर округінде ауыр металдардың 17 түрін талдап, бұл үшін Landsat спутниктік деректерін және ICP-OES (индуктивті байланысқан плазмалық оптикалық эмиссия спектрометриясы) әдісін қолданған [62]. Италиядағы өзенде сегіз ауыр металдың таралуын зерттеп, QuickBird-2 спутниктік суреттерін пайдалану арқылы ластану деңгейлерінің

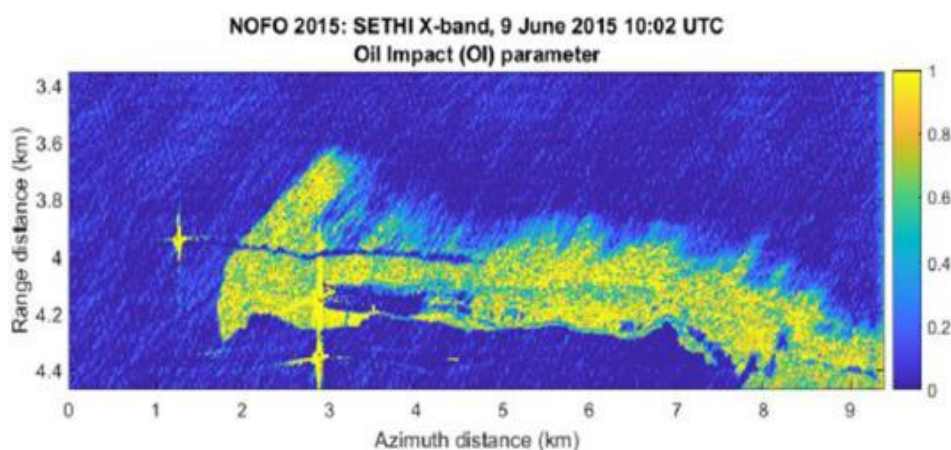
уақыт бойынша өзгерістерін анықтаған [63]. Басқа зерттеулерде спутниктік суреттер судың жалпы ластану деңгейін зерттеу мақсатында қолданылған, бұл ретте нормаланған айырмалық су индексі (NDWI) сияқты индекстер ластану деңгейлерін жіктеуге және ex-situ өлшеу нәтижелерін растауға қолданылған [64].

Анголадағы Катока кен қалдықтары қоймасының апатынан кейінгі су сапасына әсерін бағалау үшін Sentinel-2 спутниктік деректерін қолданды. Спутниктік суреттерді талдау нәтижесінде зерттеу кен қалдықтарының төгілуінен кейін қалыптасқан ластану шлейфін үлкен қашықтықтарда бақылауға мүмкіндік берді, бұл өз кезегінде ластану оқиғасының кеңістіктік және уақыттық динамикасы туралы маңызды ақпарат берді (2.5-сурет) [65].



2.5 - Сурет Кизел көмір бассейніндегі қышқылды шахталық сулармен ластанған өзендер мен түптік шөгінділердің жоғары ажыратымдылықтағы спутниктік суреттері (сол жақта — Косьва өзені; оң жақта — Оңтүстік Вильва өзені).

Сол сияқты, Sentinel-2 деректерін пайдалана отырып, тасталған шахталардың маңындағы су ластануын бақылады. Зерттеу барысында темір (Fe) концентрациясының жоғары деңгейлері мен судың «тот түстес» реңге өзгеруі арасындағы байланыс анықталды. Бұл құбылыс Кизел көмір бассейніндегі қышқылды шахталық дренаждың су сапасына айтарлықтай әсерін айқындады (2.6 – сурет) [66].



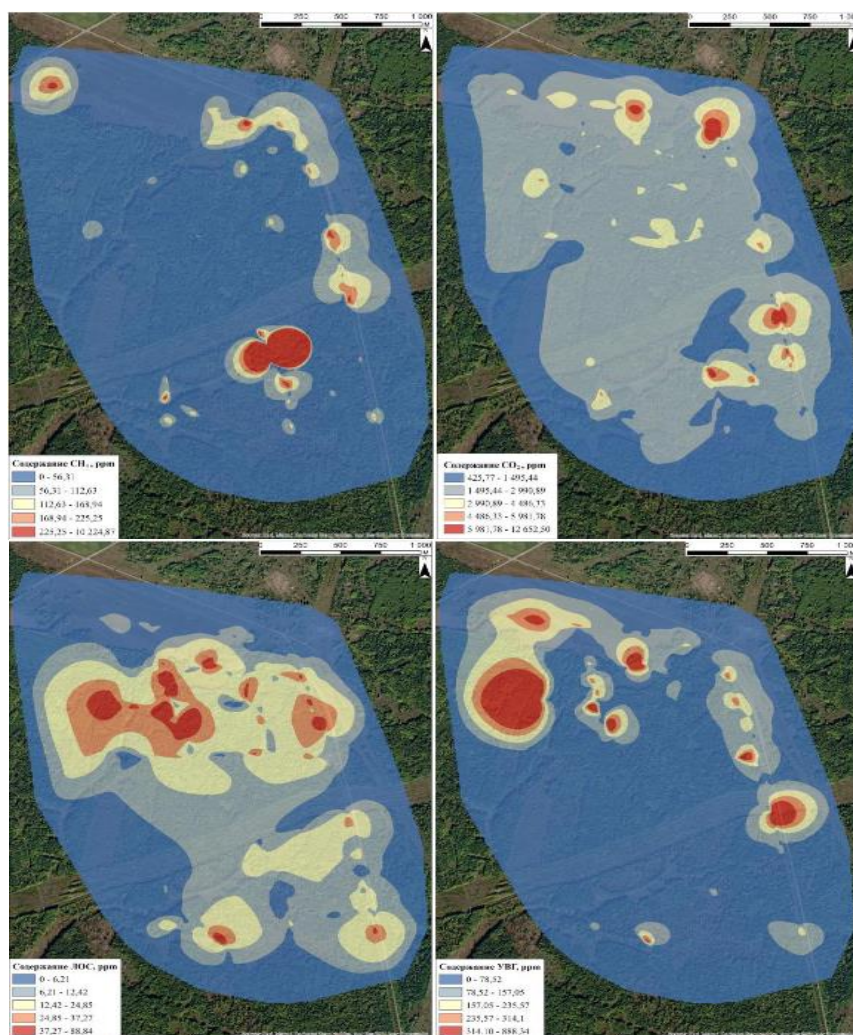
2.6 - Сурет - ОI параметрі, ол SETHI жүйесінің X-диапазонды SAR деректері негізінде есептелген (бұл ONERA ұйымының қашықтықтан зондтаудың ғылыми қолдануларын зерттеуге арналған борттық сенсоры)

Қашықтықтан зондтау деректері негізінде мұнай өндіру аймақтарындағы техногендік әсерлерді анықтау тәжірибесі бар, соның ішінде ұшқышсыз ұшу аппараттарын қолдану арқылы да табысты зерттеулер жүргізілген [67]. Алайда экожүйелерге әсер ететін жер қойнауынан бетке миграциялайтын көмірсутек газдарының ықпалын кешенді бағалау қажет. Көмірсутек газдарының өсімдіктердегі фотосинтез процесіне жанама әсерін анықтау және осы әсерді ҰҰА негізіндегі қашықтықтан зондтау әдістерімен диагностикалау — қазіргі таңда күрделі және талқылауға ашық ғылыми мәселе болып отыр.

Автор зерттеуінде [68] DJI Phantom 4 Multispectra көмегімен мұнай өндіру аймақтарының ластануына бағалау жүргізген. Түсірілім нәтижелері бойынша DJI Terra бағдарламасында көрінетін спектрде және NDVI, GNDVI, LCI, NDRE индекстерінде ортофотопландары құрылған. Мультиспектралдық индекстердің орташа мәндерін есептеу ArcMap (ArcGIS, ESRI) бағдарламасында «Зоналық статистика» (Zonal Statistics) құралының көмегімен жүзеге асырылған. Газоанализатор ECOPROBE 5 көмегімен алынған деректер гумустық қабат астындағы газ құрамын бағалау үшін пайдаланылған. Бұл аспап метанның (CH_4), көмірқышқыл газының (CO_2), ұшпа органикалық қосылыстардың (ЛОС) және C_1 – C_5 көмірсутектерінің жиынтық мөлшерінің (УВГ) концентрациясы туралы ақпарат береді. Газдардың таралу ерекшеліктері олардың шпурлардағы (сынама ұңғымалардағы) ең жоғары концентрация мәндері негізінде анықталды. Барлығы 231 шпур талдаудан өткізілді. Зерттеу нәтижелері бойынша алынған мәліметтерге сүйене отырып, зерттелген аумақтағы метан (CH_4), көмірқышқыл газы (CO_2), ұшпа органикалық қосылыстар (ЛОС) және жалпы көмірсутектердің (УВГ) таралуы 2.7 – суретте көрсетілген.

Sentinel-2 жерсерігі — ауадағы шаң-тозаң ластануын бақылау үшін таптырмас құрал, себебі ол Жер бетінің айқын және егжей-тегжейлі суреттерін қамтамасыз етеді. Sentinel-2 деректерінің жоғары кеңістіктік ажыратымдылығының арқасында шаң-тозаң концентрациясы жоғары аймақтарды нақты анықтау мүмкін болады. Бұл мәліметтерді машиналық оқыту әдістерімен талдау тек жоғары ластану аймақтарын айқындап қана қоймай, сонымен қатар оның уақыт бойынша таралуын болжауға мүмкіндік береді. Sentinel-2 деректерін тиімді пайдалану ауа сапасын бақылау мен басқаруда жаңа мүмкіндіктер ашады. Жүйелі мониторинг пен деректерді талдау арқылы ластану деңгейінің өзгерістеріне жедел әрекет етуге және оны төмендетуге бағытталған шараларды қабылдауға болады. Мұндай тәсіл қоршаған ортаны қорғауға және тұрғындар үшін денсаулыққа қолайлы әрі қауіпсіз экологиялық орта қалыптастыруға ықпал етеді.

Google Earth Engine платформасын Sentinel-2 жерсерігі деректерімен біріктіріп пайдалану — ауадағы шаң-тозаң ластануын неғұрлым дәл және егжей-тегжейлі талдауға, оның негізгі көздерін анықтауға, уақыт бойынша өзгерістерді бақылауға және ластану деңгейін төмендетудің тиімді стратегияларын әзірлеуге мүмкіндік береді. Google Earth Engine платформасының кең мүмкіндіктерінің арқасында ғалымдар мен экологтар үлкен көлемдегі спутниктік деректерді жедел өңдеп, қоршаған ортаны қорғау саласында шешім қабылдауға арналған маңызды талдамалық ақпарат ала алады [69].



2.7 - Сурет Топырақтың гумустық қабаты астындағы газдардың таралуы

Қашықтықтан зондтау деректері бойынша шаң-тозаң ластануын тиімді анықтау үшін маусымдық өзгерістер мен жер бедерінің ерекшеліктерін де ескеру қажет. Мысалы, жаз мезгілінде шаң-тозаңның таралуы өсімдік жамылғысының немесе басқа жер бетіндегі объектілердің астында жасырылуы мүмкін, бұл оны анықтауды қиындатады. Ал қысқы спутниктік суреттердің артықшылығы — қар мен мұздың жоғары альбедоға және

ерекше спектралдық сипаттамаларға ие болуында, бұл оларды бейнелерде дәл ажыратуға мүмкіндік береді. Сондықтан қысқы суреттер шаң-тозаң ластану ошақтарын анықтауда аса тиімді болып табылады.

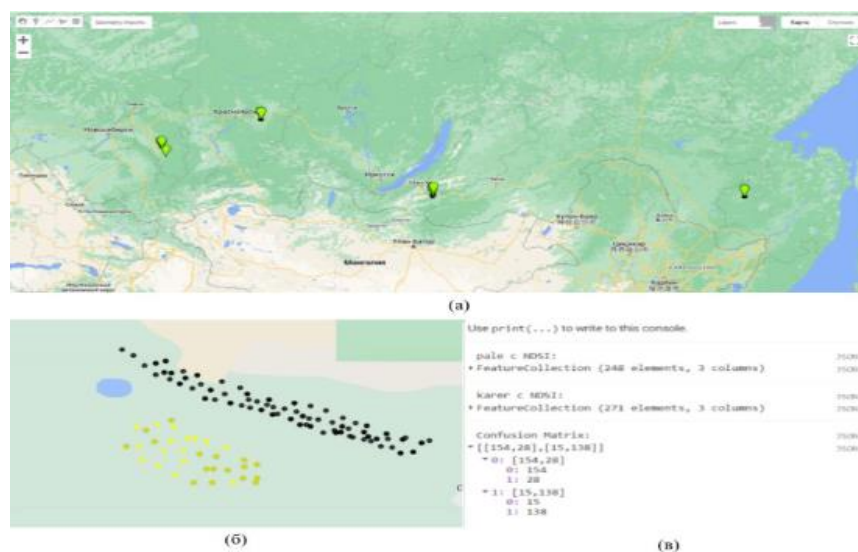
Қалыптандырылған айырмалық қар индексін (NDSI — Normalized Difference Snow Index) пайдалану — қар жамылғысы аясында шаңмен ластанған аймақтарды бөліп көрсету үшін тиімді тәсіл болып саналады.

Формуласы келесідей түрде жазылады (1-формула):

$$NDSI = \frac{(Green - SWIR)}{(Green + SWIR)} \quad (1)$$

$NDSI \geq 0.4$ мәндері, әдетте, қар мен мұз жамылғысының бар екенін көрсетеді, ал төмен мәндер — шаң немесе басқа ластаушы заттардың қоспасын білдіреді.

NDSI индексін есептегеннен кейін, оны машиналық оқыту әдістерімен, мысалы Random Forest (Кездейсоқ орман) алгоритмімен біріктіріп пайдалану — спутниктік суреттердегі шаң-тозаң ластанған аймақтарды жіктеу және олардың кейінгі мониторингін жүргізу үшін тиімді тәсіл болып табылады. [70] зерттеу жұмысы Random Forest моделінің шақмен ластануды анықтауда қаншалықты тиімді екенін айқын көрсетеді және әрі қарай модельді жетілдіруге негіз болады (2.8 - сурет).



2.8 - сурет. Карьерлердегі шаң-тозаң ластануын бинарлық классификациялау нәтижелері: (а) — нысандардың жалпы картасы; (б) — картадағы классификация нәтижелері; (в) — консольдегі классификация нәтижелері.

Жылулық ластану — бұл қоршаған ортаның табиғи деңгейінен жоғары температураға ұзақ немесе мерзімді көтерілуімен сипатталатын физикалық ластану түрі. Бұл құбылыс ең айқын түрде қалалық аумақтарда тұрақты оң температуралық аномалиялардың — “жылу аралдарының” (urban heat islands)

пайда болуымен көрінеді [71, 72]. Олардың интенсивтілігі табиғи-климаттық жағдайларға, сондай-ақ қалалық инфрақұрылымның ерекшеліктеріне байланысты болады — ең алдымен құрылыстың тығыздығы мен ауданына, материалдардың жылу сыйымдылығына, сондай-ақ тұрғындар санына [73].

Қалалардағы мұндай жылулық аномалиялардың қалыптасуы антропогендік жылу көздерімен байланысты, атап айтқанда: өнеркәсіптік кәсіпорындардан, көлік құралдарынан, тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық нысандарынан шығатын жылумен [74]. Дәстүрлі метеорологиялық өлшеулер қалалық «жылу аралдарының» кеңістіктік құрылымын егжей-тегжейлі зерттеуге және жылулық ластану көздерін анықтауға мүмкіндік бермейді. Мұндай мүмкіндіктер тек Жерді қашықтықтан зондтау (ДЗЗ) әдістерінің, атап айтқанда жылулық инфрақызыл сәулелену диапазонында ғарыштық түсірілімнің дамуы нәтижесінде пайда болды. [75] зерттеулерінде Landsat 8 TIRS ғарыштық сурттерін пайдалана отырып, келесі формулалар арқылы жер беті температурасын есептеген (2-формула).

$$T_{DN} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)}, \quad (2)$$

мұндағы: L_λ — сенсор апертурасына түсетін спектралдық жарықтылық, өлшем бірлігі: Вт/(м²·ср·мкм);

K_1 және K_2 — калибрлеу тұрақтылары, олардың мәндері әрбір спутниктік суреттің метадеректерінде (metadata) келтіріледі.

Одан әрі [76] дерегіне сәйкес, алынған жарқырау температуралары (brightness temperature) жер бетінің температурасына (LST — Land Surface Temperature) келесі формула бойынша қайта есептелді (3):

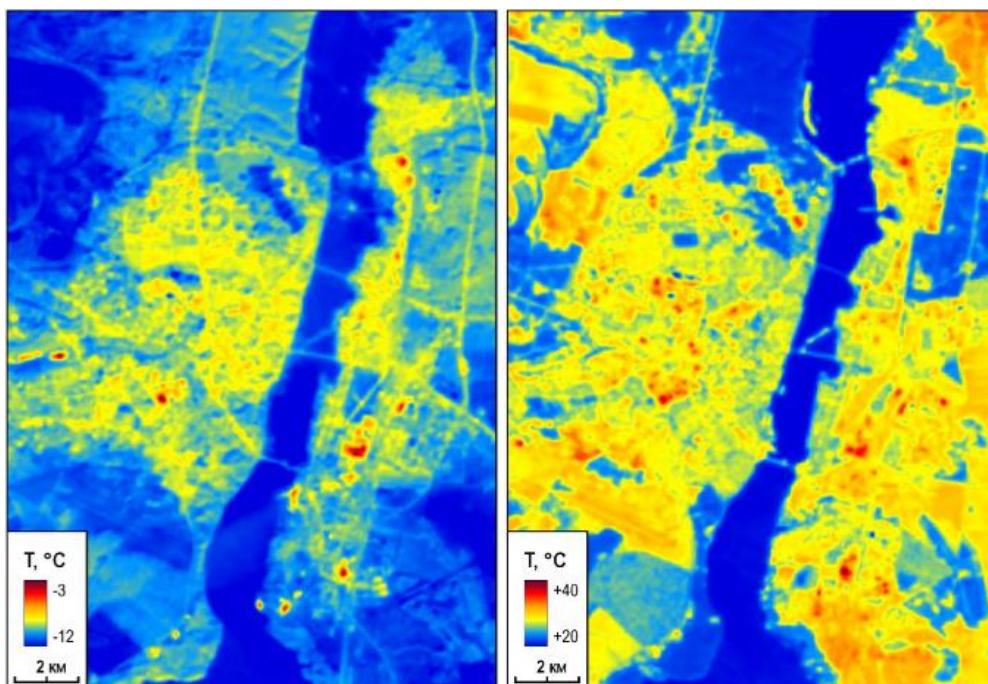
$$T = \frac{T_{DN}}{1 + \frac{1}{c_2}(\lambda \times T_{DN} \times \ln \varepsilon)}, \quad (3)$$

мұндағы: λ — сәулеленудің толқын ұзындығы;

c_2 — Планк тұрақтысының жарық жылдамдығына көбейтіндісінің Больцман тұрақтысына қатынасы, мәні $1,4388 \times 10^{-2}$ м·К;

ε — сәулелену коэффициенті немесе «қара дене дәрежесі», яғни бет материалдарының энергияны шағылыстырмай сіңіру қабілеті.

Зерттеуде спутниктік суреттерді талдау нәтижесінде алынған жер беті температураларының карталары және олардың қысқы мен жазғы айлардағы вариациялары 2.9 - суреткөрсетілген.



2.9 - Сурет. Воронеж қаласындағы жер беті температураларының карталары: сол жақта — қыс мезгіліндегі, оң жақта — жаз мезгіліндегі жағдай

Суреттегі қызғылт сары түсті аймақтар мен қызыл дақтар — бұл өнеркәсіптік аймақтардан шығатын жылулық ластану көздерін көрсетеді. Қызыл түсті дақтар, негізінен, жылу тұрақты түрде бөлінетін жекелеген өндірістік нысандарды білдіреді.

2.2. Экологиялық тәуекел деңгейін картографиялау және интерпретациялауда ГАЖ-ды қолдану

Қазіргі заманғы геоақпараттық жүйелер (ГАЖ) — бұл географиялық деректермен жұмыс істеуге арналған күрделі және көпфункционалды құралдар, олар деректермен жұмыс істеудің бес негізгі кезеңін орындайды (1-сурет): енгізу— бастапқы кеңістіктік және атрибутивтік деректерді жүйеге енгізу; өңдеу— масштабты өзгерту, картографиялық проекцияны түрлендіру және басқа геометриялық түрлендірулер; басқару (мәліметтер базасын басқару жүйесі — СУБД) — деректерді сақтау, құрылымдау және ұйымдастыру; сұрау және талдау — қарапайым және күрделі кеңістіктік сұраныстар мен іріктеулерді орындау; визуализация — алынған нәтижелерді карта түрінде бейнелеу, оған қосымша есептік құжаттар, үшөлшемді кескіндер, графиктер, кестелер, диаграммалар, фотосуреттер және мультимедиялық элементтер қоса берілуі мүмкін. Осы мүмкіндіктердің жиынтығы ГАЖ-ды кеңістіктік деректерді талдау мен шешім қабылдаудың тиімді құралына айналдырады.

Қазіргі заманғы геоэкологиялық зерттеулер геоақпараттық жүйелерді (ГАЖ) пайдаланусыз мүмкін емес, өйткені геоэкология мен табиғатты пайдалану салаларындағы ақпарат географиялық байланысқа ие. Сондықтан осы бағыттардағы мамандар өз жұмысында ГАЖ технологияларын деректерді визуализациялау (электрондық карталар жасау), кеңістіктік талдау жүргізу, бастапқы ақпаратты сақтау, экологиялық сараптама орындау және басқарушылық шешімдер қабылдауға дайындық үшін кеңінен қолданады. Сонымен қатар, геоақпараттық жүйелердің құрамына ақпараттық-өлшеуіш модульдер енгізілуі мүмкін. Мұндай жағдайда қоршаған ортаны үздіксіз мониторингілеу нәтижелерін нақты уақыт режимінде визуализациялау мүмкіндігі пайда болады. Бұдан бөлек, ГАЖ жүйелері қоршаған ортадағы ластанушы заттардың таралуын модельдейтін компьютерлік модельдер үшін дерек көзі бола алады, сондай-ақ экологиялық жүйелердің жұмыс істеу модельдерінің нәтижелерін электрондық карталар түрінде көрсетуге мүмкіндік береді.

Осылайша, ГАЖ технологияларының көмегімен мамандар:

- құбыр желілерінің үзілуі мүмкін аймақтарын алдын ала болжай алады;
- картада ластану таралуының ықтимал бағыттарын қадағалап, қоршаған ортаға келтірілуі мүмкін залалдың көлемін бағалай алады;
- сондай-ақ апат салдарын жоюға қажетті қаржы көлемін есептей алады.

ГАЖ құралдары арқылы өнеркәсіптік кәсіпорындарды олардың зиянды заттар шығарындыларына байланысты іріктеуге, жел бағытының және жерасты суларының қозғалысын көрнекі түрде көрсетуге, сондай-ақ шығарындылардың қоршаған ортада таралуын модельдеуге болады [77]. Экологиялық тәуекелдерді бағалауда ГАЖ-құралдарының көмегімен үлгілеуге және талдауға болатындығы 2.10-суретте келтірілген.

Геоақпараттық жүйелердегі (ГИС) деректерді жинау – тәуекелдерді талдау мен кеңістіктік шешім қабылдаудағы ең маңызды алғашқы кезең. Бұл кезеңде зерттеу аймағына қатысты барлық кеңістіктік және атрибутивтік ақпарат жүйелі түрде жиналып, бірыңғай форматқа келтіріледі (2.11-сурет).

Деректердің негізгі түрлері:

- Топографиялық және картографиялық деректер – жер бедерін, рельеф пен табиғи объектілердің орналасуын сипаттайды;
- Қашықтықтан зондтау (ДЗЗ) деректері – спутниктік суреттер мен аэрофотосуреттер арқылы жер бетінің өзгерістерін бақылауға мүмкіндік береді;
- Геологиялық және гидрологиялық деректер – жер қыртысының құрылымы, өзен жүйелері мен жер асты сулары туралы мәлімет береді;
- Метеорологиялық ақпарат – ауа температурасы, жауын-шашын, жел жылдамдығы сияқты климаттық факторларды қамтиды;
- Демографиялық және инфрақұрылымдық деректер – халық саны, елді мекендердің орналасуы, жолдар мен инженерлік желілер туралы мәліметтер;

- Далалық бақылау және GPS өлшеулері – зерттеу нәтижелерін нақтылау және картографиялық дәлдікті қамтамасыз ету үшін қолданылады.



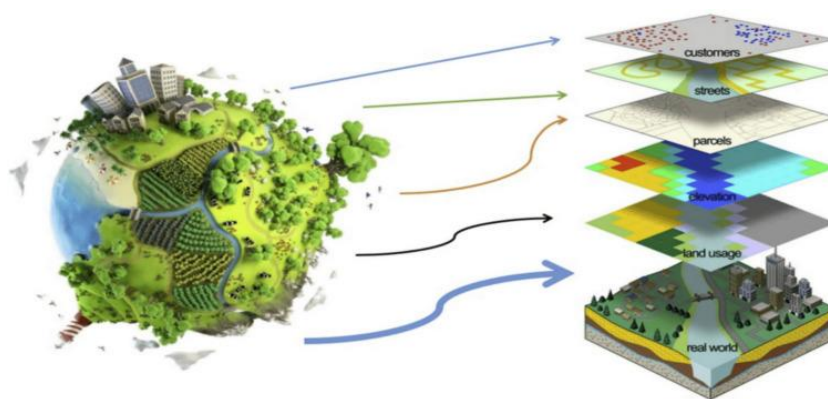
2.10 - Сурет ГАЖ құралдарының құрылымы

Барлық деректер бірдей координаталық жүйеге (мысалы, WGS 84) ауыстырылып, геобазаға енгізіледі. Кейін олар тақырыптық қабаттар түрінде біріктіріліп, тәуекелдерді, қауіп аймақтарын және осалдық деңгейін анықтау үшін қолданылады [78].

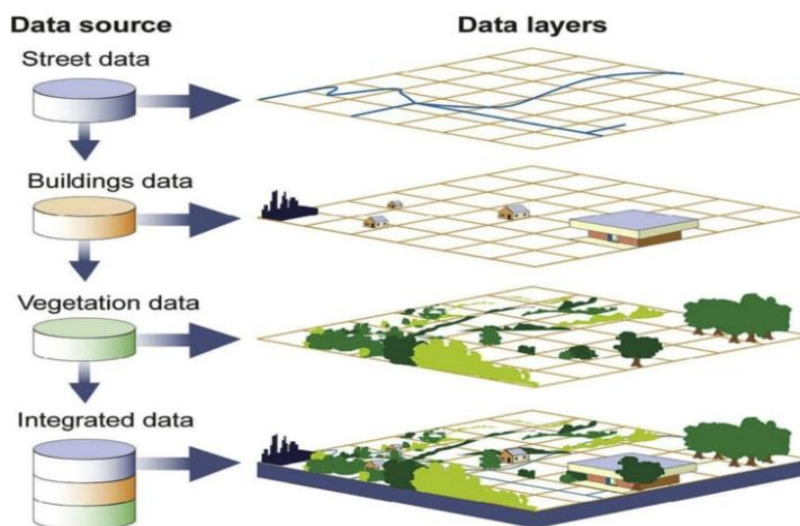
Геоақпараттық жүйелерде (ГАЖ) база құру және мәліметтерді талдау – ГИС-анализдің ең маңызды кезеңдерінің бірі болып табылады. Бұл кезеңде алынған кеңістіктік және атрибутивтік деректер жүйелендіріліп, талдау мен модельдеуге дайындалады. ГАЖ базасы — әртүрлі көздерден алынған кеңістіктік және сипаттамалық ақпаратты біріктіретін құрылымдалған деректер жиынтығы (2.12-сурет).

Базаны құру кезінде келесі әрекеттер орындалады:

- Деректерді жинау және форматтау (GPS, қашықтықтан зондтау, карталар, статистикалық мәліметтер);
- Координаталық жүйелерді сәйкестендіру және проекциялау;
- Атрибутивтік кестелерді біріктіру және құрылымдау;
- Деректер сапасын тексеру (қателерді, бос мәндерді түзету);
- Біртұтас геодеректер базасын (geodatabase) құру.



2.11 - Сурет Экологиялық тәуекелдерді бағалауда бастапқы мәліметтерді жинау



2.12 - Сурет Біріктірілген геокеңістіктік деректер базасы

Кеңістіктік талдау — бұл ArcGIS, QGIS сияқты геоақпараттық жүйелерде (ГИС) кеңістікке қатысты деректерді зерттеу, өңдеу және қолдану әдістерінің жиынтығы. Оның мақсаты — орналасу, арақашықтық, бағыты, тығыздық сияқты кеңістікке тән сипаттамалар арқылы мәліметтерден мәнді ақпарат алу.

Буферлеу (buffering) — кеңістіктік талдау әдістерінің маңызды бөлігі, ол картадағы нысандардың айналасында тұрақты радиус шегінде дәл географиялық шекаралар құруға мүмкіндік береді. Бұл әдіс нүктелік объектілерге, сызықтық элементтерге немесе күрделі пішінді аумақтарға бірдей қолданылады. ГИС жүйесіндегі бұл негізгі құрал кеңістіктік байланыстарды анықтап, бастапқы нысандардан белгілі бір қашықтықтағы аймақтарды бейнелейтін жаңа полигондар жасайды. Мысалы, қалалық жоспарлаушылар мектептердің айналасында буферлік аймақтар құрып, жаяу жетуге болатын тұрғын аудандарды анықтай алады. Ал эколог-ғалымдар

өзендер бойында буферлік зоналар салып, қорғалатын сулы-батпақты экожүйелердің экологиялық дәліздерін картаға түсіреді.

Буферлеу әдісі кеңістіктік талдауда өлшеулердің нақтылығын қамтамасыз етіп, объектінің шекарасынан барлық бағытта бірдей қашықтықты сақтай отырып, айқын әсер ету аймақтарын құрады. Бұл аймақтар кейінгі кеңістіктік операцияларда — мысалы, қауіп аймақтарын бағалау, инфрақұрылым қолжетімділігін талдау немесе экологиялық мониторинг жүргізу кезінде — талдауға, картаға түсіруге және шешім қабылдауға қолданылады. Осылайша, буферлеу жекелеген нысандарды ықпал ету, қызмет көрсету немесе осалдық аймақтарына айналдырып, кеңістіктік модельдеудің негізін қалайды.

Қабаттастыру талдауы (Overlay analysis) — бұл ГИС-тегі ең қуатты кеңістіктік әдістердің бірі. Ол бірнеше карта қабаттарын біріктіре отырып, әртүрлі кеңістіктік деректер түрлері арасындағы жасырын байланыстарды анықтауға мүмкіндік береді. Бұл әдісті түсіну үшін мөлдір карталарды елестетіп көріңіз: мысалы, топырақ сапасы, жер бедері және жер учаскелері карталары бірінің үстіне бірі қабатталып салынады. Осындай қабаттастыру нәтижесінде олардың өзара қиылысқан және әсер еткен аймақтарын дәл анықтауға болады.

Қабаттастыру талдауы жаңа білім алуға, түрлі табиғи және әлеуметтік факторлардың өзара байланысын көруге мүмкіндік береді. Мысалы, ауыл шаруашылығында бұл әдіс құнарлы топырақ пен қолайлы дренажы бар аймақтарды анықтау үшін қолданылады.

Экологиялық жоспарлау мамандары су басу қаупі бар аймақтар мен тұрғын аудандардың қабаттарын біріктіріп, табиғи қауіп деңгейін бағалай алады. Ал маркетинг саласында мамандар табыс деңгейі мен бәсекелестердің орналасуын қабаттастыру арқылы жаңа дүкендер ашуға ең қолайлы орындарды анықтайды.

Қабаттастыру талдауының негізгі күші — «қай жерде?» деген күрделі сұраққа жауап беруінде. Ол әртүрлі кеңістіктік деректер жиындарын біріктіріп, шынайы жағдайды толық көрсететін, шешім қабылдауға бағытталған практикалық карталарды жасауға мүмкіндік береді [79].

Кеңістіктік интерполяция әдістерінің ішінде жиі қолданылатындары:

- инверсті қашықтық әдісі (IDW) — мәндерді белгілі нүктелерден арақашықтыққа кері пропорционал негізде интерполяциялау;
- кригинг әдісі (кәдімгі, әмбебап, индикаторлық) — кеңістіктік автокорреляцияны есепке алатын геостатистикалық тәсіл;
- сплайн-интерполяция — тегіс беттерді құру үшін қолданылады.

Кері арақашықтықты өлшеу әдісі (IDW — Inverse Distance Weighting) бірнеше өңірлік топырақ сапасын бағалау зерттеулерінде кеңінен қолданылған және бұл әдіс ГАЗ пен көпөлшемді статистикалық талдау әдістерін біріктіру үшін пайдаланылады [80]. IDW әдісі жылдам орындалуы, қолданудың қарапайымдылығы және түсінікті интерпретациясымен

ерекшеленеді, сондықтан кеңінен қолданылатын интерполяциялық әдістердің бірі болып табылады [81].

Кері қашықтықпен интерполяциялау (IDW) әдісі мәліметтерді интерполяциялау кезінде проекцияланған мәндерді бар деректердің сызықтық комбинациясы ретінде көрсетуге негізделген. Интерполяциялық функцияның негізгі тұжырымдамасы келесі математикалық өрнекпен сипатталады:

$$F(z) = \frac{\sum_{i=0}^n w_i z_i}{\sum_{i=0}^n z_i}$$
$$w_i = d_i^{-p}$$

мұнда:

$F(z)$ — интерполяция нүктесіндегі бағаланған мән,

z_i — белгілі i -нүктедегі мән,

n — интерполяция үшін пайдаланылатын белгілі нүктелердің жалпы саны,

d_i — i -нүкте мен интерполяция жүргізіліп жатқан (бағаланатын) нүкте арасындағы қашықтықты көрсетеді,

" w_i " — i -нүктеге берілген салмақты білдіреді. Бағаланатын нүктеге жақын орналасқан мәндерге көбірек салмақ беріледі.

Бұл әдісте жақын орналасқан мәндерге көбірек салмақ беріледі. Хіе және басқалардың зерттеуі бойынша [82], салмақ пен қашықтық арасында кері пропорционалды байланыс бар, яғни қашықтық артқан сайын салмақ төмендейді. Қашықтық артқан сайын салмақтың қаншалықты төмендейтінін p дәрежелік айнымалысы анықтайды.

Кригинг – геостатистиканың негізгі интерполяциялық моделі. Ол геостатистикаға қатысты барлық әдістердің негізі болып табылады – интерполяция, ықтималдық картасы, стохастикалық модельдеу. Кригингін басқа интерполяция әдістерімен, мысалы, кері қашықтық әдісімен салыстырғандағы маңызды артықшылығы – болжам қатесінің болуы, яғни тек нүктелік қана емес, сонымен қатар болжанған мәндер үшін интервалдық бағалау да есептеледі. Тағы бір артықшылығы – кеңістіктік өзгергіштік ерекшеліктерін (корреляция радиусы, анизотропия) ескеру, бұл семивариограмма моделінде көрініс табады. Кригингін көптеген түрлері болжам жасау процесіне априорлық ақпаратты енгізуге мүмкіндік береді. Әрбір әдісті қолдану зерттеу мақсаттарына, оның қандай кеңістіктік масштабта жүргізілетініне және болжамның қажетті дәлдігіне байланысты болады [83].

Кригингінң принципі – ізделетін нүктеде немесе аумақта айнымалы мәнін бағалау үшін көршілес нүктелердегі айнымалы мәндерінің салмақтарын анықтауға негізделеді. Әрбір нүктенің үлес салмағы вариограмма негізінде есептеледі. Салмақтар қажетті мәнді бағалау бейтарап болатындай және бағалаудың дисперсиясы минималды болатындай етіп таңдалады. Белгілі бір сынама алу нүктесі ізделетін нүктеге немесе аумаққа

неғұрлым жақын болса, оның мәні есептеуге соғұрлым көп үлес қосады. Түсінікті болғандай, бағалау үшін тек корреляция радиусынан аспайтын қашықтықта орналасқан нүктелерді ғана пайдалану орынды [84].

Кригингтің стандартты нұсқасы кәдімгі кригинг (ОК) деп аталады. Ординарлы кригинг (ОК) табиғи құбылыстарда байқалатын кеңістіктік өзгерістердің кем дегенде бір бөлігі кездейсоқ процестер арқылы, кеңістіктік автокорреляцияны қолдана отырып, үлгіленуі мүмкін деген болжамға негізделеді. Кригинг әдістері кеңістіктік құрылымдық заңдылықтарды сипаттау мен модельдеуде, өлшенбеген нүктелердегі мәндерді болжауда, сондай-ақ осы болжаммен байланысты қателіктерді бағалауда қолданылады. Ол келесі формула (5) түрінде көрсетілген:

$$\hat{Z}(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i * Z(x_i) \quad (5)$$

мұндағы: $\hat{Z}(x)$ – нүктедегі интерполяцияланған мән;

$Z(x_i)$ - белгілі нүктелердегі өлшенген мәндер;

λ_i – кригинг теңдеулер жүйесінен анықталатын салмақтар;

n - интерполяция үшін қолданылатын ең жақын белгілі нүктелер саны.

Кәдімгі кригингтің (ОК) қарапайым кригингтен айырмашылығы, ол орташа мәнді білуді қажет етпейді. Кәдімгі кригингте орташа мән тұрақты деп есептеледі, бірақ ол белгісіз. Сонымен қатар, кәдімгі кригинг, жергілікті бағалауды пайдаланған кезде, орташа мәnniң бүкіл бағалау аймағында тұрақты болуын талап етпейді; $W(x)$ бағалау нүктесіне жақын жерде ғана орташа мән тұрақты деп есептеледі. Кішігірім төңіректегі тұрақты ортаны болжау шынайырақ, әсіресе деректерде кеңістіктік үздіксіздік болуына байланысты болғандықтан.

Әмбебап кригинг деректерде қандай да бір басым тренд бар деп болжанғанда қолданылады, бұл тренд детерминирленген полиномиальды функция арқылы үлгіленуі мүмкін. Әмбебап кригинг әдісі вариограмма немесе ковариация (автокорреляцияны сипаттайтын математикалық түр) негізінде құрылады, сонымен қатар: трендті ескеруге, өлшеу қателіктерін есепке алуға, деректерге түрлендіру (трансформация) жүргізуге мүмкіндік береді.

Әмбебап кригинг немесе трендпен кригинг белгісіз орташа мән $m(x)$ зерттелетін аймақтың барлық аумағында біркелкі өзгереді деп болжайды. Кейбір жағдайларда $W(x)$ есептік нүктесіне жақын жерде де орташа мәnniң жергілікті тұрақтылығын қабылдау мүмкін емес [85]. Мұндай жағдайларда қолдануға болатын ықтимал тәсілдердің бірі — дәл осы универсалды кригинг болып табылады :

$$Z(s) = \mu(s) + \varepsilon(s) \quad (6)$$

мұндағы $\mu(s)$ – екінші ретті полиноммен сипатталатын белгілі бір детерминирленген функция;

$\varepsilon(s)$ – кездейсоқ қате, ол бастапқы деректерден екінші ретті полиномды шегеру арқылы есептеледі.

Кригингтің артықшылығы – ол интерполяцияланған мәндерді ғана емес, сол мәндердің ықтимал қатесін де бағалай алады [86].

Қарапайым кригинг (Simple Kriging, SK) интерполяция үшін универсалды кригингпен бірдей үлгіні қолданады, бірақ бұл жағдайда $\mu(s)$ мәні белгілі тұрақты ретінде қабылданады [87].

Кокригинг — бұл кригингтің көпөлшемді дамуы, мұнда топырақ қасиетін болжау процесіне екінші бір айнымалы қосылады, ол өлшеуге жеңіл немесе ол бойынша мол деректер бар болуына байланысты. Бұл белгілі бір деңгейде дәстүрлі статистикадағы регрессия әдістеріне ұқсас. Кокригингтің негізгі идеясы — бір айнымалының мәндерін онымен корегинализацияланған екінші айнымалының мәндері бойынша интерполяциялау. Кокригинг бір қасиетті екінші қасиет арқылы индикациялау мақсатында қолданылады, яғни бір қасиетті анықтау екіншісіне қарағанда әлдеқайда оңай болған жағдайларда (мысалы, соңғысын талдаудың жоғары құнына байланысты).

Мысалы, егер бір учаскеде гранулометриялық құрам бойынша көп мөлшерде дерек болып, ал ылғалдылық бойынша тек аздаған өлшемдер болса, онда ылғалдылықтың жетіспейтін деректерін гранулометриялық құрам негізінде есептеп алуға болады. Кокригингті пайдаланудың кригингімен салыстырғандағы артықшылығы — айнымалылар арасындағы корреляция неғұрлым жоғары және топырақ қасиеттерін болжауға негіз болатын қосымша ақпарат неғұрлым көп болған сайын, соғұрлым тиімді болатынында [82].

Кросс-валидация әрбір ауыр металдың концентрациясы бойынша өлшенген және болжаған мәндерді салыстыру үшін қолданылды. Интерполяция нәтижелерінің сапасын бағалау үшін төрт түрлі семивариограмма моделі (шеңберлік, сферикалық, экспоненциалды және гаусс моделі) тексерілді. Ең жақсы болжау моделін анықтау үшін келесі көрсеткіштер есептелді: орташа қате (ME), орташа квадраттық қате (RMSE), орташа стандартты қате (ASE), квадраттық орташа қате (MSE) және стандартталған орташа квадраттық қате (RMSSE) (формулалар (3)–(7)).

Кригинг әдісі бейтарап (bias-free) болып саналатындықтан, орташа қате (ME) нөлге жақын болуы керек. Орташа квадраттық қате (MSE) орташа қатені стандарттау үшін қолданылады және ол да идеалды жағдайда нөлге жақын болуы қажет. Орташа квадраттық қате (RMSE) мен орташа стандартты қате (ASE) өзара мүмкіндігінше жақын болуға тиіс.

Егер болжау нәтижелері өлшенген мәндерге жақын болса, стандартталған орташа квадраттық қате (RMSSE) шамамен 1 болуы керек. Егер $RMSSE > 1$ болса — болжау мәндері төмендетілген, ал егер $RMSSE < 1$ болса — болжау мәндері асыра бағаланған болып есептеледі. Сонымен қатар, RMSE мәні неғұрлым кіші болса, соғұрлым модель дәлірек деп саналады [88].

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{Z(X_i) - \hat{Z}(X_i)\}^2,$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{Z(X_i) - \hat{Z}(X_i)\}^2},$$

$$ASE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sigma^2(X_i)},$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{ME}{\sigma^2(X_i)},$$

$$RMSSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{ME}{\sigma^2(X_i)} \right)^2},$$

Мұнда:

- N — деректер жиынтығындағы мәндердің саны,
- $Z(X_i)$ — i -нүктесінде өлшенген мән,
- $\hat{Z}(X_i)$ — i -нүктесінде болжаған (интерполяцияланған) мән,
- s^2 — X нүктесі үшін кригинг дисперсиясы (күтілетін қателік немесе белгісіздік мөлшері).

Модельдеу (Modeling) — бұл геоақпараттық жүйелерде (ГИС) кеңістіктік және атрибутивтік деректер негізінде нақты нысандардың, процестердің немесе құбылыстардың математикалық және логикалық бейнесін құру үдерісі. Модельдеудің басты мақсаты — шынайы әлемдегі күрделі жүйелердің мінез-құлқын түсіндіру, болжау және басқару. Мысалы, табиғи апат қаупін бағалау кезінде ГИС-модельдеу кеңінен қолданылады. Castellazzi және т.б. [89] зерттеуінде Альпі тауларында мұздықтардың еруінен туындайтын құлама беткейлердің тұрақсыздығын бағалау үшін көпкритерийлі ГИС-модель құрылған. Модель бедер, температура, мұздық динамикасы және өсімдік жамылғысы қабаттарын біріктіріп, ең қауіпті аймақтарды анықтауға мүмкіндік берді. Қалалық аумақтардағы жердің отыру (шөгу) қаупін ГИС негізінде модельдеді [90]. Зерттеу Қытайдың Сучжоу қаласында жүргізіліп, топырақтың геологиялық құрылымы, жер асты суларының деңгейі және құрылыс тығыздығы сияқты факторлар есепке алынды. Нәтижесінде, ғимараттарға қауіп төндіретін ең ықтимал учаскелер картасы жасалды. Автор еңбегінде [91] Румыния мен Молдова шекарасындағы аймақ үшін көп қауіптілік (multi-hazard) моделі жасалған. Ол жер сілкінісі, сел, және жер көшкіні сияқты бірнеше табиғи қауіп көзін біріктіріп, аймақтық тәуекел картасын құрды. Авторлар зерттеуінде [92] Египеттегі Ніл өзені атырауында ArcGIS және Analytic Hierarchy Process (АНР) әдісі қолданылып, су тасқыны қаупінің деңгейі анықталды. Модель 12 қабатты (бедер, гидрология, тұрғын тығыздығы, инфрақұрылым және т.б.) біріктіріп, қауіпті аймақтарды жіктеді

2.3 Экологиялық тәуекелдерді бағалаудағы геостатистикалық әдістер

Геостатистикалық әдістер экологиялық процестердің кеңістіктік құрылымын талдауда және қоршаған ортадағы ластану, эрозия, су және топырақ сапасының өзгерістерін бағалауда маңызды рөл атқарады. Бұл әдістер кеңістіктік тәуелділікті (spatial dependence) анықтауға және өлшенбеген нүктелердегі мәндерді болжамдауға мүмкіндік береді, осылайша экологиялық тәуекел карталарын құрудың негізін қалайды. Геостатистикалық талдаудың екі маңызды бөлімі бар: біріншіден, вариограммалық талдау және екіншіден, интерполяция арқылы.

Геостатистикалық модельдеудің негізінде вариограмма жатады – бұл кеңістіктік айнымалының қашықтыққа байланысты өзгергіштігін сипаттайтын функция. Ол нүктелер арасындағы айырмашылықтың күтілетін мәнін (дисперсиясын) көрсетеді және кеңістіктік автокорреляцияны бағалауға мүмкіндік береді [93].

Артықшылықтары:

- кеңістіктік құрылымды нақты бейнелеу;
- интерполяция дәлдігінің жоғары болуы (әсіресе kriging әдісімен);
- ықтимал экологиялық қатерлерді дәл болжау мүмкіндігі;
- кеңістіктік трендтерді айқындау.

Шектеулері:

- үлкен деректер көлемін қажет етуі;
- бастапқы деректердің сапасына жоғары талап;
- дұрыс вариограмма моделін таңдау күрделі болуы мүмкін;
- бағдарламалық қамтудың күрделілігі (ArcGIS Geostatistical Analyst, R, Surfer, Gstat, SAGA).

Геостатистикалық талдаудың екі маңызды бөлімі бар: біріншіден, жартылай вариограммалық талдау және екіншіден, кригинг арқылы бағалау.

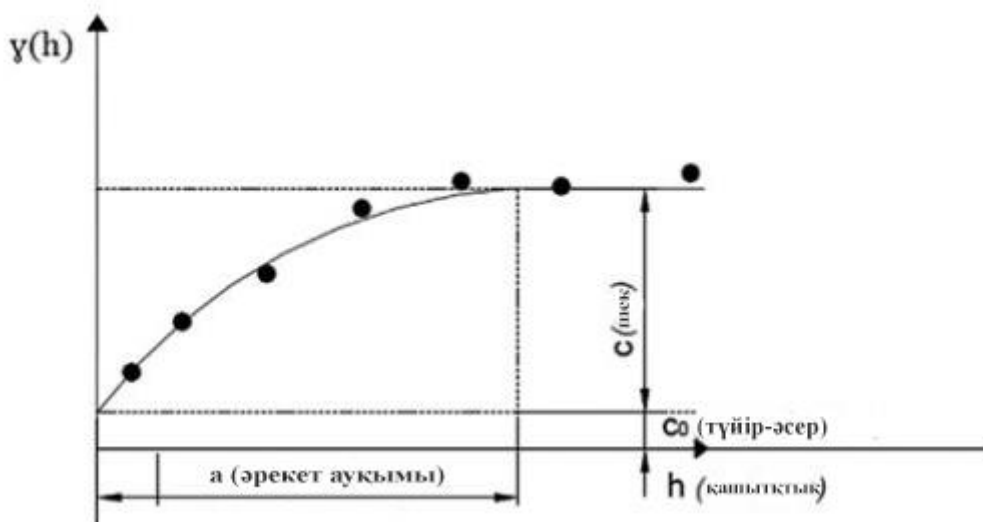
Жартылай вариограммалық талдау үшін $\gamma(h)$ жартылай дисперсиясы келесідей есептеледі:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_{i+h})]^2 \quad (1)$$

мұндағы, мұндағы h – кадам ені, $\gamma(h)$ жартылай дисперсия, $n(h)$ әрбір кадам еніндегі h таңдау жұптарының саны, $z(x_i)$ i орнындағы кездейсоқ функцияның жүзеге асуы және $z(x_i + h)$ $(i+h)$ орнындағы кездейсоқ функцияның жүзеге асуы [94].

Стандартты вариограмма моделін үш негізгі параметрмен сипаттауға болады: (i) әрекет ауқымы, (ii) түйір әсері, (iii) шек. Әсер ету ауқымы вариограмма ауқымын анықтайды, одан жоғары кеңістіктік корреляция жоқ. Түйір әсері деректердің ішкі жарамдылығын көрсетеді, оған басқалармен

қатар өлшеу қателері кіреді. Шек барлық өлшемдердің дисперсияларының мәнін білдіреді (2.13-сурет).



2.13 - сурет. Жартылай дисперсияның өлшеу нүктелері арасындағы қашықтыққа тәуелділік графигі h.

Вариограмманы модельдеуді сенімді деп санау үшін шектік мән келесі үш шартқа сай болуы керек [95]:

1. Берілген зерттеу аймағында деректер біркелкі таратылады.
2. Зерттелетін аумақта мәндерге әсер ететін елеулі тенденция байқалмайды.
3. Зерттелетін кеңістіктің өлшемі (max-min) вариограмма диапазонының мәнінен кемінде үш есе үлкен.

$\gamma(h)$ осінде пайда болатын түйір әсері әдетте екі фактордан туындайды [96]:

1. Өлшеу қателігінен туындаған өзгергіштік.
2. Вариограмманы модельдеу кезінде таңдалған қашықтықтан кіші шкалада орын алатын аймақтық айнымалы $Z(x)$ өзгермелілігі.

Жартылай вариограмма белгілі бір функцияның графикалық көрінісі ретінде қарастырылады, сондықтан ол сипатталатын (жақындатылған) модельді таңдауға болады. Көрсеткіштер вариациясының кеңістіктік құрылымының әртүрлі типтерін сипаттайтын вариограммалардың бірнеше түрлері бар. Төменде вариограммалардың негізгі түрлері, сондай-ақ оларды сипаттауға арналған графиктер 2.14 -суретте және оларды құруда қолданылатын формулалар келтірілген (2,3,4-формула).

Сфералық үлгі

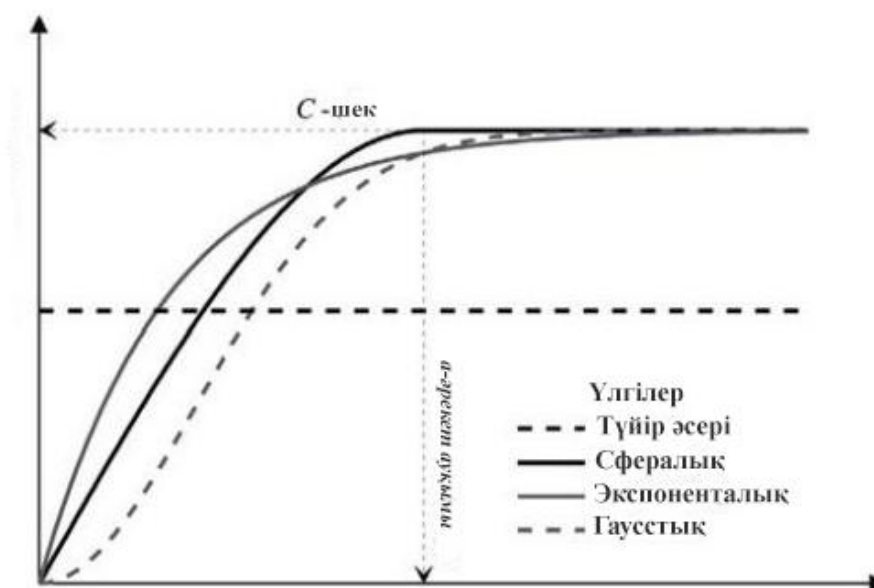
$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1.5 \frac{h}{a} - 0.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \text{ егер, } 0 \leq h \leq a \quad (2)$$

Экспоненталық үлгі

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \exp \left\{ -\frac{h}{a} \right\} \right], \quad h \geq 0 \quad (3)$$

Гаусстық үлгі

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \exp \left\{ -\left(\frac{h}{a} \right)^2 \right\} \right], \quad h \geq 0 \quad (4)$$



2.14 -сурет. Кең таралған вариограмма үлгілері

Деректерді талдаудың сәйкес моделін таңдау модельдеуді бағалауға және нәтижелердің белгісіздігін анықтауға мүмкіндік береді. Жартылай вариограмма дұрыс болуы және оған жататын нүктелер бір-біріне жақын орналасуы керек [97].

Жалпыға танылған геоакпараттық жүйелер (ГАЗ) әдістерін қолдана отырып, ауыр металдардың концентрациясы бойынша алынған деректер сынама алынған нүктелердің координаталарына геожатқызылып, кейінгі талдау үшін дайындалды. Зерттеу аймағындағы ауыр металдардың кеңістіктік таралуы бақылау нүктелерінің кеңістіктік корреляциясын стохастикалық модельдеу негізінде есептелетін келесі теңдеу арқылы Kriging интерполяция әдісімен бағаланды:

$$\hat{Z}(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i * Z(x_i) \quad (15)$$

мұндағы: $Z(x)$ – нүктедегі интерполяцияланған мән;

$Z(x_i)$ – белгілі нүктелердегі өлшенген мәндер;

λ_i – кригингтік теңдеулер жүйесі арқылы анықталатын салмақтар;

n – интерполяция үшін қолданылатын жақын орналасқан белгілі нүктелер саны.

Салмақ коэффициенттері λ_i анықтау үшін келесі теңдеулер жүйесі шешіледі:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(x_i, x_j) + \mu - \gamma(x_i, x_0), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_i - 1$$

Мұндағы: $\gamma(x_i, x_j)$ - нүктелер арасындағы кеңістіктік тәуелділікті анықтайтын вариограмма мәндері;

$\gamma(x_i, x_0)$ - белгілі нүктелер мен интерполяция нүктесі арасындағы вариограмма; μ - бейтарап шарттың орындалуын қамтамасыз ететін лагранж көбейткіші.

Геокеңістіктік талдау және кейінгі деректерді визуализациялау ArcGIS Pro бағдарламалық қамтамасыз етуі және Geostatistical Analyst арнайы модулі көмегімен жүзеге асырылды.

Алынған нәтижелердің дәлдігін егжей-тегжейлі талдау және бағалау үшін қосымша статистикалық талдау жүргізілді. Бұл талдау орталық тенденцияның негізгі көрсеткіштерін (арифметикалық орта, медиана, геометриялық және гармониялық орташалар), шашыраңқылық метрикаларын (дисперсия, стандартты ауытқу, квартильаралық аралық және толық аралық), сондай-ақ интерполяция дәлдігін бағалау көрсеткіштерін – стандартты қате (SE), салыстырмалы стандартты қате (RSE) және орта квадраттық қате (RMSE) анықтауды қамтыды.

Барлық статистикалық талдаулар Origin Pro статистикалық платформасында жүргізіліп, келесі теңдеулерді пайдалана отырып есептелді:

1. Орталық тенденция көрсеткіштері

1.1. Арифметикалық орта (Mean):

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (17)$$

мұндағы:

X_i – таңдаманың мәндері;

n – бақылаулар саны;

1.2. Медиана (Median):

$$\text{Егер } n \text{ – тақ сан болса: Median} = X_{\frac{n+1}{2}}; \quad (18)$$

$$\text{Егер } n \text{ – жұп сан болса: Median} = \frac{X_{\frac{n}{2}} + X_{\frac{n}{2}+1}}{2} \quad (19)$$

мұндағы:

X – сұрыпталған деректер;

n – бақылаулар саны.

1.3. Орташа квадраттық мән (Root Mean Square, RMS):

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (20)$$

мұндағы:

x_i – таңдаманың мәндері;

n – бақылаулар саны;

$\sum_{i=1}^n x_i^2$ – барлық мәндердің квадраттарының қосындысы;
 $\frac{1}{n}$ – мәндерді орташа есептеу үшін қолданылатын коэффициент.

2. Шашыраңқылық метрикалары

2.1. Дисперсия (Variance):

$$Var = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (21)$$

2.2. Стандартты ауытқу (Standard Deviation):

$$SD = \sqrt{Var} \quad (22)$$

2.3. Толық ауқым (Range):

$$Range = X_{\max} - X_{\min} \quad (23)$$

мұндағы:

$X_{\max}$ – таңдамадағы ең үлкен мән;

$X_{\min}$ – таңдамадағы ең кіші мән;

3. Интерполяцияның дәлдігін бағалау

3.1. Орташа мәннің стандартты қатесі (Standard Error, SE):

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}} \quad (24)$$

мұндағы:

SD – стандартты ауытқу;

n – бақылаулар саны;

3.2. Салыстырмалы стандартты қате (Relative Standard Error, RSE):

$$RSE = \frac{SE}{\bar{X}} \times 100\% \quad (25)$$

мұндағы:

SE – орташа мәннің стандартты қатесі;

$\bar{X}$ – арифметикалық орташа мән;

4. Корреляциялық талдау

Мәліметтердің екі таралуы арасындағы статистикалық корреляцияларды іздеу – ғылыми зерттеудің негізгі құрамдас элементтерінің бірі болып табылады [98, 99]. Атап айтқанда, қоғамдық денсаулық сақтау, әлеуметтік ғылымдар, ақпараттық мониторинг және эпидемиология салаларында мұндай талдау тәуекелді қабылдау мен айнымалылардың таралуы туралы маңызды ақпарат бере алады [100]. Ең жиі қолданылатын екі корреляция индексі — Пирсон және Спирман индекстері болып табылады:

біріншісі екі үздіксіз кездейсоқ шаманың арасындағы сызықтық байланысты өлшейді және деректер қалыпты таралу заңына бағынғанда қолданылады, ал екіншісі екі үздіксіз кездейсоқ шаманың арасындағы кез келген монотонды байланысты өлшейді және деректер қалыпты таралу заңына бағынбағанда қолданылады; екі индекс те мәні бойынша -1 мен 1 аралығында болады [98, 99]:

- +1 – айнымалылар арасында толық оң (тікелей) сызықтық байланыс бар;
- -1 – толық теріс (кері) сызықтық байланыс бар;
- 0 – сызықтық байланыс жоқ (мүмкін, бейсызық байланыс бар).

Пирсон корреляция коэффициентінің формуласы гг екі айнымалының арасындағы өзара байланыстың сызықтық регрессия арқылы қаншалықты дәл сипатталатынын немесе ең жақсы сәйкестік сызығының нақтылығын көрсетеді. Формула келесідей түрде беріледі:

Жоғарыда келтірілген көрсеткіштерден басқа, жұмыста сонымен қатар Пирсон корреляциялық талдауы қолданылды, ол келесі теңдеу бойынша есептеледі:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (26)$$

мұндағы: X_i – i -нші нүктедегі бір ауыр металдың концентрациясы (мысалы, As -мышьяк);

Y_i – сол i -нші нүктедегі басқа ауыр металдың концентрациясы (мысалы, Pb – қорғасын);

$\bar{X}$ – бірінші металдың орташа концентрациясы;

$\bar{Y}$ – екінші металдың орташа концентрациясы; n – өлшеулер саны (топырақ үлгілері).

Пирсон корреляциясын қолданар алдында сенімді нәтижелер алу үшін бірнеше негізгі алғышарттар сақталуы қажет:

1. Деректер үздіксіз шкалада көрсетілуі тиіс. Үздіксіз айнымалылардың мысалдарына жас (жылмен), бой (сантиметрмен) және температура (Цельсий градусымен) жатады. Кейде үздіксіз айнымалыларды сандық (санмен өлшенетін) деп те атайды, бірақ маңыздысы — барлық үздіксіз айнымалылар сандық болғанымен, барлық сандық айнымалылар үздіксіз бола бермейді.

2. Айнымалылар қалыпты таралу заңына бағынуы тиіс. Бұл алғышарт Пирсон корреляциясын параметрлік тест ретінде қолдануға мүмкіндік береді. Егер зерттелетін айнымалылардың деректері қалыпты таралмаса, онда Спирманның рангілік корреляциясы сияқты параметрлік емес әдіс қолданылуы қажет. Мұны гистограмма арқылы тексеруге болады.

3. Деректер жиынтығында шектен тыс мәндер (шығармалар) болмауы тиіс. Шығармалар — бұл жалпы деректер үлгісінен едәуір

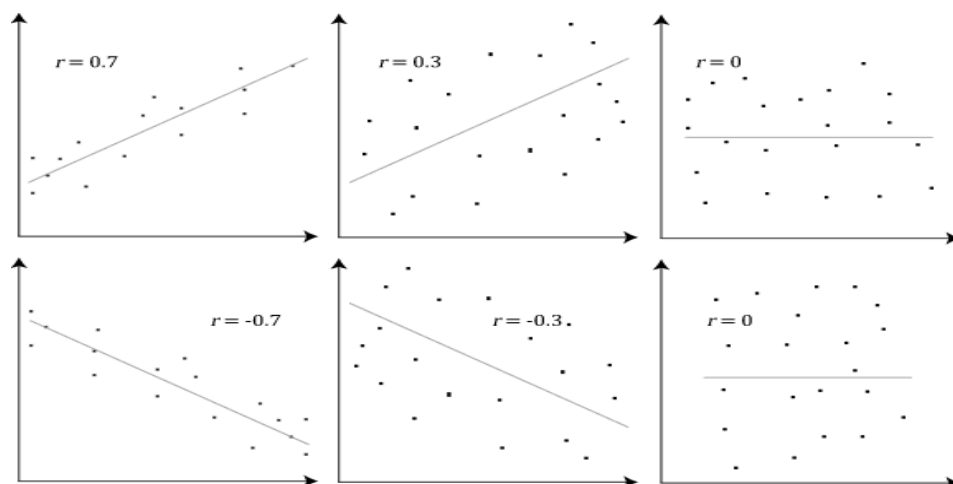
ауытқитын мәндер. Олар ең жақсы сәйкестік сызығына (регрессия сызығына) әсер етіп, корреляция коэффициентін бұрмалауы мүмкін.

4. Екі айнымалы арасындағы байланыс сызықтық болуы тиіс. Бұл алғышарт шығармалардың болмауы жөніндегі шартпен байланысты, себебі айнымалылар арасындағы тәуелділік түзу сызықпен жеткілікті түрде сипатталуы керек. Мұны шашырау диаграммасы (scatter plot) арқылы тексеруге болады (2.15 - сурет) [101].



2.15 – сурет. Сызықтық және сызықтық емес тәуелділіктердің мысалдарын көрсететін шашырау диаграммалары

Екі айнымалының арасындағы байланыс неғұрлым күшті болса, Пирсон корреляция коэффициенті r мәні соғұрлым $+1$ немесе -1 санына жақын болады — бұл байланыстың оң не теріс екеніне байланысты. Егер $r=+1$ немесе $r=-1$ болса, бұл барлық деректер нүктелері ең жақсы сәйкестік сызығында дәл орналасқанын білдіреді, яғни ешбір нүкте бұл сызықтан ауытқымайды. Ал r мәні $+1$ мен -1 аралығында болса (мысалы, $r=0,8$ немесе $r=-0,4$), бұл деректер нүктелерінің ең жақсы сәйкестік сызығының айналасында белгілі бір дәрежеде шашырап орналасқанын көрсетеді. r мәні 0 -ге неғұрлым жақын болса, айнымалылар арасындағы байланыс соғұрлым әлсіз, ал деректердің шашырауы — соғұрлым жоғары болады. Төмендегі диаграммада (2.16 - сурет) әртүрлі өзара байланыс түрлері мен олардың Пирсон корреляция коэффициенттері көрсетілген [9].



2.16 – сурет. Екі айнымалы арасындағы өзара байланыстарды және Пирсон корреляция коэффициенттерін (r) көрсететін диаграммалар

Геостатистикалық әдістер экологиялық процестердің кеңістіктік құрылымын талдауға, ластану мен топырақ сапасының өзгерістерін бағалауға және экологиялық тәуекел карталарын жасауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар геостатистикалық және корреляциялық талдау әдістері экологиялық деректердің кеңістіктік таралуын дәл бағалап, табиғи және антропогендік факторлардың әсерін анықтауға мүмкіндік береді.

Екінші тарау бойынша тұжырым

1. Геодезиялық және ғарыштық әдістер экологиялық тәуекелдерді бағалаудың жаңа ғылыми-тәжірибелік деңгейін қалыптастырып, өнеркәсіптік аймақтардағы табиғи және антропогендік процестердің әсерін кешенді талдауға болады.

2. ГАЗ технологиялары мен буферлеу, қабаттастыру, интерполяция, кригинг және кокригинг сияқты геостатистикалық әдістердің интеграциялау экологиялық мониторингтеудің тиімділігін арттырып мен кеңістіктік талдаудың ғылыми негізін қамтамасыз етеді.

3. Геостатистикалық және корреляциялық талдау әдістері экологиялық процестердің кеңістіктік құрылымын талдауға, ластану мен топырақ сапасының өзгерістерін бағалауға және экологиялық тәуекел карталарын жасауға, табиғи және антропогендік факторлардың әсерін анықтауға мүмкіндік береді.

3 ҚАРАҒАНДЫ ОБЛЫСЫНЫҢ ӨНЕРКӘСІПТІК АЙМАҚТАРЫ БОЙЫНША ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАҒАЛАУДА ГЕОКЕҢІСТІКТІК ДЕРЕКТЕРДІ ИНТЕГРАЦИЯЛАУ

3.1 Қарағанды облысының өнеркәсіптік аймақтарындағы қауіптілік деңгейін талдау

Қарағанды республиканың ең ірі өнеркәсіптік облыстарының бірі болып табылады да, техногендік ластануы жағынан өсуі жыл сайын артуда. Обылыс бойынша қоршаған ортаның ірі ластаушы көздері болып, көмір өнеркәсібі («АрселорМитталТеміртау» АҚ, «ШұбаркөлКөмір» АҚ), пайдалы қазбаларды өндіру («Қазақмыс» корпорациясы» ЖШС, «ЖәйремКБК» АҚ, «Нова-Цинк» ЖШС, «Қазхром» АҚ), жылу энергия орталығының қазандық қондырғылары («ҚарағандаЭнергоцентр» ЖШС (1-ЖЭО, 3-ЖЭО), құрылыс материалдарын өндіретін кәсіпорындар («ЦентралАзияЦемент» АҚ), жылу энергетика саласының («Қазақмыс Энерджи» ЖШС) және металлургия өнеркәсібі («Қазақмыс Смэлтинг» ЖШС, «Теміртау электр металлургиялық комбинаты» АҚ) сияқты кәсіпорындары жатқызылады. Сонымен қатар Қарағанды облысының аумағында құрамында хромы бар шламдар және кокс-химия өндірісінің қалдықтары үйінділенген (қышқыл шайыр, фустар). уытты 2 полигоны орналасқан. Аталмыш объектілердің меншік иесі «Арселор Миттал Теміртау» АҚ болып табылады.

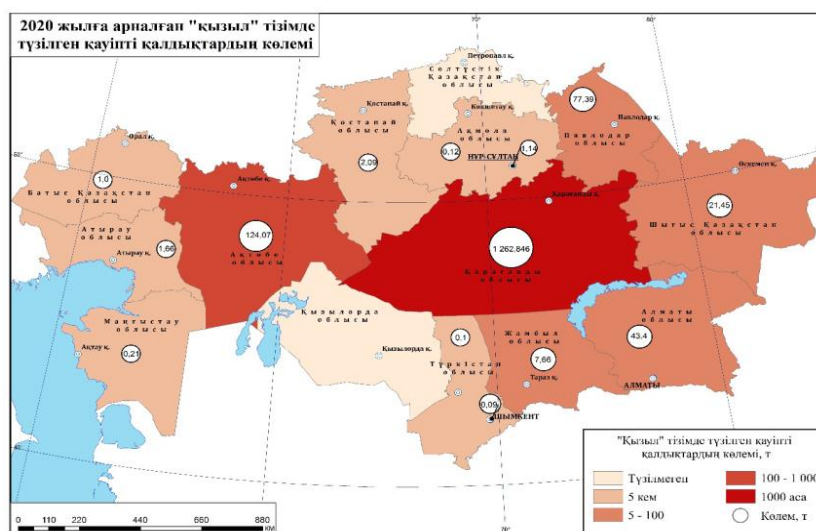
Теміртау қаласында «АрселорМиттал Теміртау» АҚ Қазақстандағы ең ірі металлургиялық өндірістік кәсіпорын және металлургиялық қалдық қоймалары (73°05'-73°55' шығыс бойлық және 50°00'-50°45' солтүстік ендік) орналасқан. Бұл қалдық қойманың ауданы шамамен 5000 км² құрайды. Сондай ақ Қазақстанның зерттеу институттары нәтижесі бойынша Теміртаудағы полиметалдармен ластану дәрежесі «төмен» деп бағаланып, бірақ топырақтың 40 пайызының ластану индексі өте жоғары екенін дәлелдеді. Осы Теміртаудағы жердің ластануы тау-кен және металлургия өнеркәсібінің қалдықтарымен байланысты болып келеді. «Қазгидромет» РМК топырақтың ауыр металдармен ластануын бақылау есебі бойынша 2020 жылдың көктемгі-күзгі мезгіліндегі зерттеу нәтижесіне сәйкес, Теміртау қаласында топырақ сынамалары құрамында көп мөлшерде мырыш 26,4 мг/кг, мыс 3,64 мг/кг, хром 2,84 мг/кг, қорғасын 37,8 мг/кг және кадмий 0,64 мг/кг ауыр металдар концентрациясы анықталған.

Қазақстан Республикасында қауіпті қалдықтарды трансшекаралық тасымалдауды бақылау және оларды тасымалдау, кәдеге жарату, сақтау және көму мақсаттары үшін жоюды бақылау туралы Базель конвенциясына сәйкес қалдықтар қауіптілігінің 3 деңгейі белгіленген: жасыл - G индексі, янтарлы - A индексі және қызыл - R индексі. Мұндағы «Қызыл» тізімдегі қалдықтарға полибромдалған дифенил, асбест, қорғасын қосылған антиденотациялық қоспалардың шламдары, полихлорланған дибензодиоксинге ұқсас кез келген қосылыс және басқалар жатады. Ал «Янтарлы» тізімдегі қалдықтарға

құрамында сынап, мышьяк, хром, қорғасын, мырыш, цианидтер, лак бояулары, пестицидтер, улы химикаттар, мұнай шламдары, өңделген бұрғылау шламы және басқалары бар қалдықтар жатқызылған. Сондай ақ «Жасыл» тізімдегі қалдықтарға хром, кадмий, алюминий, мыс, қорғасын, мырыш, марганец қалдықтары мен сынықтары, пластмасса, полиэтилен қалдықтары, пайдаланылған шиналар мен басқа да резеңке қалдықтар, күл мен күлшлактар қалдықтары және басқалары топтастырылған. Аталмыш осы үш ластанушы қалдықтар бойынша Қарағанды алғашқы үштікке енген (3.1 - сурет).

Сондықтан зерттеу объектісі ретінде Қарағанды облысындағы өндірістік кәсіпорындар жиі орналасқан өндірістік қала Теміртауды қарастырамыз. Мұнда металлургия зауыты мен оның қалдықтарының ауаға, топыраққа, суға және халықтың денсаулығына әсерін зерттеу мақсатында, қашықтықтан зондтау, геоақпараттық талдау және экологиялық мониторинг әдістері қолданылды.

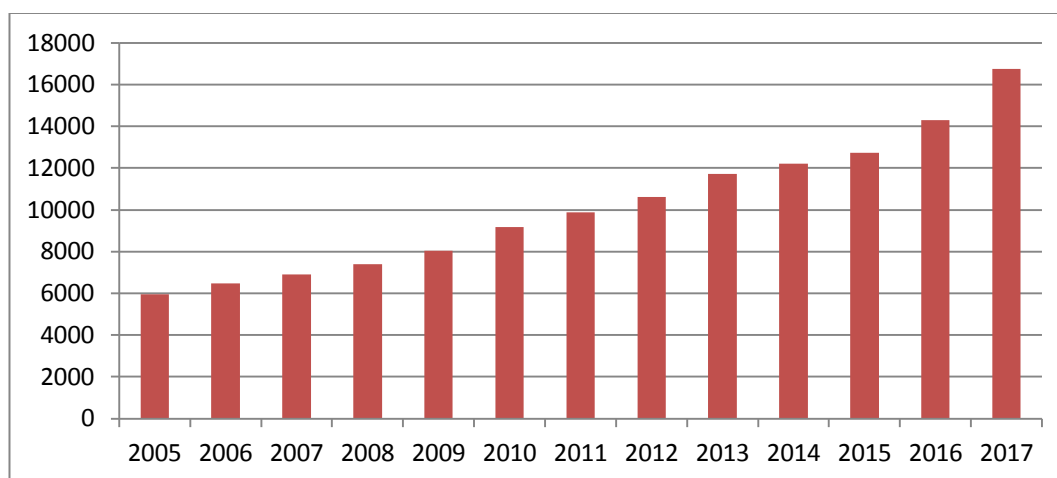
Жел эрозиясының нәтижесінде пайда болатын шлак қалдықтарының зиянды ингредиенттері едәуір аумақтарға тасымалданады, ал жер асты суларына ағып, өзендер мен бассейндерге түседі, судың сапасын төмендетіп, оны ауыл шаруашылығында пайдалану үшін қауіпті етеді. Көмір қалдықтарынан алынған ауыр металдар мен химиялық элементтер топыраққа біртіндеп еніп, оның құнарлылығын жоғалтады. Үйінділерден улы заттардың ағып кетуі жер асты сулары мен жақын мандағы су объектілерінің ластануына әкеледі.



3.1 - Сурет 2020 жылғы «қызыл» тізімдегі қауіпті қалдықтардың көлемі

«Қарағанды облысы бойынша экология департаменті» деректеріне сәйкес Қарағанды облысында қоршаған ортаға эмиссияны жүзеге асыратын 332 кәсіпорын жұмыс істейді. Стационарлық көздерден ластаушы заттардың нақты жиынтық шығарындылары 585 мың тоннаны құрайды. Қарағанды облысында стационарлық көздердің саны (3.2-сурет) жыл сайын артып

келеді, соның салдарынан ластаушы заттардың көлемі де ұлғайып отыр. Облыстағы 17 ірі өнеркәсіптік кәсіпорын жылына шамамен 590 мың тонна ластаушы зат шығарады, оның 47%-ы «АрселорМиттал Теміртау» АҚ-ның үлесіне тиесілі [102].



3.2 - Сурет. Қарағанды облысындағы атмосфераға ластаушы заттар шығаратын стационарлық көздердің саны (бірлік)

Ластанудың негізгі көздері «Қазақмыс корпорациясы» ЖШС, «АрселорМиттал Теміртау» АҚ (Qarmet АҚ), автомобиль көлігі, қатты тұрмыстық қалдықтар полигондары, жылу электр орталығы, құю-механикалық зауыты, теміржол көлігі кәсіпорны және автокөлік кәсіпорындары болып табылады.

Теміртау қаласындағы өнеркәсіптік кәсіпорындар арасында жетекші сала — қара металлургия болып табылады. Бұған Қарағанды көмір бассейніндегі жоғары сапалы тас көмірдің ірі қорлары себеп болып отыр. Теміртау – өнеркәсіптік қала, оның аумағында ірі қала құраушы кәсіпорындар орналасқан: «АрселорМиттал Теміртау» АҚ, Теміртау металлургиялық комбинатының химия-металлургия зауыты, «Bassel Group LLS» ЖШС (ГРЭС-1 электр станциясы), «Central Asia Cement» АҚ және Теміртау электрометаллургиялық комбинаты (ТЭМК). Сондықтан қала аумағына аталмыш кәсіпорындардан ауаға жоғары дәрежеде ластағыш заттар таралуда (3.3 – сурет).

«АрселорМиттал» компаниясы әлемдегі болат өндіру бойынша жетекші орындардың бірін иеленеді және жаһандық металлургия нарығындағы негізгі ойыншылардың қатарына кіреді. Ол толық өндірістік циклі бар металлургиялық комбинат болып табылады, яғни өз құрамында үш негізгі өндіріс түрі бар: домна, болат балқыту және прокат цехтары [103, 104].

Теміртау қаласы соңғы бес жылда экологиялық ластанудың күрделі мәселелеріне тап болды [105]. Экологиялық жағдай жыл сайын нашарлап, ал өндіріс қарқыны арта түсті. Бүгінгі таңда елдің тау-металлургия саласындағы

ең ірі кәсіпорны – «АрселорМиттал Теміртау» АҚ (АМТ) көлемі бойынша қаланың өзімен шамалас деңгейге жеткен [106]. Жыл сайын «АрселорМиттал Теміртау» компаниясының қызметінде атмосфераға шығарылатын зиянды заттардың шекті рұқсат етілген нормаларынан асу, тұрмыстық және өндірістік ағын суларды ағызу кезінде экологиялық талаптардың сақталмауы, қалдықтарды басқару мен табиғи ресурстарды пайдалану шарттарының бұзылуы сияқты фактілер тіркеледі [107].



3.3 – Сурет. Теміртау қаласындағы ауаға шығарындылардың көрінісі

Қарағанды облысындағы атмосфералық ауаны ластаушы зиянды заттардың жалпы көлемінің шамамен 25%-ы Теміртау қаласының үлесіне тиесілі. Павлодар өңірінен кейін Республика бойынша Қарағанды облысы шығарындылар көлемі жөнінен екінші орында.

2018 жылы нақты шығарындылар көлемі 587 мың тонна, оның ішінде Теміртау қаласына – 370 мың тонна, ал «АрселорМиттал Теміртау» компаниясына – 219,1 мың тонна тиесілі. 2019 жылға Теміртау бойынша өнеркәсіптік кәсіпорындардың атмосфераға шығаруға рұқсат етілген ластаушы заттар лимиті 370 мың тонна болып белгіленген.

Кәсіпорынның маңайында 200 миллион тоннадан астам өндірістік қалдықтар жиналған. Бұл Теміртау қаласының ғана емес, жалпы Қарағанды облысының экологиялық жағдайына кері әсерін тигізіп отыр. Шлақты қалдықтардың зиянды құрамдастары жел эрозиясы арқылы кең аумаққа таралып, ал жер асты суларына сіңу арқылы өзендер мен су қоймаларына түсіп, судың сапасын төмендетіп, оны ауыл шаруашылығында және ауыз су ретінде пайдалануға қауіпті етеді.

Қазіргі уақытта болат өндіру кезінде түзілетін шлак қайта өңделмейді, себебі оның құрамында зиянды қоспалар мөлшері жоғары. Бастапқы шлактағы P_2O_5 мөлшері 14%-ға дейін, ал соңғысында 3–6% құрайды; 1 тонна болатқа шаққанда 97 кг шлак түзіледі. Оның 82,85%-ы төгіндіге жіберіледі, бұл Теміртау қаласының экологиялық жағдайын одан әрі нашарлатады.

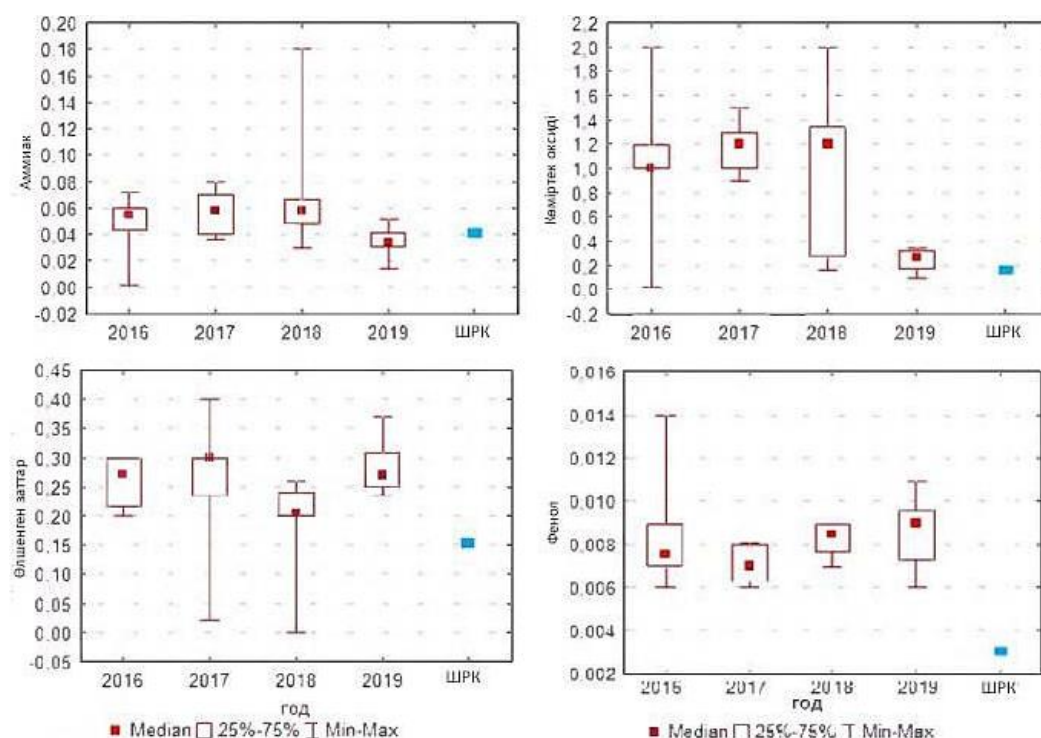
Теміртау қаласының атмосфералық ауасы өнеркәсіптік қызмет, көлік және энергетика салаларындағы процестер нәтижесінде шығарылатын әртүрлі зиянды заттармен ластанады.

Негізгі ластану көздері төмендегідей:

- **Металлургиялық кәсіпорындар:** көмір мен басқа да энергия көздерін жағу, газ тәрізді шығарындыларды шығару — оның ішінде күкірт диоксиді (SO_2), азот оксидтері (NO_x) және ауыр металдар.
- **Өнеркәсіптік өндірістер:** бу генераторларының жұмысы, мұнай мен газды жағу, түтін, шаң және химиялық заттардың (азот оксидтері, күкірт қосылыстары, аммиак және еріткіштер) бөлінуі.
- **Автокөлік құралдары:** көліктерден шығатын түтін газдары құрамында көміртек оксидтері (CO), азот диоксиді (NO_2) және басқа да зиянды заттар бар.
- **Жылу көздері:** табиғи газды, көмірді және отынды жағу нәтижесінде түтін мен шаң бөлініп, атмосфераны ластайды.

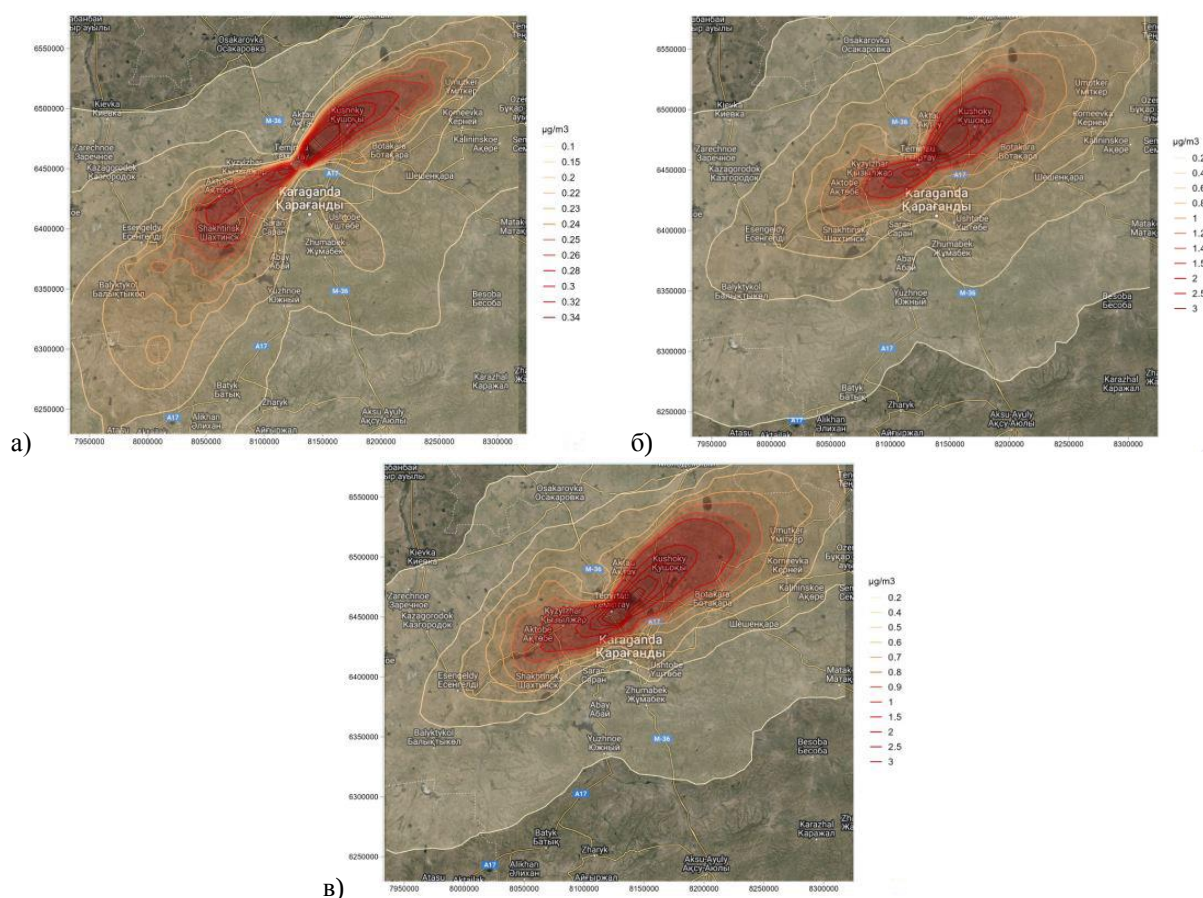
Барлық осы факторлар ауаның ластануына өз үлесін қосып, қоршаған орта мен адам денсаулығына түрлі қауіптер тудырады. Мұндай ластану нәтижесінде тұман мен смогтың түзілуі, қышқылды жауындардың пайда болуы, сондай-ақ ауада сажа, ауыр металдар және улы газдар сияқты зиянды заттардың концентрациясының артуы байқалады [105].

Стационарлық бақылау желісі бойынша Теміртау қаласының ауасында азот диоксиді, көміртек оксиді, күкірт диоксиді, формальдегид, күкіртсутек, шаң бөлшектері, фенол және аммиак сияқты заттардың концентрациялары тұрақты түрде жоғары (3.4 – сурет). Бұл негізгі ластаушылар рұқсат етілген шекті концентрациядан 10 еседен астам асып, өздерінің эмиссия нормативтерінен бұзған [102].



3.4 – сурет. Теміртау қаласындағы ауаны негізгі ластаушы заттар

Теміртау металлургиялық зауытының шығарындылары қала аумағында ғана емес, үлкен ара-қашықтыта таралатындығы анықталып отыр [108] зерттеуде 2021 жылы ластаушы заттардың деңгейіне қала аумағынан 300 км радиустағы аумақтағы таралуы келтірілген (3.5 – сурет). Бұл мақсатта ластаушы заттардың белгілі химиялық процестері мен олардың атмосферада таралуына әсер ететін метеорологиялық жағдайларды ескеретін халықаралық деңгейде мойындалған ауа ластануын модельдеу әдісі қолданылған.

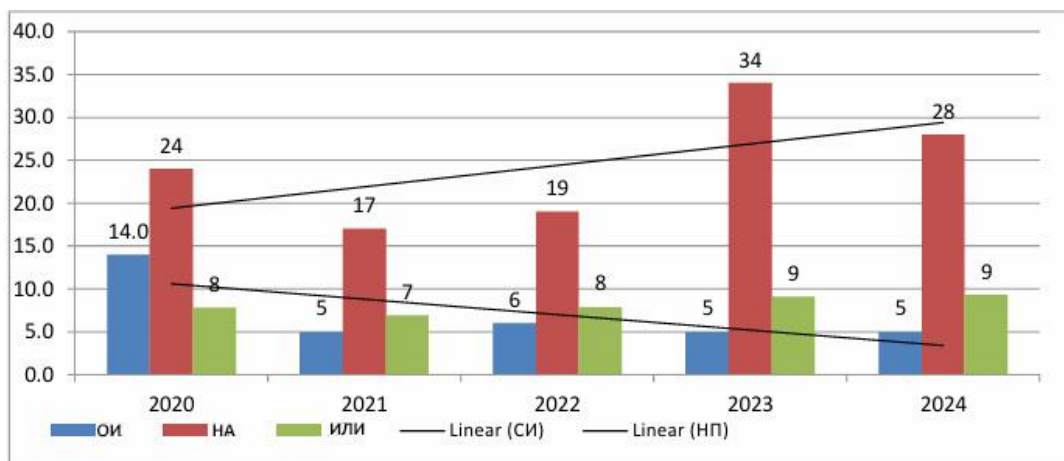


3.5 - сурет. «АрселорМиттал Теміртау» металлургиялық зауытының шығарындыларының таралу деңгейі (а) P.M.2.5, б) NO₂, в) SO₂)

Ал Теміртау қаласы 2023 жылғы сәуірдегі Қазақстан Республикасының атмосфералық ауасының сапасын бағалау көрсеткіші бойынша ластану дәрежесі өте жоғары деңгейдегі 4 елді мекен қатарына кірді, сонымен қатар соңғы 5 жылда аталмыш қалада атмосфералық ауаның ластануының тұрақты жоғары деңгейі сақталып отыр (3.6-сурет).

Қазақстанның ғылыми-зерттеу институттары Теміртау қаласындағы полиметалдармен ластану деңгейін «төмен» деп бағалайды. Алайда сол институттардың зерттеу нәтижелері көрсеткендей, топырақтың 40 пайызының ластану индексі өте жоғары. Суық мезгілде Теміртау

топырағында калий, мыс және марганец элементтерінің мөлшері айтарлықтай артады. Ең қолайсыз экологиялық жағдай қаланың солтүстік-батыс және оңтүстік-шығыс бөліктерінде байқалады. Бұл, ең алдымен, осы аймақтарда ірі өнеркәсіптік нысандардың орналасуымен байланысты, өйткені өнеркәсіптік аймақ тұрғын үйлерге өте жақын — бар болғаны 500 метр қашықтықта орналасқан [109].



3.6 - Сурет 2020–2024 жылдар аралығындағы Теміртау қаласы бойынша ОИ, НА мен ИЛИ көрсеткіштерінің салыстырмасы

Топыраққа түскеннен кейін металдар топырақ биотасымен өзара әрекеттесіп, сол ортада таралады және мұндай әрекеттестіктің негативті салдарын барлық деңгейде қалдырады. Қауіптің арту себебі — металл иондары органикалық қосылыстар сияқты химиялық немесе биологиялық ыдырауға ұшырамайды. Сондықтан топырақтағы металдар тұрақты түрде сақталатын элементтер ретінде қарастырылуы тиіс — олар тек жүйе ішінде бір форма түрінен екіншісіне ауысады немесе орын ауыстырады. Металдардың топырақтағы күйі өте күрделі, сондықтан олардың нақты түрлерін әртүрлі топырақ типтерімен сәйкестендіріп, толық идентификациялау іс жүзінде мақсатқа сай емес [110].

Автор зерттеуінде [111] АҚ "АрселорМиттал Теміртау" металлургиялық кешеніне іргелес аумақтағы депозиттеуші орта ретіндегі топырақтағы ауыр металдардың құрамы жөніндегі деректер талданған. Кәсіпорын аумағындағы топырақта мырыштың мөлшері ШРК-дан 5-9 есе, кобальт 2 есе, темір 2-5 есе, мыс 4-5 есе, никель 8-12 есе артық болған.

Теміртау қаласының экологиялық ахуалы ауыр металдармен, өндірістік қалдықтармен және атмосфералық шығарындылармен күрделі ластанған. Бұл жағдай аймақтың топырақ, су және ауа сапасына, сондай-ақ халық денсаулығына айтарлықтай қауіп төндіреді.

3.2 Қарағанды облысының өнеркәсіптік аймақтарындағы ластануын деңгейін бағалау әдістемесі

Экологиялық тәуекелдерді бағалаудың заманауи тәсілдері табиғи және антропогендік факторлардың кеңістіктік және уақыттық өзгергіштігін ескеруді талап етеді. Сондықтан зертханалық, гескеңістіктік және статистикалық деректерді біріктіру (интеграциялау) әдіснамасы қоршаған ортаны кешенді бағалаудың ең тиімді ғылыми құралдарының бірі болып табылады.

Мұндай интеграциялық әдістеме бірнеше маңызды артықшылықтарға ие:

1. *Кешенді талдау мүмкіндігі.* Геоақпараттық жүйелер кеңістіктік деректерді (топырақ, су, ауа, бедер, жер пайдалану, климаттық параметрлер) визуализациялап, оларды сандық сипаттамалармен (мысалы, ауыр метал концентрациясы, радиация деңгейі, эрозия коэффициенті) біріктіреді. Бұл әртүрлі сипаттағы ақпаратты бір координаттық жүйеде талдауға мүмкіндік береді, нәтижесінде экологиялық тәуекелдің себеп-салдар байланыстары толық ашылады.

2. *Кеңістіктік заңдылықтарды анықтау.* Интеграцияланған әдістер арқылы қоршаған орта көрсеткіштерінің географиялық үлгілері мен таралу заңдылықтары анықталады. Мысалы, ауыр металдардың жоғары концентрациясы өндірістік аймақтарға немесе өзен аңғарларына шоғырлануы мүмкін — мұндай тәуелділіктер тек кеңістіктік модельдеу арқылы көрінеді.

3. *Тәуекел карталарын құру.* ГАЗ негізіндегі геостатистикалық модельдер (мысалы, кригинг, IDW, регрессиялық талдау) көмегімен ластану немесе экологиялық қауіп деңгейінің кеңістіктік таралу карталары жасалады. Бұл карталар экологиялық мониторинг пен басқару шешімдерін қабылдауда маңызды құрал болып саналады.

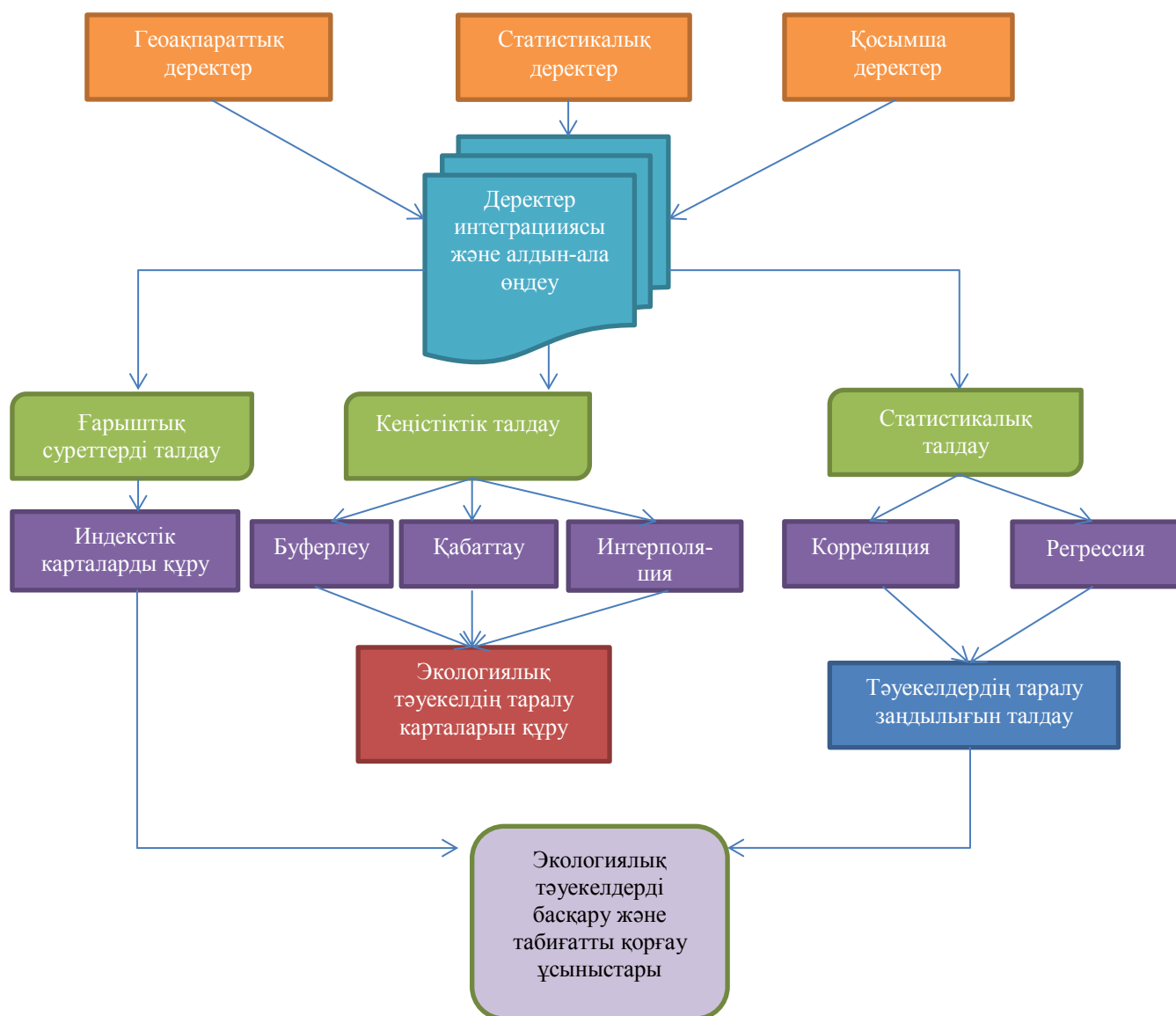
4. *Деректердің дәлдігін арттыру.* Статистикалық және геоақпараттық деректерді біріктіру тәуекел бағалау нәтижелерінің сенімділігін арттырады. Мысалы, жергілікті мониторинг деректерін спутниктік суреттермен салыстыра отырып, нақты жағдайға жақын экологиялық модель алуға болады.

5. *Болжау және сценарийлік талдау.* Интеграциялық әдіс экологиялық жағдайдың болашақтағы өзгерісін модельдеуге мүмкіндік береді. Мысалы, егер белгілі бір аймақта жер жырту немесе өндіріс көлемі артса, онда ГИС пен регрессиялық модельдерді пайдалану арқылы экожүйеге әсер ететін тәуекел сценарийлері құрастырылады.

Экологиялық тәуекелдерді бағалауда геокеңістіктік және статистикалық деректерді интеграциялаудың әдістемесі жан-жақты талдауды талап етеді және кешенді құрылымдық негізге ие. Зерттеу жұмысында ұсынылған әдістеме төменде келтірілген (3.7 - сурет).

Осылайша өнеркәсіпті дамыту халықтың әлеуметтік – экономикалық жағынан тиімді болғанымен, экожүйе және Теміртау сияқты жылдар бойы қалдықтар қоймаланған қала тұрғындар үшін өте қауіпті, сондықтан ауа мен топырақ сапасын уақытылы бақылау, бағалау және саралау үшін зертханалық

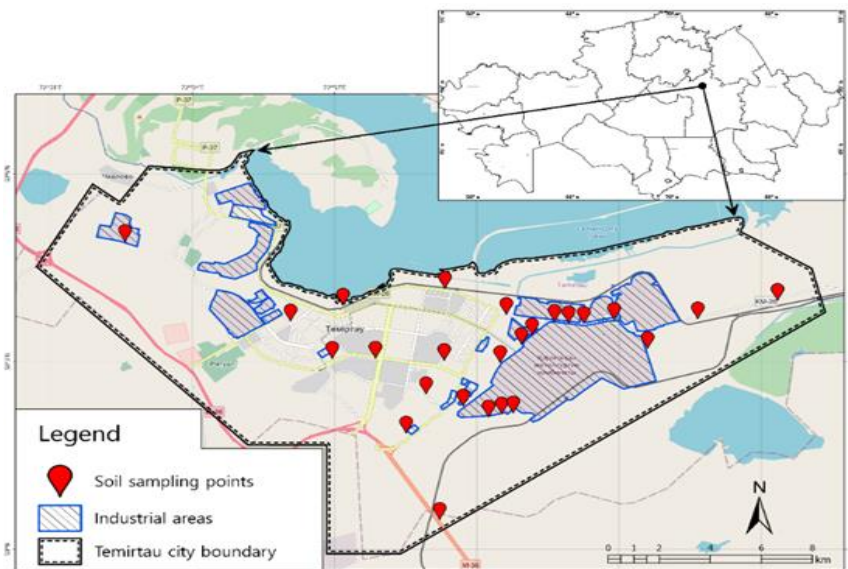
зерттеулермен қатар қашықтықтан зондтау деректерін қолдану маңызды болып саналады.



3.7 - Сурет Зерттеу жұмысында ұсынылған әдістеме сұлбасы

Қала аумағындағы топырақтың ластануын зертханалық зерттеу мақсатында Теміртау қаласының маңындағы топырақ жамылғысындағы ауыр металдардың концентрациясына мониторинг жүргізілді. Ауыр металдардың таралуын кеңістіктік бағалау үшін қазіргі заманғы геостатистикалық талдау әдістері қолданылды. 2024 жылы жүргізілген далалық жұмыстар барысында Теміртау қаласының аумағында және «Кармет» АҚ (Қарағанды металлургия комбинаты) өндірістік нысандарына жақын жерде 0–15 см тереңдіктен 25 топырақ үлгісі алынды (3.8-сурет) [112].

Негізгі ауыр металдардың (As, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Mn, Cr, Ba) концентрацияларын сандық анықтау Rigaku NEX CG II рентгенофлуоресценттік спектрометрі көмегімен жүргізілді. Нәтижесінде ауыр металдардың концентрациялары миллиграмм/килограмм (мг/кг) бірлігінде анықталды (3.1-кесте).



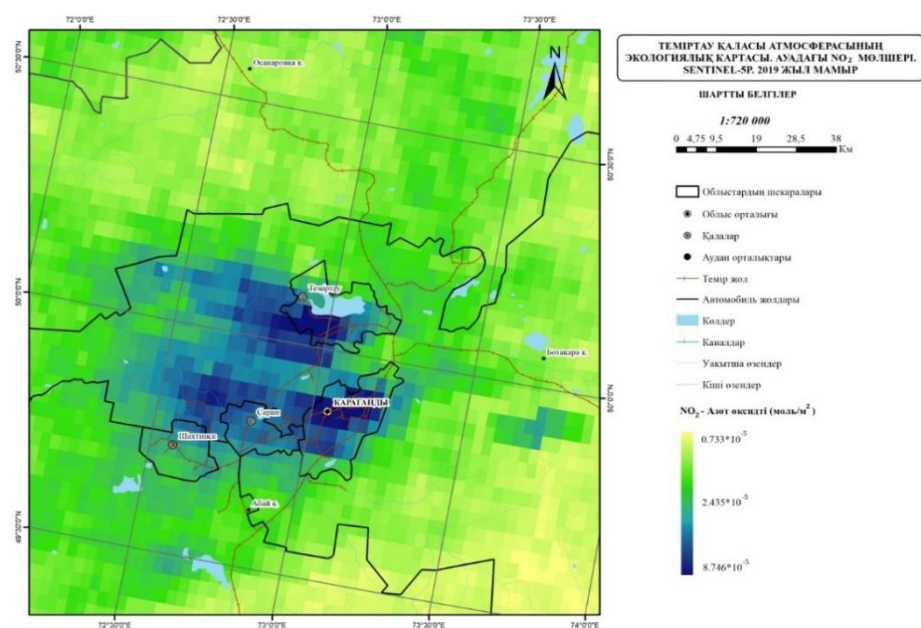
3.8 - Сурет– Зерттеу аймағының картасы

3.1-кесте – Кармет және Теміртау қаласы маңынан алынған топырақ үлгілеріндегі ауыр металдар (және металлоидтар) мөлшері

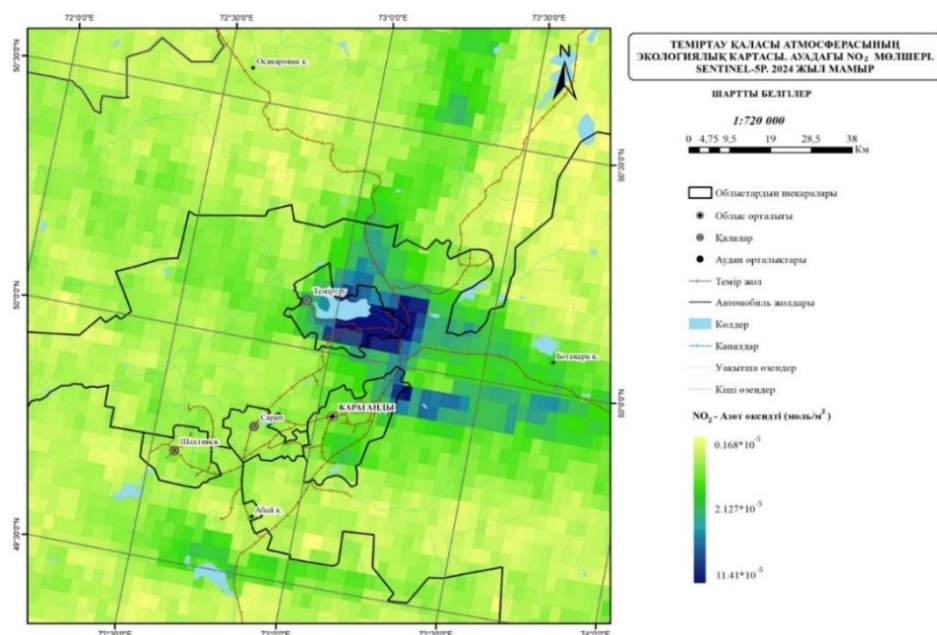
Point №	Ауыр металлдар мг/кг										
	Lat	Lon	As	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Mn	Cr	Ba
1	73.016	50.055	144	145	3050	435	386	465	6590	2090	3220
2	73.019	50.057	123	150	1490	523	319	549	4650	409	2670
3	73.027	50.061	105	65	3680	267	304	436	3830	264	3430
4	73.032	50.060	81	75	433	177	290	243	4130	264	2920
5	73.038	50.060	82	75	879	234	323	351	5220	327	4110
6	73.048	50.061	31	122	573	285	374	574	4360	309	1870
7	73.060	50.054	41	190	615	294	304	560	4440	187	3010
8	73.078	50.061	107	39	468	236	318	515	2990	263	2510
9	73.106	50.066	88	40	368	181	266	452	2000	300	2100
10	73.010	50.063	49	111	380	184	316	393	2420	259	1440
11	72.989	50.070	95	0	414	181	300	429	3260	426	1950
12	73.008	50.050	108	47	653	211	312	577	3550	272	1700
13	72.995	50.038	101	93	778	285	296	552	3630	348	1780
14	72.975	50.031	143	0	644	249	406	608	3690	405	1870
15	72.982	50.041	104	0	376	176	331	394	2890	332	2050
16	72.964	50.051	87	43	540	257	365	433	3110	310	1850
17	72.949	50.051	85	141	806	287	361	477	3510	304	1940
18	72.934	50.061	105	130	815	293	384	497	3370	336	2080
19	72.953	50.065	79	0	340	166	293	293	3190	274	1890

20	72.989	50.050	88	0	578	183	337	379	2780	336	1890
21	73.004	50.035	44	112	368	158	318	401	3580	245	1720
22	73.009	50.036	91	9	521	173	268	396	2820	254	2100
23	73.013	50.036	84	50	642	204	276	506	4850	752	2340
24	72.987	50.008	97	0	347	165	328	481	2660	275	1400
25	72.876	50.082	80	16	381	161	257	368	3010	332	2200

Жүргізілген зерттеу нәтижесінде Теміртау қаласының аумағындағы ауа сапасын бағалау мақсатында 3.9, 3.10-суретке сәйкес 2019 және 2024 жылға арналған ауадағы азот диоксиді (NO_2) концентрациясының картасы жасалды [113].



3.9 – Сурет Теміртау қаласының 2019 жылы ауадағы NO_2 көрсеткіш картасы



3.10 - Сурет Теміртау қаласының 2024 жылы ауадағы NO_2 көрсеткіш картасы

Қашықтықтан зондтауда Sentinel-5 TROPOMI-дағы ультракүлгін және қысқа толқынды инфрақызыл сәулелер арасындағы толқын ұзындығының диапазондарын қамтитын NADIR көру және бейнелеу спектрометрі арқылы атмосфераның жоғарғы қабатындағы шағылысқан және одан шығатын күн радиациясын өлшеу арқылы зеттелген аумақтың 2019 және 2024 жылғы ауадағы NO_2 көрсеткішін талдауда 3.9, 3.10– суретте көрсетілгендей 2019 жылы ауадағы NO_2 көрсеткіші $8,746 \cdot 10^{-5}$ көрсетті, әрі Қарағанды обылысында толықтай таралған. Ал 2024 жылы ауадағы NO_2 көрсеткіші $11,41 \cdot 10^{-5}$ көрсетіп, негізінен Теміртау қаласында екендігі дәлелденіп отыр.

Толығымен қашықтықтан зондтау деректеріне негізделген RSEI, далалық зерттеулерге тәуелділікті жою арқылы экологиялық жағдайды тиімді және шынайы бейнелей алады, осылайша қолжетімділікті арттырады. Сонымен қатар, бұл әдісте бағалау нәтижелері белгілі бір деңгейде объективтілікпен ерекшеленеді.

Жасылдық компоненті ретінде NDVI (нормаланған өсімдік жамылғысы индексі) жер үсті өсімдік жамылғысы мен оның өсу жағдайын бағалау үшін қолданылады. Ал ылғалдылық индексі, яғни Tasseled Cap түрлендіруінің үшінші компоненті, пикселдердегі ылғал құрамын көрсетеді, бұл топырақ пен өсімдіктердің ылғалдылық жағдайын білдіреді. Айта кетерлігі, бұл компоненттің есептеу әдісі Landsat спутниктерінің әртүрлі сенсорларынан алынған суреттер диапазонына байланысты өзгереді.

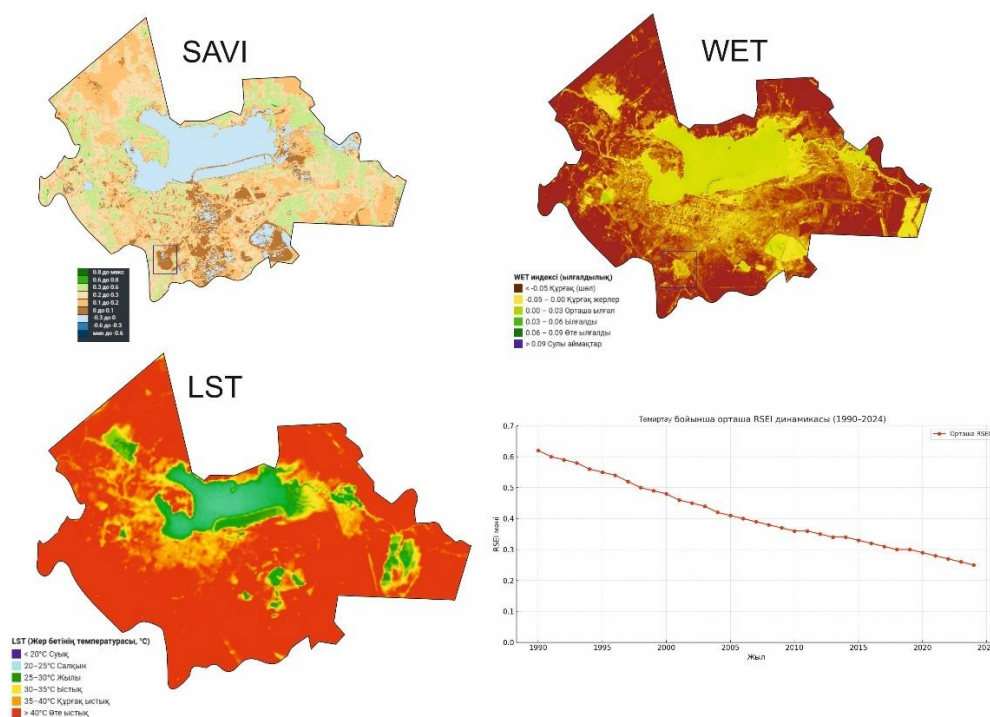
Жылу индексі ретінде жер бетінің температурасы индексі (LST) пайдаланылады, ол жер бетінің жылу таралуын және жылулық ортасын бағалау мен көрсету үшін қолданылады. Бұл зерттеуде LST субиндексі Landsat Collection 2 деректер жинағында 2020 жылы шығарылған жер беті температурасы диапазоны негізінде алынған. Соңында, құрғақтық индексі ашық топырақ индексі (SI) мен құрылыстық индекс (IB) модельдерін біріктіру арқылы синтезделеді.

3.11 – суретке сәйкес 1990 жылдан 2020 жылға дейінгі Landsat сериясындағы деректерді өңдеу нәтижесінде 34 жылдық кезеңді қамтитын көпжолалық қабат (multi-band layer) жолақтық есептеулер арқылы мұқият түрде жасалды. Аталған көпжолалық қабат арқылы жер жамылғысының ұзақ мерзімді өзгерістері, соның ішінде урбанизация, вегетация динамикасы және құрғақшылық әсерлері анықталды. Бұл деректер табиғи ресурстарды басқару мен климаттық өзгерістерге бейімделу стратегияларын әзірлеуде маңызды ақпарат көзі болып табылады.

Нәтижесінде, зерттеу аумағы бойынша 30 жылдық кезеңге арналған RSEI көрсеткіштері алынды. Нормаланған RSEI мәндері 0-ден 1-ге дейінгі аралықта өзгеріп, экологиялық сапаны егжей-тегжейлі талдауға мүмкіндік берді [42]. Талдауды жеңілдету үшін, RSEI мәндері әрқайсысы 0.2 интервалдан тұратын бес тең деңгейге бөлінді (3.1 Кесте). Экологиялық

өзгерістерді айқындау мақсатында, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 жылдар таңдалып, осы кезеңдердегі экологиялық жағдайдың өзгеруін көрсету үшін нәтижелер берілді. Бұл зерттеу ауданының үш онжылдықтағы экологиялық динамикасын кешенді түрде сипаттауға мүмкіндік берді.

Кен өндіру аймағының оңтүстік батыс бөлігінде айқын төмендеу байқалғанымен, оның басқа бөліктерінде RSEI көрсеткішінің қалыпты төмендеу байқалады. 2000 жылдан 2010 жылға дейінгі аралықта кен өндірумен айналыспайтын аймақтарда RSEI мәні, жалпы алғанда, төмендеген. Бұл кезеңде, кен өндіру аймағы оңтүстік бөлігі бұл төмендеуден ең көп зардап шеккенін байқауға болады.



3.11 - сурет – RSEI есептеу әдістемесі барысындағы индекстер

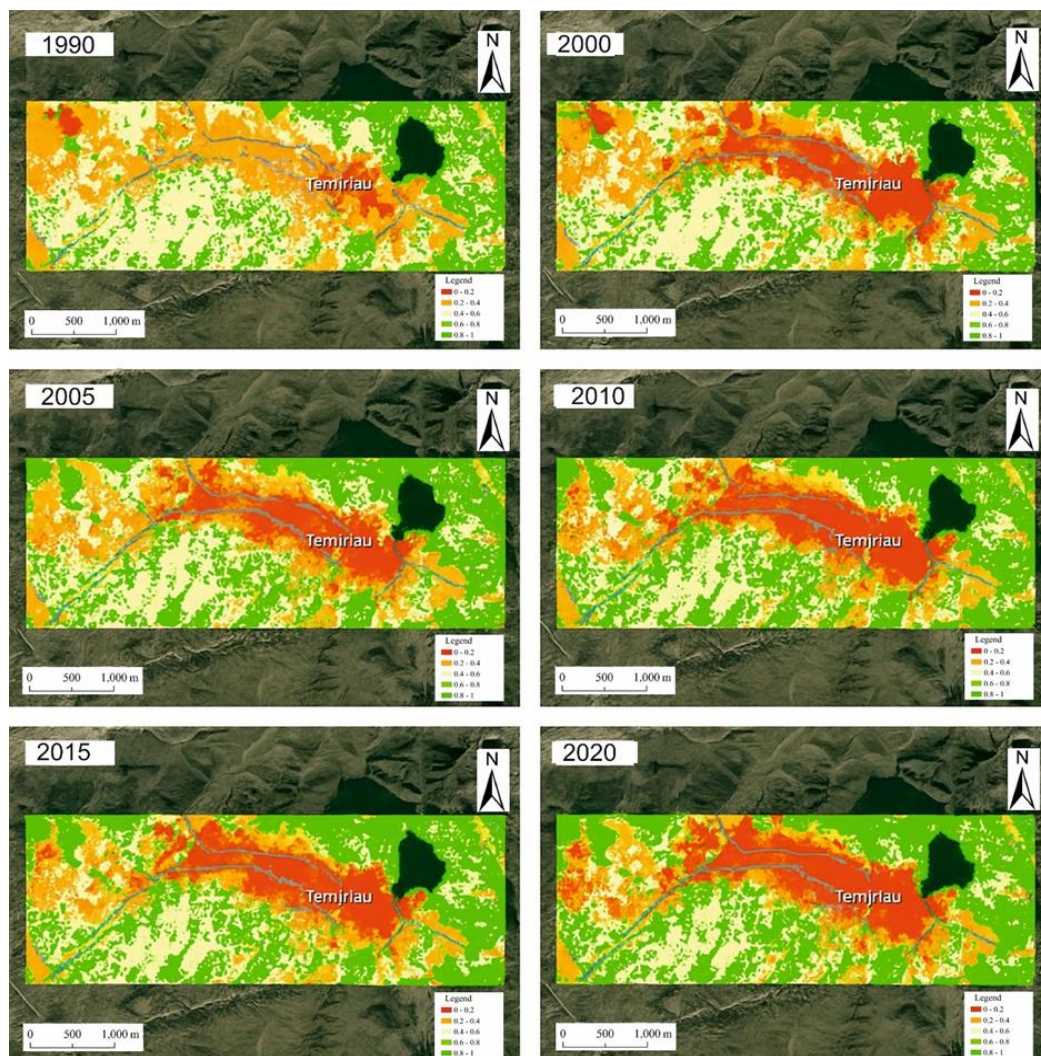
3.2 Кесте - RSEI мәндері бойынша экологиялық деңгей жіктелуі

RSEI Ауқымы	Деңгей	Экологиялық жағдай сипаттамасы
0.0–0.2	I	Өте нашар
0.2–0.4	II	Нашар
0.4–0.6	III	Орташа
0.6–0.8	IV	Жақсы
0.8–1.0	V	Өте жақсы

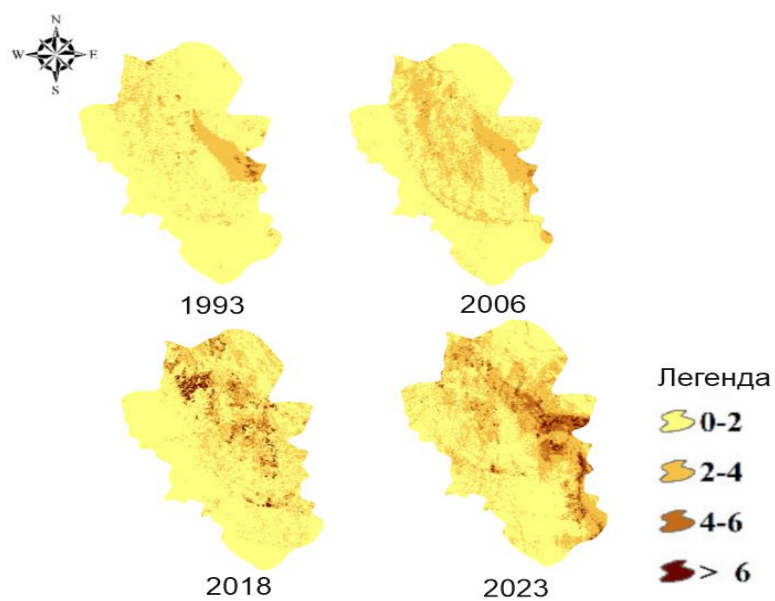
Кейінірек, 2010 жылдан 2020 жылға дейін кен өндіру аймағының маңында RSEI көрсеткіші айқын теріс өзгерістерге ұшырап, экологиялық нашарлауды көрсетеді. Нәтижесінде, осы шоғырланған кен орындарының маңындағы RSEI көрсеткіштері де төмендеген.

1990 жылдан 2020 жылға дейінгі аралықта зерттеу аймағында RSEI деңгейлерінің таралуы 3.12 – суретте бейнеленген. 1990–2000 жылдар аралығында зерттеу аймағының экологиялық жағдайы жақсарып, RSEI мәні 0.33-тен 0.56-ға дейін өсті. Алайда, 2000–2009 жылдар аралығында бұл үрдіс кері өзгеріп, RSEI көрсеткіші 0.4-дан 0.3-ге дейін төмендеді, бұл экологиялық жағдайдың нашарлағанын көрсетті. 2009–2023 жылдары экологиялық жағдай біртіндеп тұрақты түрде төмендеді: RSEI 0.3-ден 0.1-ге дейін түсті, ал 2017 жылдан бастап шамамен 0.2 деңгейінде сақталды.

Тарихи жағдайларды көрсететін экологиялық деректер жиынтығы, спутниктік суреттер және Land Cover Time Series бағдарламасындағы жергілікті өсімдіктерін динамикалық өзгеріс көрсеткіштерді есептеу ArcGIS бағдарламасында топырақтың деградацияға ұшырау картасын жасау арқылы топырақтың сапасын талдауға болады. Сондықтан соңғы 30 жылдағы LANDSAT 5, 7, 8 спутниктік мен Land Cover Time деректеріне сүйене отырып 1993, 2006, 2018 және 2023 жылдардағы топырақ өзгерістерін және жер жамылғысының өзгеру тенденциялары арқылы ArcGIS бағдарламасында картасы жасалынды. 3.13 – суреттерде Теміртау ауданының топырақтарында 1993, 2006 және 2018 жылдардағы топырақтың сапасы туралы карталарда ластанған аймақтардың беткі жамылғысы және деградацияға ұшыраған топырақтың түстік өзгерістерінен, ластанудың жыл сайын артқандығын көруге болады.



3.11 - Сурет – RSEI деңгейлерінің таралу картасы



3.12 - Сурет 1993, 2006, 2018 және 2023 жылдардағы топырақтың ластануы

Сондай-ақ 25 жылдық әсер ету уақытына негізделген есептеулер үшін ұсынылған β және K_p параметрлері де 3.3-кестеде көрсетілген. Бұдан бөлек, қауіптілік класына қарамастан, концентрациясы МРС-дан төмен заттар үшін $R_p = 0$ болып қабылданады [114].

3.3 Кесте. Тәуекелді есептеу параметрлері

Қауіптілік класы	Заттардың сипаттамасы	β	K_p
1-класс	Өте қауіпті	2.40	7.5
2-класс	Жоғары қауіпті	1.31	6.0
3-класс	Орташа қауіпті	1.00	4.5
4-класс	Төмен қауіпті	0.86	3.0

Зерттеу нәтижелері қауіптілік деңгейі төмендеген сайын (1-ден 4-сыныпқа дейін) ұзақ мерзімді әсер етуге байланысты жедел және жинақталған тәуекелдер де азаятынын айғақтайды. Мұндай градация тәуекелдерді басқаруға құрылымдық көзқарасты қамтамасыз етіп, ең қауіпті заттарды бірінші кезекте қарастыруға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, зерттеу ауа сапасын кешенді бақылаудың және тиімді ластаушы заттарды азайту шараларының маңыздылығын атап көрсетеді, бұл жұмысшылар мен жергілікті қауымдастықтардың зиянды заттарға әсерін төмендету үшін қажет. Жоғары канцерогендік тәуекел мен жинақталған уытты әсерлер молибден кен орындарында қатаң ережелер мен қауіпсіздік хаттамаларын күшейтуді талап етеді. Шығарындыларды азайту технологияларын және залалсыздандыру стратегияларын дамыту – өнеркәсіптік қызметпен байланысты денсаулық тәуекелдерін төмендетудің басты шарты [115].

Тәуекелдің ауырлығын бағалау үшін 3.4 – кестеде келтірілген рангілік шкаланы қолдану қажет.

3.4 - Кесте. Әсердің ауырлық деңгейінің рангілік шкаласы

Әсердің ауырлық деңгейі	R_i
Өлімге әкелетін әсерлер	1.0 – 0.9
Жедел ауыр әсерлер	0.8 – 0.6
Жедел әсерлердің шекті деңгейі	0.6 – 0.5
Созылмалы ауыр әсерлер	0.5 – 0.2
Созылмалы әсерлердің шекті деңгейі	0.2 – 0.1
Өте сезімтал топтардың реакциялары	0.1 – 0.3
Минималды тәуекел деңгейлері	0 – 0.05

«Концентрация–әсер» байланысын математикалық сипаттау үшін жеке шекті модель қолданылады. Тәжірибелік тұрғыда бұл модельді екі формулаға бөлуге болады. Бірінші формула бұл байланысты түзу сызық ретінде сипаттайды, мұнда концентрация ондық логарифмдерде көрсетіледі, ал жағымсыз әсер ету ықтималдығы (тәуекел) «пробиттерде» (Prob) беріледі, яғни қалыпты ықтималдық шкаласында. «Бұзылулар» мен әсер ықтималдығы арасындағы сәйкестік 3.4-кестеде келтірілген.

3.5-Кесте. Қалыпты-мүмкіндік (нормальды ықтималдық) таралу кестесі

Prob (Ықтималдық)	Risk (Тәуекел)	Prob (Ықтималдық)	Risk (Тәуекел)
-3.0	0.001	0.1	0.540
-2.5	0.006	0.2	0.579
-2.0	0.023	0.3	0.618
-1.9	0.029	0.4	0.655
-1.8	0.036	0.5	0.692
-1.7	0.045	0.6	0.726
-1.6	0.055	0.7	0.758
-1.5	0.067	0.8	0.788
-1.4	0.081	0.9	0.816
-1.3	0.097	1.0	0.841
-1.2	0.115	1.1	0.864
-1.1	0.136	1.2	0.885
-1.0	0.157	1.3	0.903
-0.9	0.184	1.4	0.919
-0.8	0.212	1.5	0.933
-0.7	0.242	1.6	0.945
-0.6	0.274	1.7	0.955
-0.5	0.309	1.8	0.964
-0.4	0.345	1.9	0.971
-0.3	0.382	2.0	0.977
-0.2	0.421	2.5	0.994
-0.1	0.460	3.0	0.999
0.0	0.500		

Бұл есептеу жеке әрекет ету шегі моделін (individual action threshold model) қолдана отырып орындалады. Осы модельге сәйкес, заттың уытты әсер ету ықтималдығы, сондай-ақ ластағыштың қауіптілік класы бойынша MPCm.s. (рұқсат етілген шекті бір реттік концентрация) асу дәрежесін ескере отырып, төменде ұсынылған теңдеулер арқылы анықталады:

1-қауіптілік класына жататын заттар үшін:

$$\text{Prob} = -9,15 + 11,66 \lg(C / \text{MPCm.s.})$$

2-қауіптілік класына жататын заттар үшін:

$$\text{Prob} = -5,51 + 7,49 \lg(C / \text{MPCm.s.})$$

3-қауіптілік класына жататын заттар үшін:

$$\text{Prob} = -2,35 + 3,73 \lg(C / \text{MPCm.s.}) \quad (5)$$

4-қауіптілік класына жататын заттар үшін:

$$\text{Prob} = -1,41 + 2,33 \lg(C / \text{MPCm.s.}),$$

мұнда Prob – ықтималдық (тәуекел), пробиттерде өрнектелген және қалыпты ықтималдық үлестіруінің 3.5-кестесі бойынша есептеледі.

3.6-кестеде мыс-молибден өндірісінің ластағыш заттар шығарындыларынан туындайтын қоғамдық денсаулық тәуекелін есептеу нәтижелері келтірілген.

3.6-Кесте. Тәуекелді есептеу

Ластаушы заттың атауы	Жердегі ең жоғарғы концентрациясы, мг/м ³	ШРК/ТШК	Қауіп класы	Prob (Ықтималдық)	Risk (Тәуекел)
Темір (II, III) оксидтері	0.4242	0.4000000*	3	-2.25485	0.0001
Сөндірілмеген әк (CaO)	152.2599	0.3	2	14.75393	0.99999
Марганец және оның қосылыстары	1.1699	0.01	2	9.980434	0.99999
Хром (VI) оксиді	0.0172	0.0150000*	1	-8.45696	0.00001
Натрий сульфиді	207.514	0.01	2	26.82214	0.99999
Азот диоксиді (IV)	173.5143	0.2	2	16.49791	0.9999
Азот қышқылы	0.0019	0.4	2	-22.9116	0.0001
Аммиак	0.0004	0.2	4	-25.7253	0.00001
Азот тотығы (II)	22.2299	0.4	3	4.158	0.9999
Тұз қышқылы (HCl)	0.3815	0.2	2	-3.4093	0.0001
Күкірт қышқылы	0.0015	0.3	2	-22.7447	0.00001
Күйе (сажа)	49.2116	0.15	3	7.034591	0.9999
Күкірт диоксиді (SO ₂)	10.3981	0.5	3	2.56608	0.9999
Сутек сульфиді (H ₂ S)	30.2247	0.008	2	21.28377	0.99999
Көміртек дисульфиді	0.0002	0.03	2	-21.8089	0.0001
Көміртек оксиді (CO)	5.687	5	4	-1.27972	0.115
Газ тәрізді фторлы қосылыстар	0.8783	0.02	2	6.793171	0.99999
Баяу еритін бейорганикалық фторидтер	0.0265	0.2	2	-12.0846	0.00011
Ксилол	35.9646	0.2	3	6.060573	0.99999
Толуол	0.0002	0.6	3	-15.3197	0.9999

Бензо(а)пирен	15.1667	0.0000100	1	62.91919	0.9999
Этиленгликоль	1.9843	1	3	-1.23992	0.115
Формальдегид	10.5706	0.05	2	11.9052	0.9999
Калий бутилксантогенаты	0.6663	0.1	3	0.722288	0.758
Мұнай өнімдері (күкіртсіз бензин)	0.5357	5	4	-3.67021	0.001
Керосин	0.3314	1.2	3	-4.43443	0.001
Минералды мұнай майы	282.5577	0.05	3	11.64547	0.9999
Уайт-спирит	3.46	1	4	-0.15395	0.460
Көмірсутектер C12–C19	36.0188	1	4	2.216713	0.982
Ілініп тұрған қатты заттар	109.8959	0.5	3	6.385703	0.9999
Бейорганикалық шаң: 70%-дан астам SiO ₂	51.4318	0.15	3	7.106074	0.9999
Бейорганикалық шаң: 70–20% SiO ₂	9794.046	0.3	3	14.48663	0.99999
Абразивті шаң	33.8995	0.04	3	8.571937	0.99999
Резеңке қалдықтарынан шыққан шаң	21.9061				

Ластағыш концентрациясы мен қауіптілік класы артқан сайын байланысты тәуекел де айтарлықтай өседі. 1-қауіптілік класына жататын заттар, мысалы, азот қышқылы мен күкірт диоксиді, жоғары концентрация кезінде тәуекелдің барынша жоғары деңгейін көрсетеді. Керісінше, 4-қауіптілік класына жататын толуол немесе бензол сияқты заттар төмен концентрацияда болғанда да минималды тәуекелге ие. Айта кетерлігі, көмірқышқыл газы сияқты салыстырмалы түрде төмен уыттылығы бар заттар да рұқсат етілген шекті концентрациядан асып кеткен жағдайда айтарлықтай тәуекел төндіруі мүмкін.

Ластаушы заттардың концентрациясы артқан сайын, оларға сәйкес тәуекел де өседі. Мысалы, жоғары концентрациясы бар заттар тобы, 2-топ (3989,502 мг/м³), максималды тәуекел мәндерін көрсетеді (Risk sum = 0,999999999). Ал төмен концентрациялы топтар, мысалы 10-топ (1,91725 мг/м³), тәуекелдің айтарлықтай төмендеуін көрсетеді (Risk sum = 0,000209988). Жалпы алғанда, жоғары уыттылығы бар заттар топтары концентрациясына қарамастан максималды тәуекел деңгейін (0,9999 және одан жоғары) көрсетеді. Бұған ерекшелік ретінде күшті минералдық қышқылдар (9-топ) айтарлықтай уыттылығына қарамастан салыстырмалы түрде төмен тәуекел көрсетеді (Risk sum = 0,0020).

Бұл талдау ластаушы заттардың біріктірілген уытты әсерлерін қадағалаудың маңыздылығын көрсетеді, себебі олардың концентрациясы артқан жағдайда орташа уытты заттардың өзі айтарлықтай денсаулыққа зиян

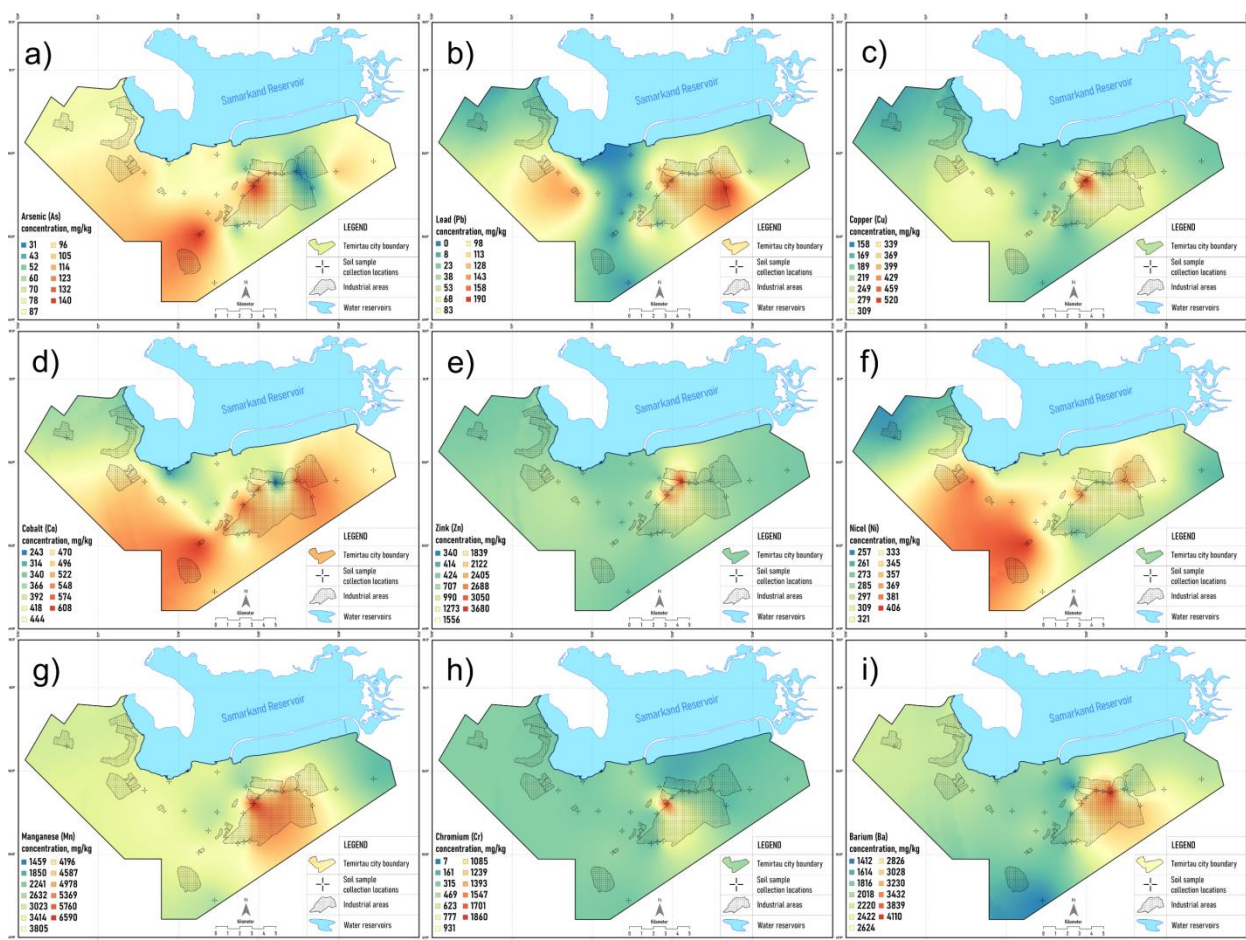
келтіруі мүмкін. Ең қауіпті заттардың шығарындыларын бақылауды басымдыққа алу қажет.

3.3 Қауіпті аймақтарды анықтауда ауыр металдардың өзара құрамдық корреляциялық-геостатистикалық моделдеу

Қоршаған орта жағдайын бағалауда ауыр металдардың топырақтағы жинақталуы мен таралуын зерттеу экологиялық қауіпсіздік тұрғысынан өте маңызды болып саналады. Теміртау қаласы мен «Кармет» АҚ өндіріс аймағынан 25 топырақ үлгісі алынып, олардың құрамындағы ауыр металдардың концентрациясы анықталды. Алынған деректер негізінде геостатистикалық және корреляциялық әдістер қолданылып, ауыр металдардың өзара байланысын және олардың таралу заңдылықтарын сипаттайтын құрамдық-кеңістіктік модель құрастырылды.

Геостатистикалық әдістерді қолданып, нүктелік деректерді өңдеу нәтижесінде зерттеу аймағындағы ауыр металдардың кеңістік бойынша таралуын көрсететін бірнеше карта сериясы жасалды, соның ішінде Теміртау қаласының маңайы да қамтылды (3.13-сурет). Интерполяция алгоритмі ретінде зерттелген деректердің кеңістік өзгергіштігін есепке алуға ең қолайлы әдіс болып саналатын Ordinary Kriging (қалыпты кригинг) интерполяция әдісі қолданылып Теміртау қаласының топырақтарындағы ауыр металдар концентрацияларының кеңістіктік таралуы картасы құрастырылды.

Ауыр металдардың интерполяцияланған кеңістіктік таралуы картада визуалды талдау анық байқалады, олардың ішінде концентрациясы жоғары аумақтар (ыстық нүктелер) бар, әсіресе өндірістік аймақтардың маңында анықталады. Бұнда мыс (Cu), хром (Cr) және мырыш (Zn) үшін айқын байқалады, мәндері орташа мәнінен тиісінше 140,3%, 544,5% және 579,5% жоғары (3.13-сурет, с, е, h). Қорғасын (Pb), марганец (Mn) және барий (Ba) таралуы да ұқсас заңдылықтарды көрсетеді, ауыр металдардың жоғарылауы өндірістік аймақтар шегінде байқалады (3.13-сурет, b, g, i). Алайда, ыстық нүктелердегі ауыр металдардың концентрациялары жоғары көрсетілген металдарға (Cu, Cr, Zn) қарағанда әлдеқайда аз және орташа есеппен фон деңгейінен 106% ғана асады. Ал As, Co және Ni ауыр металдарының кеңістіктік таралуы айқын жалғыз ыстық нүктелермен сипатталмайды. Оның орнына өндірістік аймақтар маңында орналасқан бірнеше жергілікті жоғары концентрациялы аумақтар байқалады және бұл аумақтар салыстырмалы түрде үлкен территорияны қамтиды (3.13-сурет, a, d, f) [112].



3.13-сурет – Теміртау қаласының топырақтарындағы ауыр металдар концентрацияларының кеңістіктік таралуы, мг/кг: а) мышьяк (As); б) қорғасын (Pb); с) мыс (Cu); d) кобальт (Co); е) мырыш (Zn); f) никель (Ni); g) марганец (Mn); h) хром (Cr); i) барий (Ba).

Статистикалық талдау ауыр металдардың концентрацияларының таралуын сипаттауға, геостатикалық талдаудың қатесін бағалауға, сондай-ақ кеңістіктік өзгергіштіктің негізгі тенденциялары мен заңдылықтарын және ықтимал себептерін анықтауға мүмкіндік берді (3.7-кесте). Талдау нәтижесінде мәндердің ең үлкен ауытқуы (Range) Mn (4590.0), Zn (3340.0) және Cr (1903.0) элементтерінде байқалды, бұл аталған элементтердің зерттелген үлгілердегі концентрацияларының айтарлықтай өзгергіштігін көрсетеді. Сонымен қатар, орташа концентрациялар мәндері ең жоғары Ba (2241.6 мг/кг) және Mn (3621.2 мг/кг) үшін тіркелді, ал ең төменгі орташа мәндер Pb (66.1 мг/кг) және As (89.7 мг/кг) элементтерінде байқалды. Мұндай таралу аймақтың табиғи ерекшеліктерімен қатар, әсіресе өндірістік аймақтар маңындағы антропогендік әсермен де байланысты болуы мүмкін.

3.7-кесте – Статистикалық талдау нәтижелері

Min	Max	Mean	Median	RMS	Variance	SD	Range	SE	RSE
-----	-----	------	--------	-----	----------	----	-------	----	-----

As	31.0	144.0	89.7	88.0	93.7	766.2	27.7	113.0	5.5	6.2
Pb	0.0	190.0	66.1	50.0	87.2	3374.9	58.1	190.0	11.6	17.6
Cu	158.0	523.0	238.6	211.0	253.5	7637.7	87.4	365.0	17.5	7.3
Co	243.0	608.0	453.2	452.0	462.0	8404.4	91.7	365.0	18.3	4.1
Zn	340.0	3680.0	805.6	573.0	1133.7	662762.7	814.1	3340.0	162.8	20.2
Ni	257.0	406.0	321.3	318.0	323.6	1568.5	39.6	149.0	7.9	2.5
Mn	2000.0	6590.0	3621.2	3510.0	3750.2	990544.3	995.3	4590.0	199.1	5.5
Cr	187.0	2090.0	394.9	309.0	535.0	135643.7	368.3	1903.0	73.7	18.7
Ba	1400.0	4110.0	2241.6	2050.0	2331.4	427630.7	653.9	2710.0	130.8	5.8

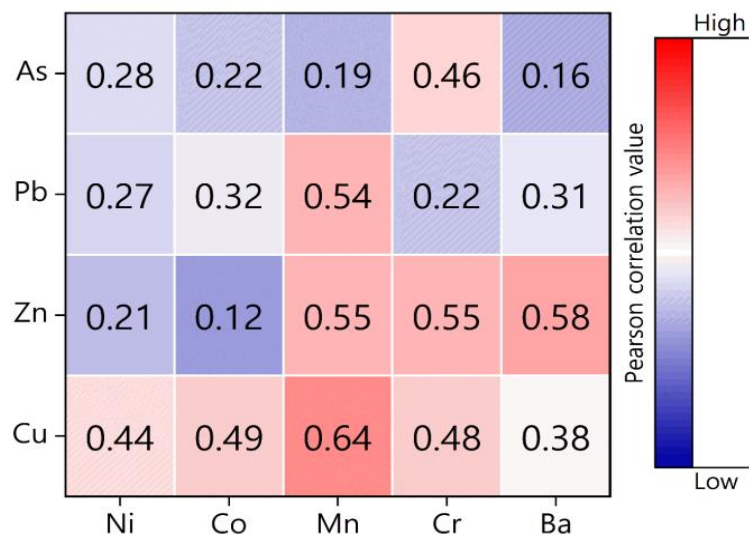
Деректердің өзгергіштігін қосымша талдау нәтижесінде дисперсияның (Variance) және стандартты ауытқудың (SD) ең жоғары мәндері Mn элементіне (990544.3; 995.3) тән екені анықталды, бұл оның концентрациясының жоғары вариабельдігін көрсетеді. Ұқсас үрдіс Zn элементінде де байқалады (дисперсия – 662762.7, стандартты ауытқу – 814.1), бұл да оның концентрацияларының айтарлықтай ауытқуын дәлелдейді. Ал Ni (SD – 39.6) және As (SD – 27.7) элементтері керісінше, ең төменгі өзгергіштікті көрсетіп отыр, бұл олардың зерттеліп отырған аумақта салыстырмалы түрде біркелкі таралғанын білдіреді.

Интерполяциялық болжаулардың дәлдігін бағалау барысында Zn элементінде салыстырмалы стандартты қате (RSE – 20.2%) ең жоғары екені анықталды, бұл оның концентрацияларын бағалау сенімділігінің төмен екенін көрсетеді. Ал ең төменгі салыстырмалы қате Ni элементінде (RSE – 2.5%) тіркелді, бұл осы элемент бойынша алынған деректердің жоғары тұрақтылығы мен сенімділігін растайды.

Зерттелетін аумақтағы 25 нүктеде жиналған деректерге жүргізілген корреляциялық талдау нәтижелері біркелкі емес нәтижелерді көрсетті. Алайда айнымалылар арасындағы байланыс дәрежесі әртүрлі болғанына қарамастан, теріс корреляция анықталған жоқ (3.14-сурет).

Корреляциялық талдау нәтижелері зерттелген металдардың бес жұбы үшін оң мәндерді көрсетті. Ең жоғары корреляция Mn мен Cu арасында тіркелді ($r = 0.64$, $p = 0.0005$). Маңызды корреляциялық байланыстар Mn мен Pb, Mn мен Zn, Cr мен Zn, Ba мен Zn арасында да байқалады, мұнда корреляция коэффициенті 0.5-тен жоғары және маңыздылық деңгейі $p < 0.004$.

Орташа дәрежедегі корреляция Cr мен Cu, сондай-ақ As пен Cr арасында байқалды. Қалған металл жұптарында корреляция коэффициенттері 0.4-тен төмен, бұл айнымалылар арасындағы байланыстың әлсіз екенін көрсетеді және статистикалық тұрғыдан маңызды заңдылықтарды анықтауға жеткіліксіз деп саналады.



3.14-сурет – Ауыр металдардың құрамына жүргізілген корреляциялық талдау

Корреляция коэффициенті 0,5-тен жоғары болған элементтер жұбының арасындағы бір айнымалы функциясының жуықтауы есептелініп қауіпті аймақтарды анықтауда ауыр металдардың өзара құрамдық корреляциялық-геостатистикалық моделі құрылды (3.15-сурет).

Регрессия түрлері:

Сызықтық регрессия:

$$\hat{y} = ax + b$$

Коэффициент а:

$$a = \frac{\sum x_i \sum y_i - n \sum x_i y_i}{(\sum x_i)^2 - n \sum x_i^2}$$

Коэффициент b:

$$b = \frac{\sum x_i \sum x_i y_i - \sum x_i^2 \sum y_i}{(\sum x_i)^2 - n \sum x_i^2}$$

Сызықтық жұптық корреляция коэффициенті:

$$r_{xy} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{(n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2)(n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)}}$$

Анықтау коэффициенті:

$$R^2 = r_{xy}^2$$

Орташа жуықтау қатесі:

$$\overline{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100\%$$

Квадраттық регрессия:

$$\hat{y} = ax^2 + bx + c$$

A, b және c-коэффициенттерін табуға арналған теңдеулер жүйесі:

$$\begin{cases} a \sum x_i^2 + b \sum x_i + nc = \sum y_i, \\ a \sum x_i^3 + b \sum x_i^2 + c \sum x_i = \sum x_i y_i, \\ a \sum x_i^4 + b \sum x_i^3 + c \sum x_i^2 = \sum x_i^2 y_i; \end{cases}$$

Корреляция коэффициенті:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}},$$

мұндағы,

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i$$

Анықтау коэффициенті: R^2

Орташа жуықтау қатесі, %

$$\overline{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100\%$$

Кубтық регрессия:

$$\hat{y} = ax^3 + bx^2 + cx + d$$

a, b, c және d- коэффициенттерін табуға арналған теңдеулер жүйесі:

$$\begin{cases} a \sum x_i^3 + b \sum x_i^2 + c \sum x_i + nd = \sum y_i, \\ a \sum x_i^4 + b \sum x_i^3 + c \sum x_i^2 + d \sum x_i = \sum x_i y_i, \\ a \sum x_i^5 + b \sum x_i^4 + c \sum x_i^3 + d \sum x_i^2 = \sum x_i^2 y_i, \\ a \sum x_i^6 + b \sum x_i^5 + c \sum x_i^4 + d \sum x_i^3 = \sum x_i^3 y_i; \end{cases}$$

Корреляция коэффициенті, анықтау коэффициенті, орташа жуықтау қатесі – квадраттық регрессия үшін бірдей формулалар қолданылады.

Дәрежелік регрессия:

$$\hat{y} = a \cdot x^b$$

Коэффициент b:

$$b = \frac{n \sum (\ln x_i \cdot \ln y_i) - \sum \ln x_i \cdot \sum \ln y_i}{n \sum \ln^2 x_i - (\sum \ln x_i)^2}$$

Коэффициент a:

$$a = \exp \left(\frac{1}{n} \sum \ln y_i - \frac{b}{n} \sum \ln x_i \right)$$

Корреляция коэффициенті, анықтау коэффициенті, орташа жуықтау қатесі – квадраттық регрессия үшін бірдей формулалар қолданылады.

Көрсеткіштік регрессия:

$$\hat{y} = a \cdot b^x$$

Коэффициент b:

$$b = \exp \frac{n \sum x_i \ln y_i - \sum x_i \cdot \sum \ln y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

Коэффициент a:

$$a = \exp \left(\frac{1}{n} \sum \ln y_i - \frac{\ln b}{n} \sum x_i \right)$$

Корреляция коэффициенті, анықтау коэффициенті, орташа жуықтау қатесі – квадраттық регрессия үшін бірдей формулалар қолданылады.

Гиперболалық регрессия:

$$\hat{y} = a + \frac{b}{x}$$

Коэффициент b:

$$b = \frac{n \sum \frac{y_i}{x_i} - \sum \frac{1}{x_i} \sum y_i}{n \sum \frac{1}{x_i^2} - \left(\sum \frac{1}{x_i} \right)^2}$$

Коэффициент a:

$$a = \frac{1}{n} \sum y_i - \frac{b}{n} \sum \frac{1}{x_i}$$

Корреляция коэффициенті, анықтау коэффициенті, орташа жуықтау қатесі – квадраттық регрессия үшін бірдей формулалар қолданылады.

Логарифмдік регрессия:

$$\hat{y} = a + b \ln x$$

Коэффициент b:

$$b = \frac{n \sum (y_i \ln x_i) - \sum \ln x_i \cdot \sum y_i}{n \sum \ln^2 x_i - (\sum \ln x_i)^2}$$

Коэффициент a:

$$a = \frac{1}{n} \sum y_i - \frac{b}{n} \sum \ln x_i$$

Корреляция коэффициенті, анықтау коэффициенті, орташа жуықтау қатесі – квадраттық регрессия үшін бірдей формулалар қолданылады

Экспоненциалды регрессия:

$$\hat{y} = e^{a+bx}$$

Коэффициент b:

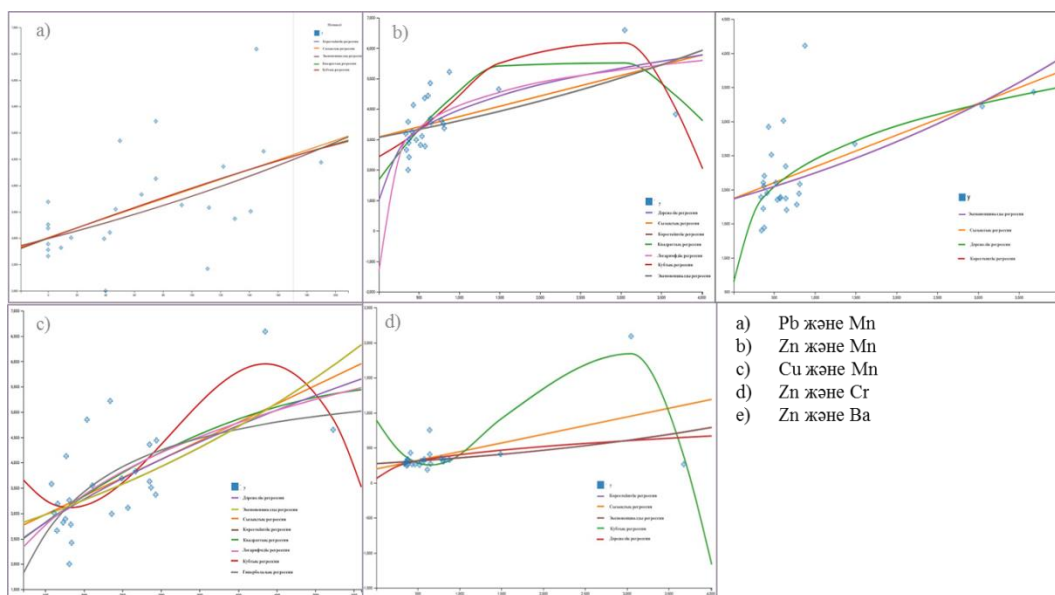
$$b = \frac{n \sum x_i \ln y_i - \sum x_i \cdot \sum \ln y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

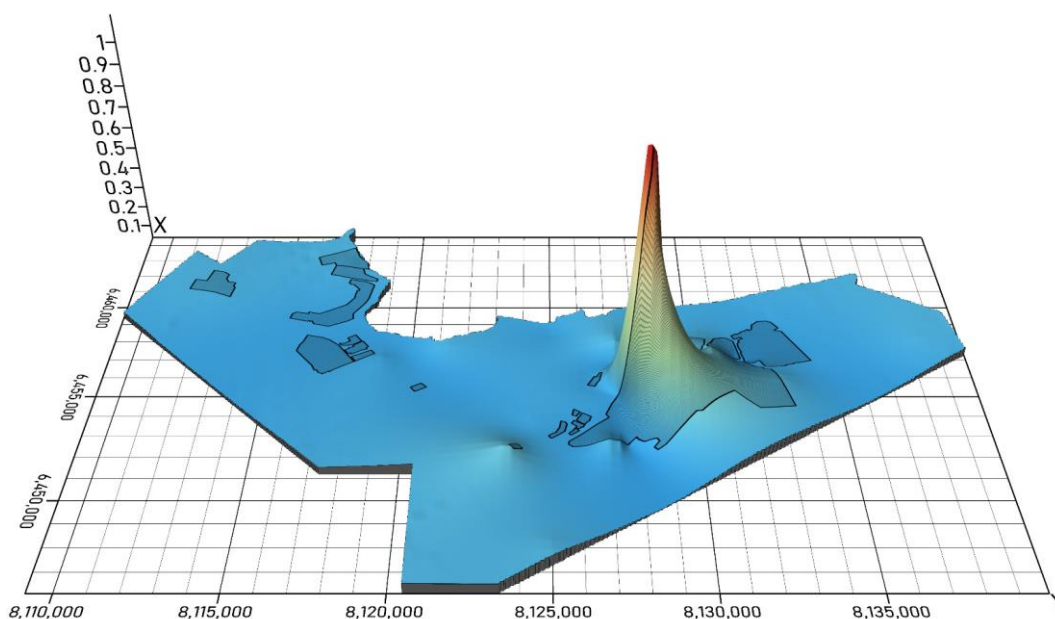
Коэффициент a:

$$a = \frac{1}{n} \sum \ln y_i - \frac{b}{n} \sum x_i$$

Корреляция коэффициенті, анықтау коэффициенті, орташа жуықтау қатесі – квадраттық регрессия үшін бірдей формулалар қолданылады.

Интерполяциялық вариограммаларға негізделген кеңістіктік корреляциялық талдау барлық зерттелген ауыр металдардың концентрацияларының жоғарылаған аймағын анықтады. Бұл ластану аймақтарының кеңістіктік өзара байланысын және олардың таралуының ықтимал ортақ көзін көрсетеді (3.16-сурет) [112].



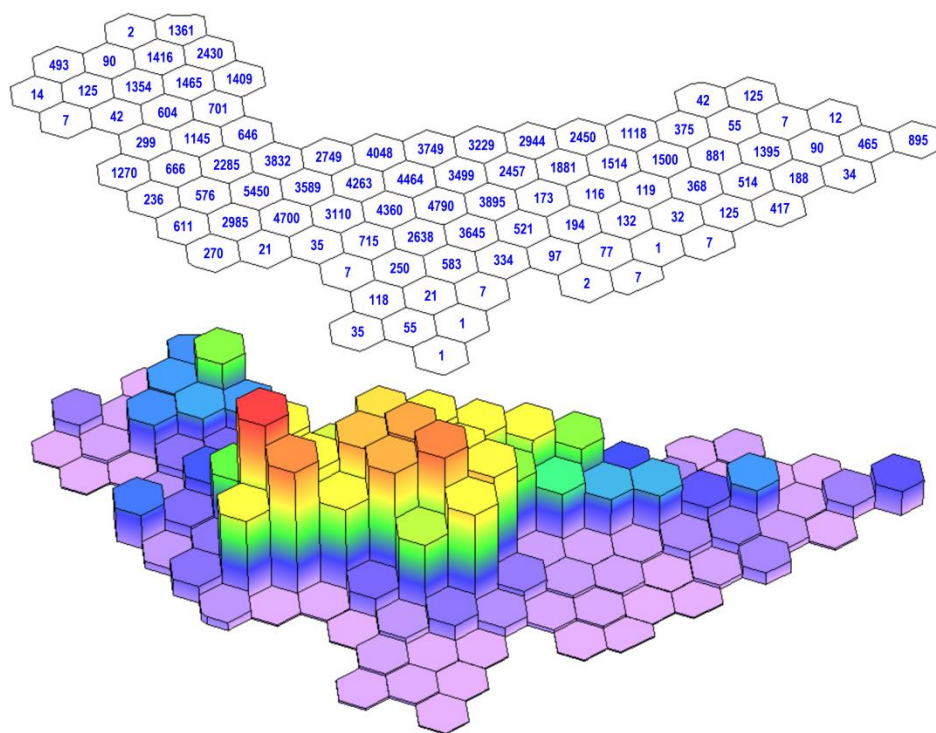


3.16-сурет – Зерттелген ауыр металдар үшін Пирсон корреляция коэффициенттерінің орташа мәндерінің кеңістіктік таралуы

Зерттелген нүктелерде әрбір ауыр металлға арналған рұқсат етілген ең жоғарғы концентрацияның (РЕЖК) есептеулері және халық санының кеңістіктік таралуы туралы деректер зерттелетін аймақта РЕЖК деңгейінің асып кету шекараларын көрсететін карта жасауға мүмкіндік берді (3.18-сурет).

ШРК-нің асып кету контурларын құру үшін интерполяциялық әдістер, атап айтқанда Indicator Kriging қолданылды, ол шекті мәндерді – яғни талданатын әрбір металл үшін ШРК-ны ескереді. Бұл әдіс экологиялық қауіптің жоғары аймақтарын анықтауға және халық денсаулығына қауіп төндіретін ең лас аумақтарды белгілеуге мүмкіндік береді.

Максималды асып кетулер бірнеше ауыр металлдар бойынша тіркелді, оның ішінде ең үлкені – хром үшін ($348,3 \times \text{ШРК}$), бұл рекордтық көрсеткіш болып табылады. Сонымен қатар, мышьякта ($72 \times \text{ШРК}$, зерттелген элементтер арасында ең жоғары мән), марганецте ($4,39 \times \text{ШРК}$, тіркелген максимум) және мырышта ($132,6 \times \text{ШРК}$, екінші ірі асып кету) маңызды асып кетулер байқалды. Никель ($\sim 96 \times \text{ШРК}$) және мыс ($\sim 13 \times \text{ШРК}$) концентрациялары да жоғары деңгейде тіркелді. Ең айқын ШРК-дан ауытқу №1 сынама алу нүктесінде байқалады, ол Кармет металлургиялық кешенінің негізгі цехына жақын орналасқан (3.18-сурет). Бұл нәтижелер ауыр металл концентрацияларының кеңістіктік корреляциясымен де расталады (3.16-сурет).

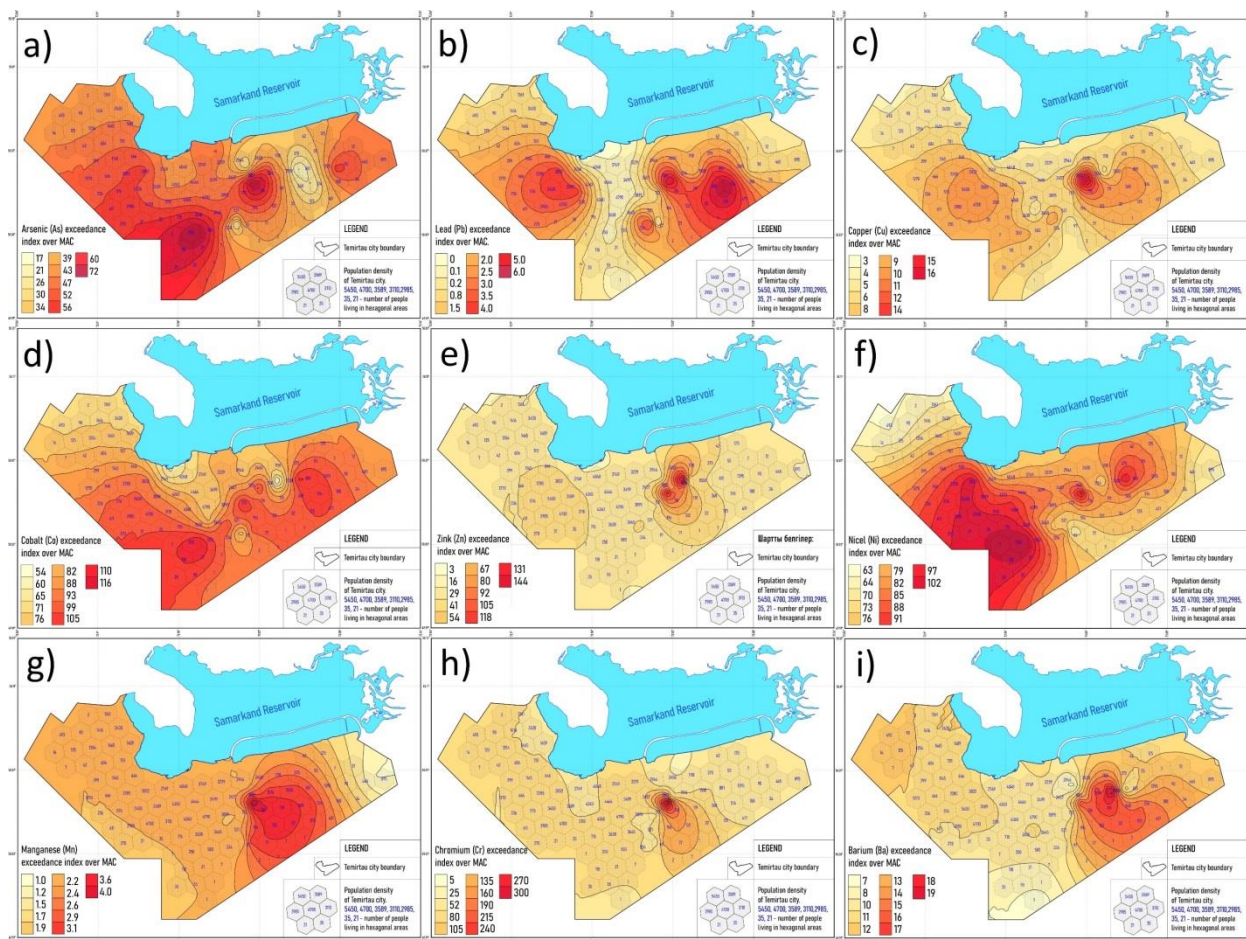


3.17 -сурет – Зерттелген өңірдегі халық санының таралуын көрсететін тақырыптық картасы

№2 сынама алу нүктесі – екінші дәрежелі ластанған аумақ. Мұнда мыс концентрациясы экстремалды жоғары, ($15.85 \times \text{ШРК}$) мырыш ($64.8 \times \text{ШРК}$) және кобальт ($109.8 \times \text{ШРК}$) деңгейлері де айтарлықтай асып кеткен, мышьяқтың деңгейі де жоғары ($61.5 \times \text{ШРК}$). Жалпы алғанда, №2 нүктесі ластанудың ең жоғары жалпы деңгейлерінің бірі болып табылады (тек №1 нүктесінен төмен).

№3 сынама алу нүктесі – мырыштың рекордтық концентрациясымен ерекшеленеді ($160 \times \text{ШРК}$ – барлық өлшеулер арасында ең жоғары). Басқа металдар да нормативтерден асып кеткен, бірақ рекордтық емес: мысалы, As $\sim 52.5 \times$, Cu $\sim 8.1 \times$, Ni $\sim 76 \times$. Zn-нің өте жоғары концентрациясы бұл нүктеде мырышпен ластанудың жергілікті көзінің бар екенін көрсетеді.

№14 сынама алу нүктесі – никель мен кобальттың өте жоғары концентрацияларымен сипатталады. Никель $\sim 101.5 \times \text{ШРК}$ -ға, кобальт $\sim 121.6 \times \text{ШРК}$ -ға жетеді – бұл тиісті металдар бойынша ең жоғарғы мәндер. Сондай-ақ, №14 нүктесінде мышьяқтың ең жоғары деңгейлерінің бірі тіркелген ($71.5 \times$, №1 нүктесінен кейінгі екінші орын). Алайда қорғасын ШРК-дан аспайды (Pb = 0). №14 нүктесі Ni мен Co-ның жоғары көрсеткіштерін және жоғары As деңгейін біріктіруімен ерекшеленеді, бұл белгілі бір көзді (мысалы, геохимиялық фон немесе өнеркәсіптік шығарындылар) көрсетуі мүмкін.



3.18-сурет – Теміртау қаласының топырақтарындағы ауыр металдардың рұқсат етілген ең жоғарғы концентрациясының (РЕЖК) асып кетуінің кеңістіктік таралуы, мг/кг. а) мышьяк (As); б) қорғасын (Pb); с) мыс (Cu); d) кобальт (Co); е) мырыш (Zn); f) никель (Ni); g) марганец (Mn); h) хром (Cr); i) барий (Ba).

№23 сынама алу нүктесі – жоғары хром деңгейімен ($125.3 \times$ ШРК, №1 нүктесінен кейінгі екінші ең үлкен көрсеткіш) ерекшеленеді. Басқа металдар бұл нүктеде орташа деңгейде асып кеткен (As $\sim 42 \times$, Co $\sim 101 \times$, Ni $\sim 69 \times$ және т.б.), бірақ Cr деңгейінің осындай жоғары болуы нүктені ерекше етеді. Жалпы ластану деңгейі бойынша №23 нүктесі ең лас бес аумақтың қатарына кіреді.

№7 сынама алу нүктесі – қорғасын бойынша ең үлкен асып кету байқалады ($Pb = 5.94 \times$ ШРК, ең жоғары мән). Бұл нүктеде басқа элементтердің концентрациялары орташа деңгейде: Cr ең төмен ($\sim 31 \times$), As салыстырмалы түрде төмен ($20.5 \times$), Ni және Co шамамен $\sim 76 \times$ және $\sim 112 \times$ деңгейінде (үлгідегі орташа мәндерге жақын). Осылайша, №7 нүктесі қорғасын бойынша жергілікті асып кетуді көрсетеді, ал басқа металдар бойынша ол аса лас емес.

№5 сынама алу нүктесі – барий бойынша максимум тіркелген ($20.55 \times$ ШРК). Басқа көрсеткіштер орташа: As $\sim 41 \times$, Zn $\sim 38 \times$, Ni $\sim 80.8 \times$, Co $\sim 70.2 \times$, Pb $\sim 2.34 \times$. Барийдің жоғары деңгейі жергілікті барий ластану көзінің болуы

мүмкін екенін білдіреді (мысалы, жанармай жануынан шыққан шығарындылар немесе жер асты қабаттарындағы ерекше жыныстар).

Осылайша, ең маңызды нормативтік асып кетулер бірнеше негізгі нүктелерге шоғырланған. №01 сынама алу нүктесі бірнеше металл бойынша рекордтық мәндері бар мульти-ластанған аймақ ретінде анық айқын көрінеді. №02 және №03 нүктелері де «ыстық нүктелерге» жатады – бірінші біріктірілген ластану бойынша (әсіресе Cu және Zn), екіншісі аномалды жоғары Zn деңгейімен. №14 нүктесі Ni және Co бойынша жеке мәселені көрсетеді. Жеке металдардың жергілікті максимумдары №07 (Pb) және №05 (Ba) нүктелерінде анықталды.

Ластанудың кеңістіктік таралуы талданып, ауыр металдардың концентрациясы рұқсат етілген ең жоғарғы концентрациядан асатын аудандар (квадрат километрмен) анықталды (3.19-сурет).

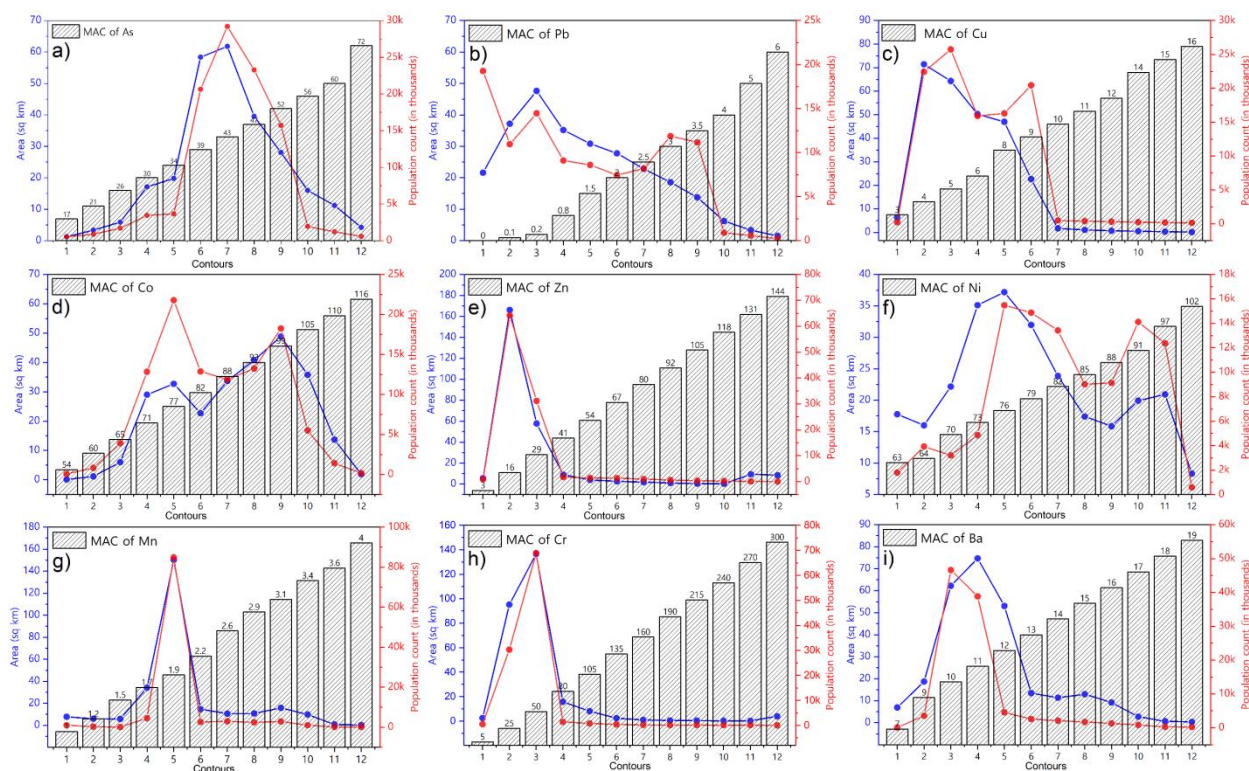
Көптеген металдар үшін ластану аудандары ұқсас болғанымен, олардың кеңістіктік таралуы мен ШРК асып кету деңгейі әртүрлі. Марганец (Mn) және мырыш (Zn) – қалыптыдан жоғары концентрациясы бар кең аумақтармен сипатталады, шамамен 60–70 мың адамды қамтып, концентрациясы ШРК-дан 16–29 есе жоғары (3.18-сурет g, 40e).

Ластану деңгейі мен ластанған аймақтың ауданы мен халқы арасында кері байланыс табылды:

- Концентрация неғұрлым жоғары (ШРК -дан бірнеше есе асып кеткен сайын), соғұрлым осы аймақтың ауданы мен халқы азаяды.
- Асқыну деңгейі төмен болған сайын (ШРК -дан сәл асып кеткен), ластанған аудан мен зардап шеккен халық саны артады.

Хром (Cr) үшін минималды асып кету деңгейінде ($5 \times$ ШРК) ластанған аудан тек 2,45 км² және 947 адамды қамтиды. Орташа жоғары деңгейде (5 -тен $50 \times$ ШРК -ға дейін) – 232 км², қауіп аймағындағы халық саны 99 мыңға дейін өседі. Экстремалды ластануда ($300 \times$ ШРК) – ластану ауданы 3,9 км², ал әсер етілетін адамдар саны 37 ғана. Мұндай тенденция барлық металдарға тән, бірақ ауданы мен зардап шеккендер санының төмендеуі әр металлдың ластану ерекшеліктеріне байланысты өзгеріп отырады (3.19-сурет).

1. Мышьяк (As). Деректер талдауы көрсеткендей, ШРК -дан 25-тен 55 есе асып кеткен мышьякпен ластану барлық зерттелген металдардың ішінде ең үлкен аумақты — 240 км² қамтиды. Сонымен қатар, мышьяк халыққа теріс әсер етіп, 97 890 адамды қамтиды. Оның кеңістіктік таралуы салыстырмалы түрде біркелкі фондық ластанумен сипатталады, нақты жергілікті шекті мәндері жоқ. Бұл ластанудың табиғи (аймақтың геохимиялық фоны) немесе шашыраңқы техногендік көзінен пайда болғанын көрсетуі мүмкін. Мышьяқтың жоғары токсикалығы мен биоқосылу қабілетін ескере отырып, ол денсаулыққа ерекше қауіпті, онкологиялық, неврологиялық және бүйрек-бауыр ауруларының дамуына ықпал етеді.



3.19-сурет – Теміртау қаласындағы ШРК асып кету деңгейлері, ластанған аумақтардың көлемі және халық санының көрсеткіштері

2. Хром (Cr). Хром барлық металдар ішінде ең үлкен ШРК асып кетуін көрсетеді, кейбір нүктелерде 300×ШРК -ға дейін жетіп, бұл тіркелген ластану деңгейінің ең жоғарғы көрсеткіші болып табылады. Хромның экстремалды жоғары концентрациясының локальды ошақтары кішкентай аудандарды (5 км²-ден аз) алады, бірақ экологиялық және санитарлық қатер тудырады. Хромның 80 есеге дейінгі асып кеткен аумағында 101 028 адам тұрады, ал экстремалды ластану (100-300× ШРК) аумағында тек 1 745 адам бар. Ең үлкен қауіп – канцерогенді қасиеті бар және онкологиялық, тыныс алу жүйесінің аурулары мен тері патологияларын тудыратын алтывалентті хром (Cr⁶⁺).

3. Никель (Ni) және кобальт (Co) – кең таралған ластаушылар Никель мен кобальт зерттелген барлық нүктелерде ШРК-дан асып кеткен, бұл аумақтың фондық ластануын көрсетеді. Олардың ШРК асып кеткен аумағында 102 773 адам тұрады, бұл зерттелген аймақтың халық санының шамамен түгелімен сәйкес келеді, максималды асып кету деңгейі Ni үшін 102×, Co үшін 16×. Асып кету деңгейлері салыстырмалы төмен болса да, олардың кең көлемді таралуы маңызды антропогендік әсер тудырады. Екі металл организмде жиналып, тыныс алу жүйесінің ауруларын, созылмалы улануды және аллергиялық реакцияларды шақыруы мүмкін.

4. Свинец (Pb). Свинец ластанған ауданы салыстырмалы түрде кіші, бірақ токсикалығы жоғары металдардың бірі болып табылады. ШРК -ның асып кетуі тек кейбір учаскелерде байқалады, зерттелген барлық аумаққа тән емес. Максималды тіркелген асып кету деңгейі (6× ШРК-ға дейін) аса

жоғары болмаса да, свинецтің минималды концентрациясымен ұзақ уақыт байланыс адамның денсаулығына, әсіресе неврологиялық аурулар, когнитивті бұзылыстар және балалардың дамуының кідірісі түрінде, үлкен қауіп төндіреді.

5. Цинк (Zn), мыс (Cu), марганец (Mn), барий (Ba) – орташа деңгейдегі, бірақ кең таралған ластаушылар

Осы металдармен ластану шамамен 266 км² аумақты және 102,7 мың адамды қамтиды, бұл олардың кең әсер аймағын көрсетеді. ШРК асып кету деңгейлері төмендегідей: Цинк (Zn): 144× ШРК дейін, Мыс (Cu): 15× ШРК дейін, Марганец (Mn): 4× ШРК дейін, Барий (Ba): 19× ШРК дейін.

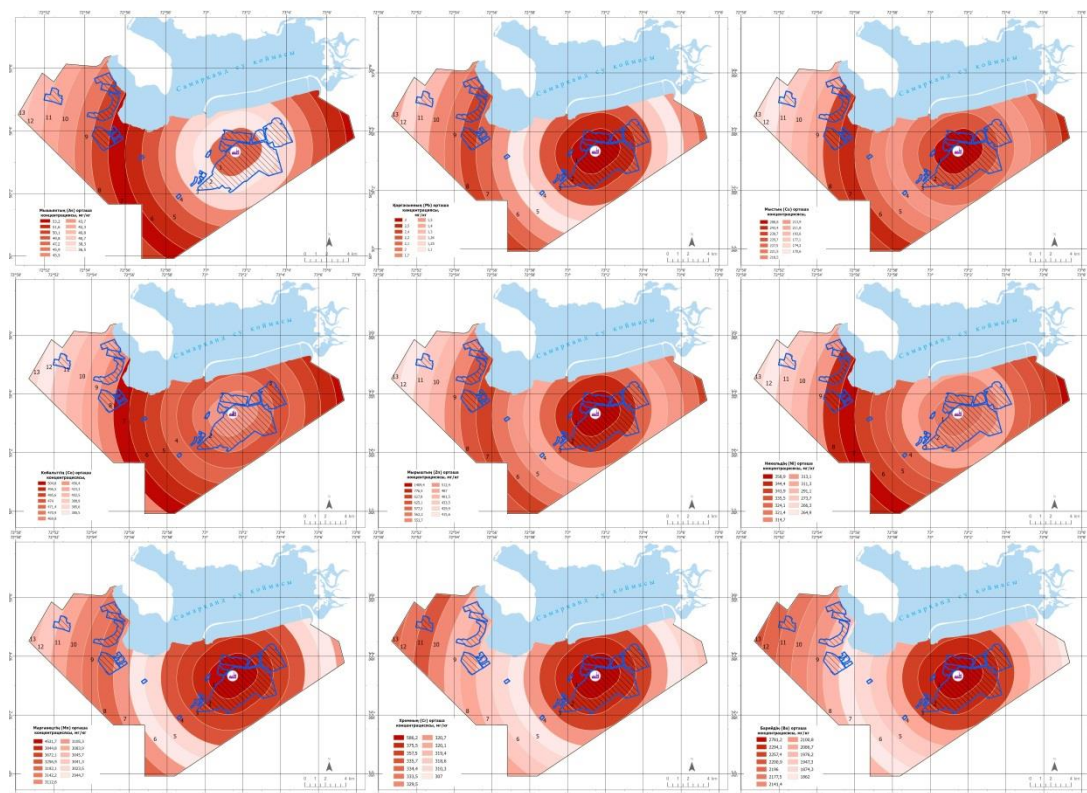
Асып кету деңгейлері салыстырмалы түрде орташа болғанымен, бұл элементтердің созылмалы әсері токсикалық болып табылады. Цинк пен мыс биологиялық маңызды элементтер болғанымен, жоғары концентрацияда токсикоздар мен зат алмасу бұзылыстарын тудыруы мүмкін. Марганец пен барий жоғары токсикалы, әсіресе ұзақ әсер еткенде, жүйке жүйесіне және ішкі ағзаларға теріс ықпалын тигізуі мүмкін.

Ауыр металдардың концентрациясы мен ластаушы көзге дейінгі арақашықтық арасындағы байланысты геокеңістіктік әдістер негізінде сипаттау — экологиялық талдаудың маңызды бөлігі болып табылады. Мұндай зерттеу аймақтың ластану деңгейін кеңістіктік тұрғыдан бағалауға және қауіпті аймақтарды анықтауға мүмкіндік береді. Зерттеу жұмысында ластаушы көзден ауыр металдардың 1-13 км-ға дейінгі радиус аралығында қалай таралатындығы бағаланды. Ол үшін ластаушы көздер (өнеркәсіптік кәсіпорындар) нүктелік немесе полигондық объектілер ретінде енгізіліп, ал сынама алынған нүктелер — ауыр металл концентрациясы көрсетілген деректермен байланыстырылды. Бағалау үшін келесідей геокеңістіктік және статистикалық әдістер қолданылды:

- Буферлік талдау (Buffer analysis): ластаушы көздің айналасында әртүрлі радиусты аймақтар құрылады және әр буфердегі орташа концентрация есептеледі.

- Корреляциялық талдау: әр сынама нүктесінің ластаушы көзге дейінгі арақашықтығы есептеліп, концентрациямен статистикалық байланысы анықталады.

Нәтижесінде алынған картографиялық модель ауыр металдардың таралуының кеңістіктік заңдылықтарын және антропогендік әсердің радиустық шегін көрсетеді. Мұндай тәсіл экологиялық тәуекел аймақтарын анықтап, табиғатты қорғау шараларын жоспарлауға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер 3.20-суретте көрсетілген.



3.21-сурет. Ауыр металлдардың ластау көзіне қатысты таралу заңдылығы

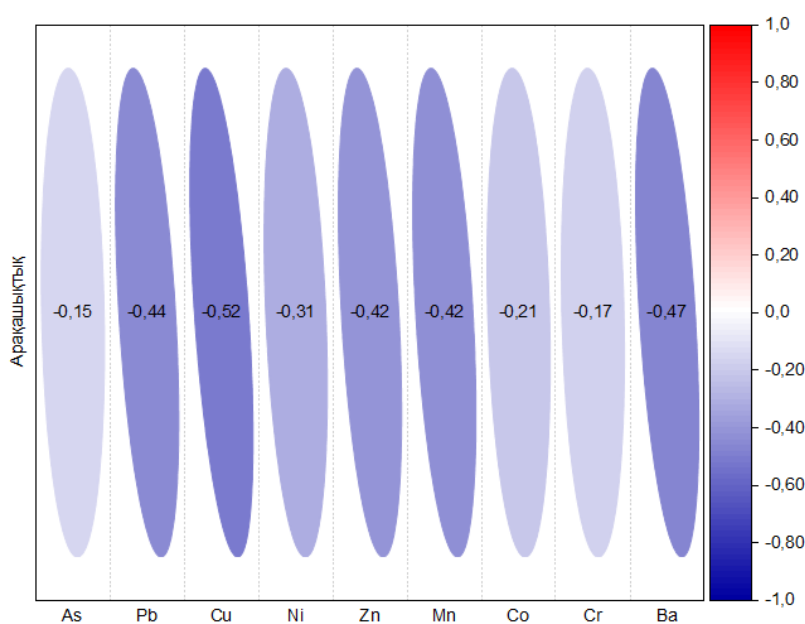
Кеңістіктік визуализациялау арқылы ауыр металлдардың келесі түрлерінде ұқсас заңдылықтар байқалды: Pb, Zn, Cu, Mn, Ba, Cr және As, Ni, Co. Бірінші топқа жататын ауыр металлдар үшін арақашықтық азайған сайын концентрациясының артуы байқалған, яғни, өнеркәсіптік зоналардың аумағында ауыр металлдардың көптеп шоғырлануын байқауға болады. Бұл заңдылық ауыр металлдардың физика-химиялық қасиеттері мен атмосфералық таралу механизмдерінің ерекшеліктерімен түсіндіріледі. Бұл элементтердің ауырлық дәрежесі жоғары және топырақ бөлшектерімен берік байланыс түзу қабілеті күшті болғандықтан, олардың атмосфера арқылы таралуы шектеулі. Сондықтан олардың негізгі жиналу аймағы тікелей шығарындылар көзі маңында қалыптасады.

Екінші топ элементтері біркелкі таралуын заңдылығын көрсетпейді. Мысалы, мышьяк (As), кобальт (Co) және никель (Ni) элементтері үшін арақашықтық бойынша концентрация өзгерісі күрделі сипатта болды: өнеркәсіптік аймақ маңында (1–3 км) артып, 4–8 км аралығында төмендеп, кейін қайта арту байқалды. Мұндай бейсызық өзгеріс бірнеше факторлармен түсіндіріледі:

- желдің бағыты мен жылдамдығының өзгеруі ауыр металлдардың атмосфера арқылы әрқелкі таралуына әсер етеді;
- жер бедерінің (рельефтің) ерекшеліктері шөгу және қайта шөгу аймақтарын қалыптастырып, ауыр элементтердің жинақталуын өзгертеді;

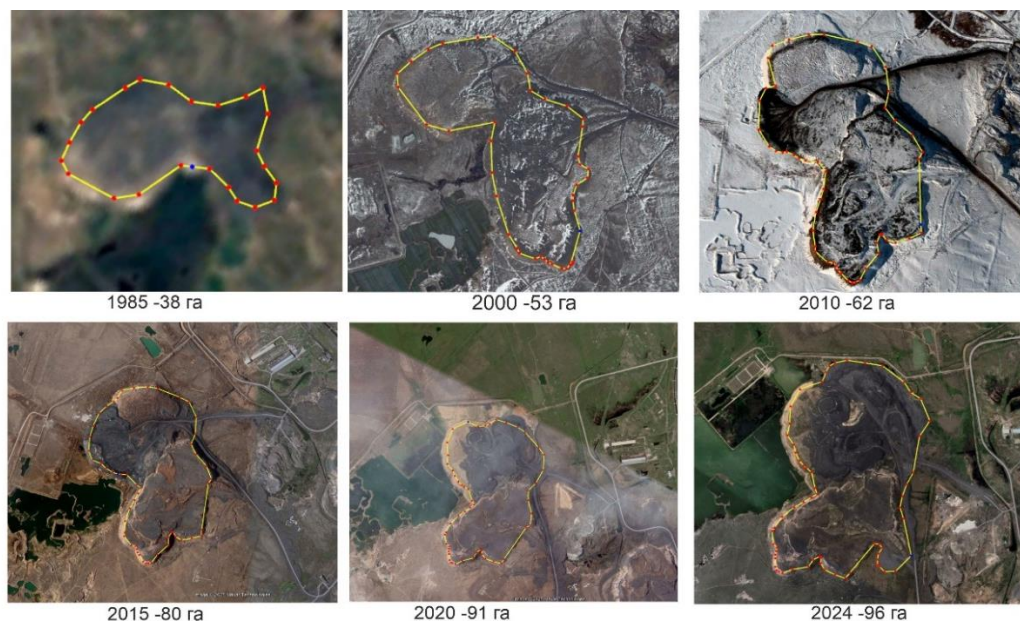
- элементтердің геохимиялық қасиеттері мен миграциялық қабілеттерінің айырмашылығы, яғни Co мен Ni топырақтағы органикалық және минералдық фазалармен әлсіз байланыс түзетіндіктен, қайта таралу үрдісі оңай жүреді.

Жалпы алғанда, ауыр металлдардың кеңістіктік таралуындағы айырмашылықтар геохимиялық қасиеттердің, атмосфералық дисперсия процестерінің, жел бағыты мен рельефтің өзара әсерімен түсіндіріледі. Осыған сәйкес, As, Co, Ni элементтері жел және рельефтік факторларға жоғары сезімталдық танытса, Pb, Zn, Cu, Mn, Ba және Cr элементтері шығарындылар көзіне жақын локальды ластану аймақтарын қалыптастырады. Бұл заңдылықты корреляция коэффициенттерінің мәні арқылы растауға болады (3.22-сурет).



3.22-сурет. Арақашықтық пен ауыр металлдардың канцентрациясының корреляция коэффициенті

Қарағанды облысының аумағында құрамында хром бар шламдар және кокс-химия өндірісінің қалдықтары үйіндісін бақылауда қашықтықтан зондтау және спутниктік деректерді негізінде 1985, 2000, 2010, 2015, 2020, 2024 жылдар арасында қалдықтар үйіндісінің аумағының өзгеруін талдау (1 - сурет) нәтижесінде 1985 ж – 38 га., 2000 ж – 53 га., 2010 ж – 62 га., 2015 ж – 80 га., 2020 ж – 91 г. және 2024 ж – 96 га. қалдықтар қоймаланған. Сонымен қатар спутниктік суреттерді талдау нәтижесіне сәйкес 1985-2024 жылдар аралығында үйінділерінің ауданы үш есеге жуық артқандығын көрсетті (3.23 - сурет) [115].



3.23 Сурет 1985 жылдан 2024 жылға дейін үйінділері аймағының өзгеруі динамикасы

Техногендік үйінділердің шамадан тыс артуынан топырақтың ластануы өсімдіктерге тікелей әсер етеді, оның қолайсыз жағдайларға төзімділігін төмендетеді және биоәртүрлілікті шектейді. Топырақтағы органикалық көміртектің азаюы оның көміртекті сақтау қабілетін төмендетеді, бұл атмосфераға көмірқышқыл газының шығарылуын күшейтеді және климаттың өзгеруін күшейтеді.

Осылайша, алынған нәтижелер экологиялық жағдайдың нашарлауын дәлелдейді және Теміртау мен Қарағанды өнеркәсіптік аймағында ауыр металдармен ластану процестерінің кеңеюіне тікелей әсер ететінін көрсетті. Бұл бағытта жүргізілген зерттеу деректері болашақта қалдықтарды қайта өңдеу мен экологиялық ремедиация шараларын жоспарлауға ғылыми негіз бола алады.

Үшінші тарау бойынша тұжырым

1. Өндірістік қалдықтар мен шығарындыларылардың көлемі мен құрамын талдау арқылы аймақтың топырақ, су және ауа сапасына, сондай-ақ Теміртау қаласының халық денсаулығына әсерін бағалауға мүмкіндік береді.

2. Экологиялық тәуекелдерді кешенді бағалаудың ең тиімді әдіснамасы ретінде зертханалық, гескеңістіктік және статистикалық деректерді біріктіру бағалау ұсынылды.

3. Нәтижелер негізінде ауыр металдардың құрамдық-геостатистикалық моделі жасалып, зерттеу аумағындағы техногендік ластану деңгейін кешенді бағалауға және экологиялық тәуекелдерді басқару шараларын ғылыми негізде жоспарлауға мүмкіндік береді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Диссертациялық жұмыста геокеңістіктік және статистикалық деректерді интеграциялау арқылы Қарағанды облысының өнеркәсіптік аймақтарындағы экологиялық тәуекелді кешенді бағалау әдістемесі әзірленді. Ұсынылған ғылыми-тәжірибелік тәсіл қоршаған ортадағы ластаушы заттардың таралуын модельдеудің, экологиялық тәуекелдерді болжаудың және халық денсаулығына әсерін анықтауға бағытталған.

Диссертациялық жұмыстың негізгі ғылыми нәтижелері мен қорытындылары төмендегідей:

- Геокеңістіктік және статистикалық мәліметтерді интеграциялау негізінде экологиялық тәуекелді қаупін нақты анықтау мәселелерін кешенді шешуге болатындығы келтірілді.

- Ауыр металдар мен ластаушы заттардың шоғырлану деңгейін, таралу заңдылығын және олардың қоршаған орта сапасына әсерін анықтау арқылы өнеркәсіптік аумақтардағы экологиялық тәуекелдерді бағалау әдістемесі ұсынылды.

- Кеңістіктік таралу ерекшеліктерін және экологиялық қауіпті аймақтарды анықтаудағы ықпалын бағалауға бағытталған ауыр металдардың құрамдық корреляциялық-геостатистикалық моделі ұсынылды.

- Геостатистикалық талдау нәтижесінде өнеркәсіптік аймақтар экологиялық тәуекел деңгейі бойынша зонирленіп, қауіптілік дәрежесін бейнелейтін тақырыптық карталар әзірленді.

- Халықтың орналасу тығыздығы мен ластану ошақтарының кеңістіктік сәйкестігі анықталып, экологиялық тәуекелге ұшырау ықтималдығы жоғары аумақтар және халық саны келтірілді.

Зерттеу нәтижелері геоақпараттық және статистикалық деректерді интеграциялау арқылы өнеркәсіптік аймақтардағы экологиялық тәуекелдерді бағалау мен қауіпті аймақтарды анықтаудың ғылыми негізін қалыптастырды. Ұсынылған әдістемелер экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету, аумақтық жоспарлау және экологиялық мониторинг жүйелерін жетілдіру бағытында қолданылады.

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 <https://explore.britannica.com/explore/savingearth/pollution-overview>
- 2 World Health Organization Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease. (2020) Available online: <https://www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en/>
- 3 European Commission. 2018. Global Pollution Kills 9 Million People a Year. Available online: <https://ec.europa.eu/newsroom/intra/items/612355/en> (accessed on 10 August 2022)
- 4 World Bank. 2022. Pollution. Available online: <https://www.worldbank.org/en/topic/air-pollution-and-clean-environment>
- 5 Shairsingh, Kerolyn, Ruggeri, Giulia, Krzyzanowski, Michal, Mudu, Pierpaolo, Malkawi, Mazen. et al. (2023). WHO air quality database: relevance, history and future developments. Bulletin of the World Health Organization, 101 (12), 800 - 807. World Health Organization. <http://dx.doi.org/10.2471/BLT.23.290188>
- 6 Жакыпбек Ы., Бегимжанова Е., Кезембаева Г., Турсбеков С., Кожаев Ж. Алматы қаласы ауасын ластаушы заттардың кеңістік-уақыттық өзгерістерін картографиялық талдау // Гидрометеорология и экология, No1 (116), 2025, 116-131. <https://journal.kazhydromet.kz/kazgidro/article/view/2361/2640>
- 7 Е.Е. Бегимжанова. Қатты тұрмыстық қалдықтар классификациясы. Сатпаев оқулары. –Алматы, 2021; 353-356.
- 8 https://egov.kz/cms/ru/articles/ecology/waste_reduction_recycling_and_reuse
- 9 Е.Е. Бегимжанова, Ы. Жакыпбек, С.С. Абдығалиева. Зарубежный опыт обращения с твердыми отходами и возможность его применения в условиях Казахстана. Materiály XVIII Mezinárodní vědecko - praktická konference «Zprávy vědecké ideje -2021», Volume 4:.. Publishing House «Education and Science». 2021. С.: 3-12.
- 10 Бегимжанова Е. Е., Жакыпбек Ы. Причины самовозгорания твердых бытовых отходов. Materials of the XVII International scientific and practical Conference Conduct of modern science - 2021, No: Sheffield. Science and education LTD. С. 52-57.
- 11 Ы. Жакыпбек, Е.Е. Бегимжанова, Г.Б. Кезембаева С.В. Турсбеков. Қоршаған ортаға қатты тұрмыстық қалдықтардың тигізетін әсерін зерделеу. Materiały XXII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, «Strategiczne pytania światowej nauki - 2025». С. 13-23.
- 12 Отчет по результатам маркетингового исследования Внедрение комплексной системы управления твердо-бытовыми отходами в Республике Казахстан, 2018-111 стр.
- 13 Е.Е. Бегимжанова, Ы. Жакыпбек, С.В. Турсбеков. Қатты тұрмыстық қалдықтар полигонын қашықтықтан ұшқышсыз ұшу аппараттарымен бақылау. Горный журнал Казахстана, №5, 2021; 48-51.

14 Ы. Жакыпбек, Е.Е. Әбдәлімов, М. Тоқтар, М.Е. Бектаев. Кен орындарын игерудегі жер ресурстарының бұзылуын талдау және мониторингтеу. Горный журнал Казахстана. – 2024. №8. С.28-33. ISSN: 2227 – 4766.

15 <https://earth.org/the-biggest-environmental-problems-of-our-lifetime/>

16 2022 жылға арналған қоршаған ортаның жай-күйі туралы және Қазақстан Республикасының табиғи ресурстарын пайдалану туралы ұлттық баяндама. Астана қ. 2023 ж.

17 Ы. Жакыпбек, Е.Е. Әбдәлімов, М. Тоқтар, М.Е. Бектаев. Кен орындарын игерудегі жер ресурстарының бұзылуын талдау және мониторингтеу. Горный журнал Казахстана. – 2024. №8. С.28-33. ISSN: 2227 – 4766.

18 Отчет по АО «Altyntau Kokshtau» за 2017 год. Кокшетау, 2017.

19 Рабочий проект. Реконструкция карьера «Коунрад» в части отработки восточного борта. Алматы, 2012. -214 с.

20 Нурказганский ГОК. Оценка воздействия на окружающую среду. Жезказган, 2017. -274 с.

21 Рабочий проект «Расширение Актогайского ГОКа. Обогажительная фабрика сульфидных руд». Астана, 2018. -234 с.

22 Жуматаев Б.Ж., Жакыпбек Ы., Тоқтар М., Әбен А.С. Жер ресурстарын пайдалану мен басқару жағдайын талдау. «Экономиканың тұрақты дамуы жағдайындағы минералдық-индустриялық мегакешендегі ресурс үнемдеуші технологиялар» Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының еңбектері. 2024. 520 – 522 б.

23 Калыбеков Т., Жакыпбек Ы. Ашық тау-кен жұмыстарындағы бұзылған жерлерді рекультивациялау. Монография – Алматы: Эверо баспасы, 2017 – 156 б.

24 Ахтаева Н.З., Нұрмаханова А.С., Усен Қ., Жакыпбек Ы., Осмонали Б., Есеналиева М.Б., Молдабаева Ә.Ғ. Изучение качественного и количественного состава почв нарушенных земель при разработке месторождений полезных ископаемых // Вестник КазНУ. -2019. -№1(131). -С.3-7. <https://official.satbayev.university/ru/research/vestnik-satbayev-university/publications>.

25 Калыбеков Т., Турсбеков С.В., Жакыпбек Ы., Ахтаева Н.З., Муканова Г.А. Изучение интенсификации почвообразовательных процессов при рекультивации поверхности отвалов // Вестник КРСУ. -2019. -Том 19. - №4. –С. 93-98. (РИНЦ, eLIBRARY.RU).

26 Kalybekov T., Rysbekov K.B., Sandibekov M.N., Zhakypbek Y., Begimzhanova Y.Y. The study of rational technology of reclamation of the mine-out quarry space. Journal of Advanced Research in Natural Science. – Seattle, USA: SRC MS, AmazonKDP. – 2020. – Issue 9. 63– 70p. ISSN 2572-4347.

27 Kazhydromet. Information Bulletins on the State of the Environment of the Republic of Kazakhstan. (2020). Available online:

<https://www.kazhydromet.kz/en/klimat/ezhegodnyy-byulleten-monitoringa-sostoyaniya-i-izmeneniya-klimata-kazahstana>

28 Daulet Assanov, Valeryi Zapasnyi and Aiymgul Kerimray. (2021) Air Quality and Industrial Emissions in the Cities of Kazakhstan. *Atmosphere*. 12, 314. <https://doi.org/10.3390/atmos12030314>

29 Стурман В.И. Экологическое картографирование. -М.: Аспект Пресс, 2003. -251 с.

30 Востокова Е.А., Сущеня В.А., Шевченко Л.А. Экологическое картографирование на основе космической информации. -М., 1988.-С.67

31 Преображенский В.С., Экологические карты (содержание, требования).- Изв. АН СССР, сер. геогр., 1990. -№ 6.- С.25-28.

32 Корытный Л.М., О классификации экологических карт // Актуальные экологические проблемы Республики Татарстан: тез. докл. 2 Республиканской научн. Конференции.- Казань, 1995. –С.125-128.

33 Ляхова, О.Н. Тритий как индикатор мест проведения ядерных испытаний /О.Н. Ляхова, С.Н. Лукашенко, Н.В. Ларионова, С.Б. Субботин // Актуальные вопросы радиозэкологии Казахстана/ под рук. Лукашенко С.Н. – Т. 2. – Вып. 3. – Павлодар: Дом печати, 2011. – С. 121-142.

34 Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю.А. Израэль. - Л.: Гидрометиздат, 1979. - 375с.

35 Карпухин С.С., Киселёв В.В., Свешников В.В., Картографическое обеспечение экологии и природоохранных мероприятий на основе использования данных дистанционного зондирования Земли// Геодезия и картография.- 1992. -№4. -С.18-21.

36 Нұрпейісова М.Б. Ғарыштық геодезия. Оқулық. — Алматы: Дәуір, 2012. — 240 б. — ISBN: 978-601-217-287-4.

37 Y. Fialko, D. Sandwell, M. Simons, P. Rosen. Three-dimensional deformation caused by the Bam, Iran, earthquake and the origin of shallow slip deficit. *Nature*, 435 (7040) (2005), p.295

38 M.E. Oskin, J.R. Arrowsmith, A.H. Corona, A.J. Elliott, J.M. Fletcher, E.J. Fielding, P.O. Gold, J.J.G. Garcia, K.W. Hudnut, J. Liu-Zeng, O.J. Teran. Near-field deformation from the El Mayor–Cucapah earthquake revealed by differential LIDAR. *Science*, 335 (6069) (2012), pp. 702-705

39 B. Miyahara, Y. Miura, Y. Kakiage, H. Ueshiba, M. Honda, H. Nakai, T. Yamashita, Y. Morishita, T. Kobarashi, H. Yarai. Detection of ground surface deformation caused by the 2016 Kumamoto earthquake by InSAR using ALOS-2 data. *Bulletin of the Geospatial Information Authority of Japan*, 64 (2016), pp. 21-26

40 C.P. Scott, J.R. Arrowsmith, E. Nissen, L. Lajoie, T. Maruyama, T. Chiba. The M7 2016 Kumamoto, Japan, earthquake: 3-D deformation along the fault and within the damage zone constrained from differential Lidar topography *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 123 (7) (2018), pp. 6138-6155

- 41 P. He, Y. Wen, C. Xu, Y. Chen. High-quality three-dimensional displacement fields from new-generation SAR imagery: application to the 2017 Ezgeleh, Iran, earthquake. *J. Geod.* (2018), pp. 1-19
- 42 Yamazaki, F., Liu, W., 2016, September. Remote sensing technologies for post-earthquake damage assessment: A case study on the 2016 Kumamoto earthquake. In Keynote Lecture, 6th Asia Conference on Earthquake Engineering (p. 8).
- 43 O. Zielke, J.R. Arrowsmith, L.G. Ludwig, S.O. Akçiz. Slip in the 1857 and earlier large earthquakes along the Carrizo plain, San Andreas fault. *Science*, 327 (5969) (2010), pp. 1119-1122
- 44 C.L. Glennie, A. Hinojosa-Corona, E. Nissen, A. Kusari, M.E. Oskin, J.R. Arrowsmith, A. Borsa Optimization of legacy lidar data sets for measuring near-field earthquake displacements *Geophys. Res. Lett.*, 41 (10) (2014), pp. 3494-3501
- 45 Ping He, Yangmao Wen, Caijun Xu, Yunguo Chen. Complete three-dimensional near-field surface displacements from imaging geodesy techniques applied to the 2016 Kumamoto earthquake, *Remote Sensing of Environment*, Volume 232, 2019, 111321, ISSN 0034-4257,.
- 46 Килимник Е.О., Углицкая Т.С., Липис Е. А. Актуальные вопросы влияние космических технологий на решение экологических проблем в стране. *Экономика, экология и общество России в 21-м столетии*, 2021. Стр. 46-54
- 47 Семашко А.Г., Фрог Б.Н. Роль космической деятельности в решении проблем экологии и водопользования земли. Студенческая научно-практическая конференция в рамках "недели науки" фия май-ниу, посвящённая 100-летию со дня рождения академика в.п. Мишина. Сборник докладов. Том выпуск 11. Ответственный редактор А. К. Каллиопин. 2017. Стр. 270-277.
- 48 K. Koruyan, A.H. Deliormanli, Z. Karaca, M. Momayez, H. Lu, E. Yalcin, Application of Time Series Landsat Images to Examining Land-use/Land-cover. *Dynamic Change, Photogrammetr. Eng. Remote Sens.* 78 (7) (2012) 747–755.
- 49 N. Demirel, M.K. Emil, H.S. Duzgun, Landuse change detection in a surface coal mine area using multi-temporal high-resolution satellite images, *Int. J. Min. Reclam. Environ.* 25 (4) (2011) 342–349.
- 50 Y. Ma, R. Xu, Urban expansion monitoring and driving forces analysis: a case study of Jiangsu Province, China. 2009 Joint Urban Remote Sensing Event, 2009, pp. 1–6.
- 51 Matthew, J., Dylan, B., Julian, D., 2013. Remote sensing of exposure to NO₂: satellite versus ground based measurement in a large urban area. *ISEE Conference Abstracts*
- 52 Zheng, Z., Yang, Z., Wu, Z., Marinello, F., 2019. Spatial variation of NO₂ and its impact factors in China: an application of sentinel-5P products. *Remote Sens.* 11, 1939

- 53 Fileni, L., Matteucci, G., Passerini, G., Rizza, U., 2018. Analysis of air pollutant emissions in a wastewater treatment plant using dispersion models. *WIT Trans. Ecol. Environ. Air Pollut.* 230, 219–230
- 54 Young, M.T., Bechle, M.J., Sampson, P.D., Szpiro, A.A., Marshall, J.D., Sheppard, L., Kaufman, J.D., 2016. Satellite-based NO₂ and model validation in a national prediction model based on universal kriging and land-use regression. *Environ. Sci. Technol.* 50, 3686–3694
- 55 Walczykowski, P., Jenerowicz, A., Orych, A., 2013. A review on remote sensing methods of detecting physical water pollutants. In: *Research Conference in Technical Disciplines*.
- 56 Singh, S.K., Srivastava, P.K., Singh, D., Han, D., Gautam, S.K., Pandey, A.C., 2015. Modeling groundwater quality over a humid subtropical region using numerical indices, earth observation datasets, and X-ray diffraction technique: a case study of Allahabad district, India. *Environ. Geochem. Health*.
- 57 Cantini, F., Castelli, G., Foderi, C., Garcia, A.S., de Armentia, T.L., Bresci, E., Salbitano, F., 2019. Evidence-based integrated analysis of environmental hazards in southern Bolivia. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health*.
- 58 Zang, W., Lin, J., Wang, Y., Tao, H., 2012. Investigating small-scale water pollution with UAV remote sensing technology. *World Automation Congress Proceedings*.
- 59 Ardila, J., Laurila, P., Kourkouli, P., Strong, S., 2022. Persistent monitoring and mapping of floods globally based on the iceye sar imaging constellation. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. <https://doi.org/10.1109/IGARSS46834.2022.9883587>.
- 60 Sagan, V., Peterson, K.T., Maimaitijiang, M., Sidike, P., Sloan, J., Greeling, B.A., Maalouf, S., Adams, C., 2020. Monitoring inland water quality using remote sensing: potential and limitations of spectral indices, bio-optical simulations, machine learning, and cloud computing. *Earth Sci. Rev.*
- 61 Chen, C., Liu, F., He, Q., Shi, H., 2010. The possibility on estimation of concentration of heavy metals in coastal waters from remote sensing data. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)* 4216–4219.
- 62 Jiji, G.W., Rajesh, A., Durai Raj, P.J., 2020. Water pollution classification in Tiruppur district using unsupervised fully constrained least-squares method. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 48 (3), 353–362.
- 63 Trivero, P., Borasi, M., Biamino, W., Cavagnero, M., Rinaudo, C., Bonansea, M., Lanfri, S., 2013. River pollution remediation monitored by optical and infrared highresolution satellite images. *Environ. Monit. Assess.* 185 (9), 7647–7658. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3125-3>.
- 64 Arentsen, P.R., Gillies, R.R., Mesner, N., 2004. Satellite derived impervious surface area as an indicator for water resource impacts in a semi-arid environment, Utah, USA. *Management Information Systems 2004: Gis and Remote Sensing* 8, 231–240.
- 65 Ruppen, D., Runnalls, J., Tshimanga, R.M., Wehrli, B., Odermatt, D., 2023. Optical remote sensing of large-scale water pollution in Angola and DR

Congo caused by the Catoca mine tailings spill. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103237>.

67 Buzmakov, S.A., Sannikov, P.Yu., Kuchin, L.S., Igosheva, E.A., Abdulmanova, I.F., (2023). The use of unmanned aerial photography for the diagnosis of anthropogenic transformation of the natural environment during the operation of an oil field. *Notes of the Mining Institute*. Vol. 260. pp. 180–193.

68 Кучин Л.С. Мультиспектральная съемка на платформе беспилотного летательного аппарата районов природно техногенной аккумуляции углеводородов. *Экология и природопользование*, 2025. doi: 10.17072/20797877 2025 1 160 173

69 Иванова Е. А., Петров В. Б., Сидоров А. С. Применение методов машинного обучения для анализа пылевого загрязнения на данных ДЗЗ // Вестник Московского университета. 2020. № 10. С. 78–85.

70 Бардин, М. Ю. Изменения сезонных показателей экстремумов температуры воздуха в Москве и центральных областях европейской части России / М. Ю. Бардин, Т. В. Платова // Метеорология и гидрология. – 2020. – № 7. – С. 20-35.

71 Сазонов, Э. В. Экология городской среды: учеб. пособие для вузов / Э. В. Сазонов. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 308 с.

72 Попова, И. В. Изучение городского «острова тепла» с помощью геоинформационного моделирования и дистанционного зондирования / И. В. Попова, Д. В. Сарычев, С. А. Куролап // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогноза. Материалы международной научно-практической конференции (г. Воронеж, 3-5 октября 2019 г.). – Том 2. – Воронеж, 2019. – С. 270-275.

73 Балдина, Е. А. Использование космических снимков в тепловом инфракрасном диапазоне для географических исследований / Е. А. Балдина, М. Ю. Грищенко, Ю. В. Федоркова. – М.: Мысль, 2012. – 120 с.

74 Балдина, Е. А. Исследования городских островов тепла с помощью данных дистанционного зондирования в инфракрасном диапазоне / Е. А. Балдина, П. И. Константинов, М. Ю. Грищенко, М. И. Варенцов // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. – 2015. – № 5. – С. 38-42

75 Weng Q. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies / Q. Weng, D. Lu, J. Schubring // *Remote Sensing of Environment*. –2004. – № 89. – Pp. 467-483

76 Д. В. Сарычев, И. В. Попова, С. А. Куролап. Дистанционное зондирование источников теплового загрязнения города воронежа. *Housing and utilities infrastructure*. No. 4(19). 2021. DOI 10.36622/VSTU.2021.19.4.006

77 Бобров П.Ю., Талько О.В. ГИС-технологии в оценке качества природной среды селитебных территорий. **ТУРИЗМ И РЕКРЕАЦИЯ: ИННОВАЦИИ И ГИС-ТЕХНОЛОГИИ** материалы XVI Международной научно-практической конференции. Астрахань, 2024. стр. 36-39

78 Unwin, David. (1996). GIS, Spatial Analysis and Spatial Statistics. Progress in Human Geography - PROG HUM GEOGR. 20. 540-551. 10.1177/030913259602000408.

79 https://geoinfospot.com/5-spatial-analysis-techniques-for-beginners/?utm_source=chatgpt.com

80 Huang, Y., Li, T., Wu, C., He, Z., Japenga, J., Deng, M., Yang, X., 2015. An integrated approach to assess heavy metal source apportionment in peri-urban agricultural soils. J. Hazard. Mater. 299, 540-549.

81 Lu, A., Wang, J., Qin, X., Wang, K., Han, P., Zhang, S., 2012. Multivariate and geostatistical analyses of the spatial distribution and origin of heavy metals in the agricultural soils in Shunyi, Beijing, China. Sci. Total Environ. 425, 66-74.

82 Y. Xie, et al., Spatial distribution of soil heavy metal pollution estimated by different interpolation methods: accuracy and uncertainty analysis, Chemosphere 82 (3) (2011) 468–476.

83 McBratney, A.B., Mendonca Santos, M.L., Minasny B. On digital soil mapping // Geoderma 117, 2003.

84 Каневский М. Ф., Демьянов В. В., Савельева Е. А., Чернов С. Ю., Тимонин В. А. Кригинг и базовые модели геостатистики // В сб. Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. М., 1999. № 11

85 Геостатистика: теория и практика / В. В. Демьянов, Е. А. Савельева ; под ред. Р. В. Арутюняна; Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. — М. : Наука, 2010. — 327 с. — ISBN 978-5-02-037478-2 (в пер.)

86 Fedorov V. V. Kriging and other estimators of spatial field characteristics (with special reference to environmental studies) / V. V. Fedorov // Atmospheric Environment. – 1986. – Vol. 23. – P. 175–184.

87 Gouri, S. B. Comparison of GIS-based interpolation methods for spatial distribution of soil organic carbon (SOC) /S. B. Gouri, P. K. Shit, R. Maiti // Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. – 2016. – Vol. 2. – P. 1–13.

88 Wei, H., Dai, L., Wang, L., 2007. Spatial distribution and risk assessment of radionuclides in soils around a coal-fired power plant: a case study from the city of Baoji, China. Environ. Res. 104, 201e208.

89 Castellazzi, G.; Previtali, M. A Multi-Criteria GIS-Based Approach for Risk Assessment of Slope Instability Driven by Glacier Melting in the Alpine Area. Appl. Sci. 2024, 14, 11524. <https://doi.org/10.3390/app142411524>

90 Chai, L., Wei, L., Cai, P. et al. Risk assessment of land subsidence based on GIS in the Yongqiao area, Suzhou City, China. Sci Rep 14, 11377 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62108-w>

91 Olteanu, I.; Crenganiș, L.M.; Diac, M.; Precul, A.M. Sustainable Approach of a Multi-Hazard Risk Assessment Using GIS Customized for Ungheni Areal Situated in the Metropolitan Area of Iasi. Sustainability 2024, 16, 4485.

92 Zhran, M., Ghanem, K., Tariq, A. et al. Exploring a GIS-based analytic hierarchy process for spatial flood risk assessment in Egypt: a case study of the Damietta branch. *Environ Sci Eur* 36, 184 (2024). <https://doi.org/10.1186/s12302-024-01001-9>

93 Diniz-Filho, J.A.F., Bini, L.M., Hawkins, B.A., 2003. Spatial autocorrelation and red herrings in geographical ecology. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 12, 53-64.

94 Kristin Schaefer, Jürgen W. Einax, Vasil Simeonov, Stefan Tsakovski. Geostatistical and multivariate statistical analysis of heavily and manifoldly contaminated soil samples. Springer-Verlag 2010. pp.2675-2683.

95 Barnes, R., 2008, Variogram Tutorial. Golden Software Inc., Golden, 23 p.

96 Andrzej Sz. Borkowski, Jolanta Kwiatkowska-Malina. Geostatistical modelling as an assessment tool of soil pollution based on deposition from atmospheric air. *Geosciences Journal*, Volume 21, pages 645–653, (2017)

97 Webster, R. and Oliver, M., 2007, *Geostatistics for Environmental Scientists* (2nd edition). John Wiley and Sons, Chichester, 309 p.

98 A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. Mukaka MM. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3576830/> *Malawi Med J.* 2012. 24:69–71

99 Comparing the Pearson and Spearman correlation coefficients across distributions and sample sizes: a tutorial using simulations and empirical data. De Winter JCF, Gosling SD, Potter J. *Psychol Methods.* 2016. 21:273–290. doi: 10.1037/met0000079.

100 Study of bacterial community composition and correlation of environmental variables in Rambla Aalada, a hypersaline environment in South-Eastern Spain. Oueriaghli N, Castro JD, Llamas I, Béjar V, Martínez-Checa F. *Front Microbiol.* 2018. 21:1377. doi: 10.3389/fmicb.2018.01377.

101 Статистика Лаэрда. Корреляция Пирсона по производным моментам. <https://statistics.laerd.com/statistical-guides/pearson-correlation-coefficient-statistical-guide.php>

102 Токтибаева Г.Ж., Ефимова А.Д., Гребенева О.В., Залыгин Ю.Л. Уровень загрязнения атмосферного воздуха в промышленных городах центрального Казахстана. *Медицина и экология.* 2020;(4):46-50.

103 Леликова О. Н. Перспективы использования отходов АО «АрселорМиттал Темиртау» в строительстве /О. Н. Леликова, О. Н. Онищенко, Г. Г. Жабалова //Вестн. науки и образования. - 2018. - Т. 1, No5(41). - С. 31-33.

104 Производство строительных материалов и утилизация промышленных отходов //Электронная библиотека «Библиотекарь.Ру». Режим доступа: <http://bibliotekar.ru/spravochnik-110-stroitelnye-materialy/3.htm/> (дата обращения: 05.04.2018)

105 А. А. Дарменбаева, А. С. Исабаев. Экологические проблемы г.темиртау за последние годы. XI Международная научно-практическая

конференция «Безопасность городской среды» 15–17 ноября 2023 года, г. Омск, Россия

106 Г. К. Оспанова, А. М. Тилеубаева. Экологическое состояние города темиртау. Экологические проблемы региона и пути их разрешения, 2020 г. Стр. 65-69.

107 Абдулин А. Караганда. Карагандинская область: Энциклопедия. Алма-Ата: Атамұра, 2008. 528 с

108 Jamie Kelly, Erika Uusivuori, Vera Tattari, Lauri Myllyvirta. Air quality impacts of ArcelorMittal's Temirtau steel plant in Kazakhstan — 1996 to 2023. 28 August 2024

109 Д. Е. Акишева, А.Әлжанқызы. Актуальные экологические проблемы города темиртау и пути их решения. Декада экологии материалы XI Международного конкурса, 2017. стр. 75-78.

110 Frel J., Leisinger K.M., Atkin J. Safe and effective use of pesticides. Summary of 7 years of research. Oikos.- 2002. - V.43.-pp.35-43

111 А. Б. Керимкулова, Б. Е. Шимшиков, А. Е. Оразбаев, А. Б. Достемесова. Теміртау қаласының топырақ жамылғысының жағдайын бағалау. География және геозэкология мәселелері, №4-2020. 31-35 б.

112 Y. Zhakypbek, K. Rysbekov, Bi Yinli, V Lozynskyi, Salmurzauly Ruslan, Yerkezhan Begimzhanova, Gulmira Kezembayeva, Yelikbayev Bakhytzhan, Assel Sankabayeva. Geospatial and Correlation Analysis of Heavy Metal Distribution on the Territory of Integrated Steel and Mining Company Qarmet JSC . Sustainability (Switzerland). 2025. DOI: 10.3390/su17157148

113 Ы. Жакыпбек, А. Айдарқызы, Е.Е. Бегимжанова, Г.Б. Кезембаева. Теміртау қаласының өнеркәсіптік ластануын қашықтықтан зондтау арқылы бағалау. Горный журнал Казахстана. – 2024. – №9. – Б. 66–70. – ISSN 1684-2822. <https://minmag.kz/ru/2024/10/02/%e2%84%969-2024/>

114 G. Kezembayeva, K. Rysbekov, Zh. Dyussenova, A. Zhumagulov, U. Sarsembin, M. Barmenshinova, Y. Begimzhanova, Y. Zhakypbek. Public health risk assessment of quantitative emission from a molybdenum production plant: case study of Kazakhstan. Engineered Science, 2025, 34, 1454 DOI: 10.30919/es1454

115 Ы. Жакыпбек, А. Айдарқызы, Е.Е. Бегимжанова, С.Н. Мустапаева. Қашықтықтан зондтау деректері негізінде теміртау қаласындағы қалдық үйінділерінің өзгеруін және қоршаған ортаның ластануын бағалау. Горный журнал Казахстана. – 2025. – №8. Б. 42-47. <https://minmag.kz/ru/2025/08/29/%e2%84%96-8-2025/>