

ФИЗИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР МЕН МЕХАНИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ МОДЕЛЬДЕУ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
MODELING OF PHYSICAL PROCESSES AND MECHANICAL SYSTEMS

МРНТИ 27.25.33

УДК 537.567; 537.84; 519.63; 532.5

<https://doi.org/10.51889/8297.2022.40.80.006>

Н.С. Заурбеков^{1*}, А.А. Айдосов¹, Н.Д. Заурбекова², Г.Н. Зәуірбекова³, Н.Ә. Регинбаева⁴

¹ Абай атындағы қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

² Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

³ ал-Фараби атындағы қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

⁴ Азаматтық авиация академиясы, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: agu_nurgali@mail.ru

АТМОСФЕРАДА ЗИЯНДЫ ҚОСПАЛАРДЫҢ ТАСЫМАЛДАНУ МОДЕЛЬДЕРІН
ЕСЕПТЕУ ЭКСПЕРИМЕНТІ

Аңдатпа

Атмосфераның беткі қабатында зиянды қоспаларды тасымалдаудың математикалық моделі көмегімен ауаның ластану жағдайын есептеулер жүргізілді. Бароклиндік атмосферада зиянды қоспаларды тасымалдау моделінің сандық схемалары жасалды. Осы зерттеулер көмегімен жер асты бетінің әсерін ескере отырып, атмосфераның жер үсті қабатында зиянды заттардың тасымалдануының сандық есептеулері жүргізілді. Инверсиялық жағдайларда зиянды қоспаларды тасымалдаудың геоэкологиялық карталары құрастырылды. Тұрақты атмосфералық жағдайда қоспалардың таралуы екі нұсқа үшін жүргізілді: бірінші жағдайда жер бетіндегі желдің жылдамдығы 2 м/с-қа, ал екіншісінде-4 м/с-қа тең деп таңдалды. Есептеу уақыты ұзындығы шамамен 40 км болатын кен орнының ауданын толық желдету кезеңіне сәйкес келді. Инверсиялар мен олардың тыныштықпен үйлесуі кезінде пайда болатын белгілі қауіпті метеожағдайлармен қатар, белгіленген метеожағдай да ең қауіпті екені анықталды.

Түйін сөздер: атмосфера ластануының математикалық моделі, қоспаның тасымалдануы, метеожағдайды модельдеу, атмосфераның беткі қабаты, зиянды заттардың тасымалдануының сандық әдістері, инверсия

Аннотация

Н.С. Заурбеков¹, А.А. Айдосов¹, Н.Д. Заурбекова², Г.Н. Зәуірбекова³, Н.Ә. Регинбаева⁴

¹ Казахский Национальный Педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан

² Казахский Национальный Женский Педагогический университет, г. Алматы, Казахстан

³ Казахский Национальный университет имени аль Фараби, г. Алматы, Казахстан

⁴ Академия Гражданской Авиации, г. Алматы, Казахстан

ЭКСПЕРИМЕНТ ПО РАСЧЕТУ МОДЕЛЕЙ ПЕРЕНОСА ВРЕДНЫХ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ

Вычисление состояния загрязнения атмосферы изготовлялся вместе с применением точной модели перенесения вредоносных примесей в верхних сферах атмосферы. Имеются схемы модели перенесения вредоносных примесей в бароклинной атмосфере. Вместе с помощью данных исследований были проведены численные расчеты переноса вредоносных элементов в верхнем оболочке атмосферы вместе с учетом влияния в плоскость Земли. Составлены геоэкологические карты распространения вредных примесей в инверсионных условиях. Распределение примесей в стабильных атмосферных условиях проводилось для двух вариантов: в первом случае скорость ветра на поверхности Земли выбиралась равной 2 м/с, а во втором-4 м/с. Время расчета соответствовало периоду полной вентиляции площади месторождения протяженностью около 40 км. Наряду с известными опасными метеоусловиями, возникающими при инверсиях и их тихом сочетании, установлено, что наиболее опасными являются и установленные метеоусловия.

Ключевые слова: математическая модель загрязнения атмосферы, перенос примеси, моделирование метеоусловий, поверхностный слой атмосферы, численные методы переноса вредных веществ, инверсия.

Abstract

**EXPERIMENT ON CALCULATION OF MODELS OF TRANSPORT
OF HARMFUL IMPURITIES IN THE ATMOSPHERE**

Zaurbekov N.S.¹, Aidosov A.A.¹, Zaurbekova N.D.², Zaurbekova G.N.³, Reginbayeva N.A.⁴

¹ Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

² Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

³ Al Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

⁴ Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan

The calculation of the state of atmospheric pollution was carried out using a mathematical model of the transfer of harmful impurities in the upper atmosphere. The schemes of the model of the transfer of harmful impurities in the baroclinic atmosphere have been developed. Together with the help of these studies, numerical calculations of the transfer of harmful elements in the upper shell of the atmosphere were carried out, taking into account the influence in the plane of the Earth. Geoecological maps of the spread of harmful impurities in inversion conditions have been compiled. The distribution of impurities in stable atmospheric conditions was carried out for two variants: in the first case, the wind speed on the Earth's surface was chosen equal to 2 m/s, and in the second-4 m/s. The calculation time corresponded to the period of full ventilation of the field area with a length of about 40 km. Along with the known dangerous weather conditions that occur during inversions and their quiet combination, it has been established that the most dangerous are the established weather conditions.

Keywords: mathematical model of atmospheric pollution, impurity transfer, modeling of weather conditions, upper atmosphere layer, numerical methods of harmful substances transfer, inversion.

Кіріспе

Атмосфералық физиканың негізгі міндеттерінің бірі - атмосфералық ластанудың табиғи ортаның жағдайына әсерін, атмосфера құрамының өзгергіштігін зерттеу. Атмосфераның беткі қабатындағы шығарындылардың таралу үрдістері мен заңдылықтарын, олардың кеңістіктік-уақыттық таралуын зерттеу және математикалық модельдеу атмосфералық ауаның ластану күйін және оның өзгеруін объективті бағалауға, болжауға негіз болып табылады. Өнеркәсіптік аудандар мен қалалардағы экологиялық жағдайдың күрт нашарлауына байланысты атмосфераның беткі қабаттарында шығарындылардың таралу үрдістерін модельдеуге арналған зерттеулер өз өзектілігін жоғалтпады.

Табиғи және техногендік апаттардың табиғи ортаға әсерін зерттеу мәселесі атмосфераның беткі қабатында лездік шығарындылардың таралу процестерін модельдеуде маңызды рөл атқарады. Өнеркәсіптік кәсіпорындар мен автомобильдердің жұмысы нәтижесінде көміртегі, азот және күкірт оксидтері, альдегидтер, бензапирен, қорғасын және т.б. газ тәрізді және конденсацияланған өнімдер қоршаған ортаға шығарылады. Сонымен қатар, фотохимиялық реакциялар кезінде беткі қабатта адам денсаулығына және өсімдіктер мен жануарлардың жағдайына қауіпті озон және басқа да токсиканттар түзіледі. Тіпті белгілі бір метеорологиялық жағдайларда ластаушы заттардың аз ғана шығарындылары елді мекендерде қолайсыз экологиялық жағдай туғызуы мүмкін. Табиғи ортаның жаппай ластануына әкелетін табиғи және техногендік апаттар одан да үлкен қауіп тудырады. Мысал ретінде Чернобыль атом электр станциясында болған апаттан, Оралдағы өндірістік әсерлерден, Хиросимада ядролық қару қолдану барысында пайда болған ірі өрттерден (отты дауыл), Таяу Шығыста мұнай ұңғымаларының жануынан, Америка Құрама Штаттарында (Лос-Аламоса төңірегі) пен Ресейдегі ірі орман өрттері әсерінен табиғи ортаның радиоактивті ластануын атап өтуге болады. Аталған мәселенің ауа ластануына әсерінің аумақты екенін үлкен жану ошақтарының атмосфераның жербеті қабатында жойқын ластануына соқтыратындығынан байқауға болады, ал ол, өз кезегінде, климаттық (қоршаған ортаның ластануы, аймақтардың түтінденуі ауа температурасының төмендеуіне әкеліп соқтырады, соның себебінен ауыл шаруашылығы дақылдарыны жойылады немесе кеш піседі) және экологиялық мәселелерді тудырады. Осыған байланысты жоғарыда аталған құбылыстарды эксперименттік зерттеу өте қымбатқа түсетіндіктен және белгілі бір жағдайларда абстрактілі әдістерді абсолютті зерттеуді жүзеге асыру мүмкін болмағандықтан, зерттеудің теориялық әдістері – математикалық модельдеу әдістері мәселені шешуге көмектеседі. Бұл жағдайда зерттеу объектісі құбылыстың өзі емес, оның математикалық моделі, мысалы, тиісті бастапқы және шекаралық жағдайлары бар дербес туындылы дифференциалдық тендеулер жүйесі бола алады.

Математикалық модельді 2 топқа бөлуге болады: детерминистік және стохастикалық (ықтималдық). Бұл жұмыста бірінші түрі ғана қарастырылады.

Математикалық модельге қойылатын негізгі талап-сандық талдау нәтижелерін эксперименттік зерттеу деректерімен біріктіру. Ол үшін келесі жеткілікті жағдайлар қажет:

- математикалық модельде массаның, энергияның және импульстің сақталуының негізгі заңдары орындалады;

- математикалық модель зерттелетін құбылыстың мәнін барабар сипаттайды.

Әрине, ешқандай құбылысты математикалық модель арқылы дәл сипаттау мүмкін емес, сондықтан модельдің қолдану шектерін атап өту өте маңызды, бұл жағдайда негізгі теңдеулер тұжырымдамасын тиісті бастапқы және шеткі критерийлермен бірге қолдануға болатын жағдайларды белгілеу өте маңызды, сондықтан модельдің қолданылу шегін көрсету, яғни тиісті бастапқы және шекаралық шарттары бар негізгі теңдеулер жүйесін алу кезінде қолданылатын болжамдарды анықтау өте маңызды.

Зерттеу әдіснамасы

Атмосфераның төменгі қабатындағы қоспалардың тасымалдануы мен диффузия процестерін модельдеу жайлы Ebrahimzadeh E. [1], Goulart A.G.O. [2], Марчук Г.И. [3], Беляев Н.Н. [4], Late, M. [5], Айдосов А. [6-8] және т.б. көптеген жетекші ғалымдардың жұмыстары арналған.

Аймақтық атмосфералық процестерді модельдеу шектелген аумақтағы метеорологиялық шамалардың өрістері макромасштабтық атмосфералық циркуляциялардың әсерінен түзілетінін ескере отырып жүзеге асырылады. Осы себепті шешімнің шектеулі саласы қандай да бір бүтіннің бөлігі ретінде қарастырылады, ал оның бүйірлік шектеріндегі стационарлық емес шекаралық шарттар шекаралас аймақ үшін алынған ақпарат негізінде тұжырымдалады. Сонымен қатар, шектеулі аумақ үшін атмосфераның жай-күйін болжау мәселелерін сандық шешу үрдісінде тәуелді функциялардың градиенттері қай жерде үлкен болса, мәселені шешудің қажетті дәлдігіне қол жеткізу үшін тордың жиілігін арттыру және тор ұяшықтарын кішірейту қажет болады.

Айнымалы ажыратымдылық торы бар модельді екі жолмен іске асыруға болады [9]. Біріншіден, тордың үздіксіз немесе сатылы өзгеретін тығыздығы бар деп есептей отырып, бір математикалық модельді және сандық әдісті («екі жақты әрекеттесу» алгоритмі) қолдануға болады. Бұл жағдайда айнымалы ажыратымдылықтағы тордың шекарасында әртүрлі толқындардың шағылысуының, өтуінің және түрленуінің жергілікті және ғаламдық әсерлеріне жататын тор қадамының өлшемін өзгертуге байланысты бірқатар мәселелер туындайды. Сонымен қатар, тордың тұрақты қадамы болған кезде айырмашылық тізбектерінің көпшілігі үлкен дәлдікке ие болады. Тор аралығының бірте-бірте өзгеруі кезінде де өту аймағындағы қателер тордың қалған бөліктеріндегі қателерден асып түседі.

Егер кеңістіктік тор қадамының өзгеруі біркелкі жүрсе, онда максималды уақыт қадамы тордың максималды қадамының сипаттамалық жылдамдықтың жергілікті максимумына қатынасына пропорционалды болады. Алайда, кірістірілген торлармен өткізілген тәжірибелер көрсеткендей, тұрақтылық шарттары орындалған кезде де тұрақты тізбекті тұрақсыз тізбекке айналдырудың әлі зерттелмеген жағдайлары жиі кездеседі.

Екінші әдісті қарастыра отырып, шектеулі аумақтағы метеорологиялық шамалардың өрістері атмосфераның жалпы айналымы шеңберінде қалыптасады деп есептей отырып, шектеулі аймақ үшін ауа райын болжау мәселесін әртүрлі толықтықтағы екі модельді біріктіру арқылы тұжырымдауға болады: 1) өрескел торда сандық түрде шешілетін, жеңілдетілген теңдеулерді қамтитын атмосфераның жалпы айналымының жаһандық моделі; 2) гидродинамика мен жылу тасымалдаудың, масса тасымалдаудың толық теңдеулерін қамтитын аймақтық модель, ұсақ торда сандық түрде шешіледі. Аймақтық модельге қажетті шекаралық шарттар теңдеулері аймақтық модель теңдеулерімен бір уақытта немесе алдын-ала біріктірілуі мүмкін жаһандық модель шешімімен анықталады. Кірістірілген торлардағы бұл болжау әдісі "бір жақты әсер ету" әдісі деп аталады, өйткені ішкі модельдің сандық нәтижелері сыртқы модель теңдеулерінің интеграциясына әсер етпейді.

Атмосфераға зиянды заттардың шығарындылар көлемін есептеу үшін ластау көзінен шығарылатын әрбір зат үшін келесі шарт тексеріледі:

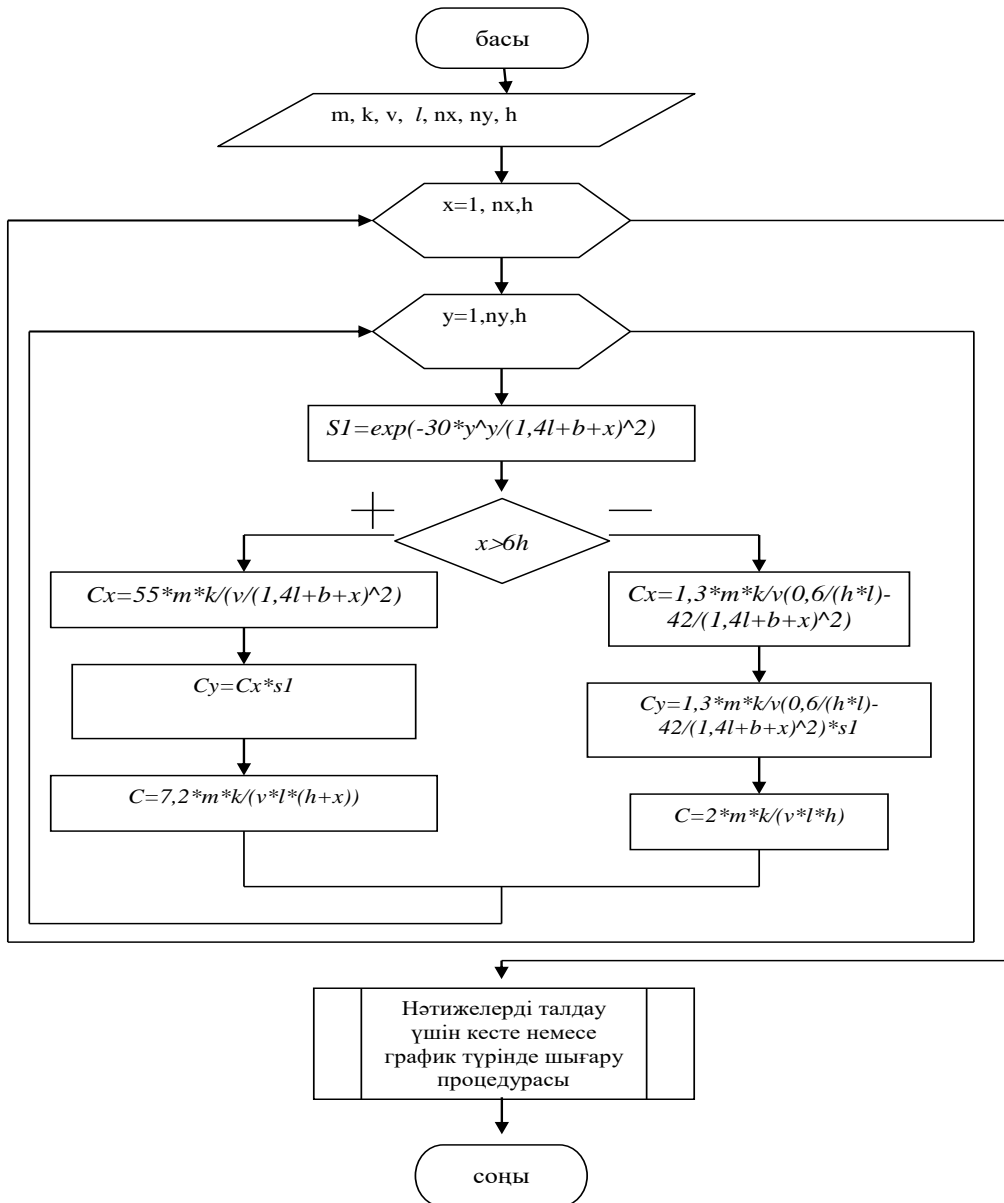
$$q_{\text{сумм}} = \frac{1}{K_{\text{сд}}} \sum_{j=1}^n (q_{\text{нр.}j} - q_{\text{ф.}j}) = \frac{1}{K_{\text{сд}}} \sum_{j=1}^p \frac{C_{\text{нр.}j} + C_{\text{ф.}j}}{\text{ПДК}_j} < 1 \quad , \quad (1)$$

Мұнда $C_{\text{нр.}j}$ - j-ші заттың жер бетіндегі концентрациясы;

$C_{\text{ф.}j}$ - j-ші заттың фондық концентрациясы;

$K_{\text{сд}}$ - заттар тобының бірлескен гигиеналық әсерінің үйлесімділік коэффициенті.

Атмосфералық айналымның блоктық математикалық моделінің сандық сызбалары және атмосфераның беткі қабатында зиянды қоспалардың таралуы және блоктар арасындағы өзара әрекеттесудің сипаттамасы алгоритмін іске асыру барысын блок-сызба түрінде көрсетейік (Сурет 1).



Сурет 1. Атмосфералық айналымның блоктық математикалық моделінің сандық сызбаларын және атмосфераның беткі қабатында зиянды қоспалардың таралуын жүзеге асыруға арналған блок-схема түріндегі алгоритм және блоктар арасындағы өзара әрекеттесудің сипаттамасы

Бұл жерде енгізілетін шамалар мен тұрақтылар: k – молекулалық жылулық диффузия коэффициенті; l – қабаттың қалыңдығы; m – ылғалдың конденсациялану (булану) жылдамдығы; v – қоспаның шөгуге жылдамдығы; n_x, n_y – x, y -тің сәйкесінше ақырғы мәндері; h – қадам. (1) және (2) шарттар орындалған жағдайда есептеу тоқтатылады.

Атмосфераға бірнеше зиянды заттардың бір мезгілде таралуымен және заттар тобының бірлескен «жиынтық» әрекетінің болуына байланысты зиянды заттардың гигиеналық әсері қалыптасқан кезде келесі қосымша талаптар енгізілді [9]:

$$q_{\text{сумм}j} = q_{\text{нр}j} - q_{\text{ф}j} = \frac{C_{\text{нр}j} + C_{\text{ф}j}}{\text{ПДК}_j} < 1, \quad (2)$$

Зерттеу нәтижелері. Инверсия жағдайында зиянды қоспаларды тасымалдаудың геоэкологиялық карталары.

Тұрақты атмосфералық жағдайда қоспалардың таралуы екі нұсқа үшін жүргізілді: бірінші жағдайда жер бетіндегі желдің жылдамдығы 2 м/с-қа тең (сурет 2-6), ал екіншісінде-4 м/с-қа тең деп таңдалды (сурет 7-9). Есептеу үшін бастапқы деректер 1-кестеде келтірілген.

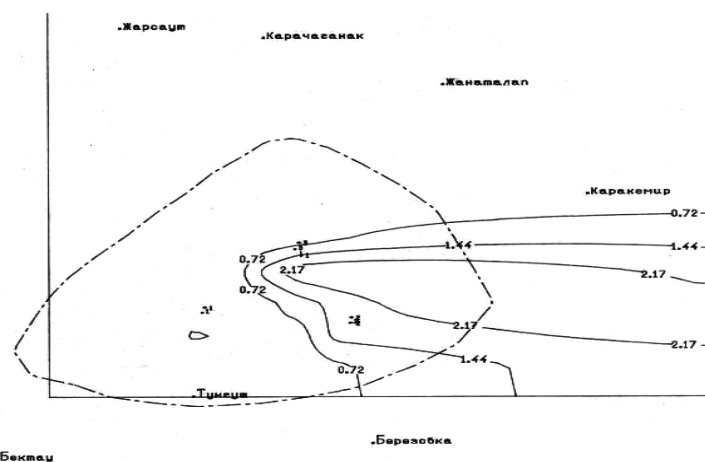
Кесте 1 - Реактивті ағын есептеулерінің бастапқы деректері мен белгілері

Ұңғыма кесіндісіндегі газдың құрамы	T_c – Ұңғыма кесіндісіндегі газдың температурасы
Ауа	293,0°K
Ауа	700,0°K
Ауа	1000,0°K
Ауа	1300,0°K
C _{CO}	1300,0°K
C _{SO2}	1300,0°K
C _{H2S}	1300,0°K
C _{CO2}	1300,0°K
C _{NO2}	1300,0°K

Барлық есептеу нұсқаларында ұңғымадан ағып жатқан газдардың жылдамдығы $V_c=1060$ м/с деп қабылданды. Есептеу уақыты ұзындығы шамамен 40 км болатын кен орнының ауданын толық желдету кезеңіне сәйкес келді.

Мұндағы: С – шығатын газ компоненттерінің молярлық концентрациясы; CO - көміртек тотығы; SO₂ – күкірт диоксиді; H₂S – күкіртсутек; CO₂ – көмір қышқыл газы, NO₂ – азот диоксиді.

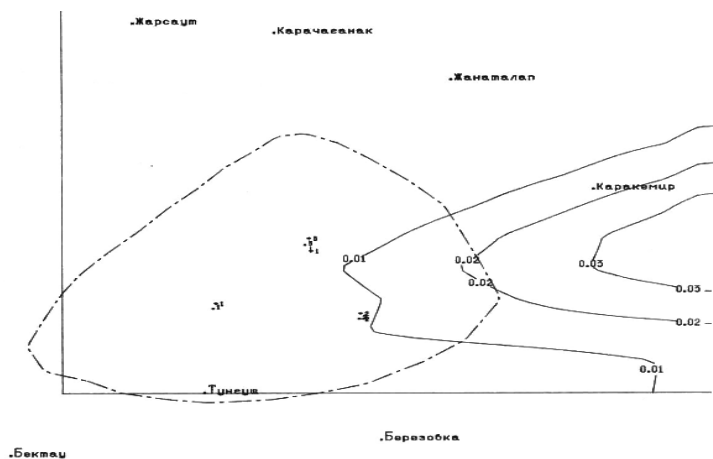
Атмосфераның параметрлері: құрамы – ауа; температура – $T=293,00$ К; атмосфералық қысым – $P_0=105$ Па; газдың бастапқы жылдамдығы $V_0=0$ м/сек.



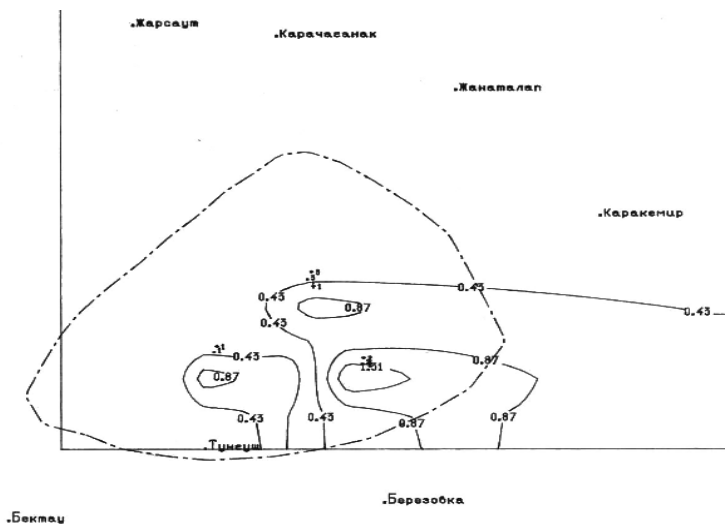
Сурет 2. 10 м биіктіктегі ШРК (шекте рұқсат етілген концентрация) үлестеріндегі CO₂ шоғырлануының изосызығы. Max CO₂ = 2,89

Желдің жылдамдығының артуы осы аймақта ластанудың қарқынды азаюын, яғни зиянды заттардың аймақтан тыс жерлерге шығарылуын қамтамасыз етеді. Шығарындылардың тиімді биіктігі УКСП-16 (тұрақты компрессорлық станция қондырғысы) агрегаттары үшін ең жоғары (70-100 м), ал басқа ластану көздері үшін жер бетіндегі қабаттың жоғарғы шекарасына жақын (10-20 м). Ең қуатты көздердің тиімді биіктігі айтарлықтай үлкен болғандықтан, инверсиялық жағдайларға байланысты жер қабатындағы қоспалардың максималды жоғалуы көздерден едәуір қашықтықта байқалады (сурет 9).

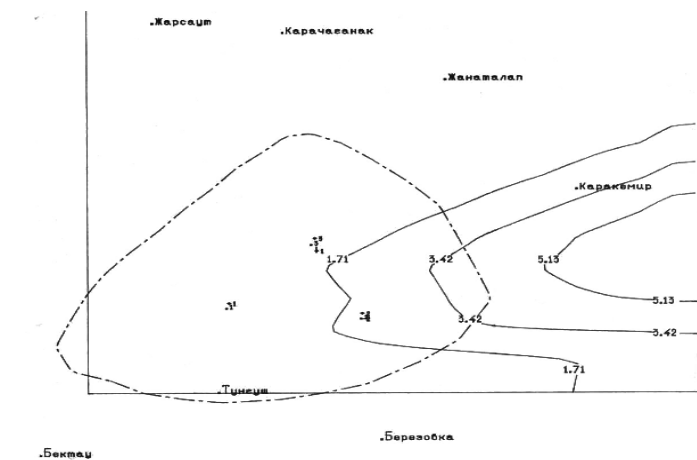
2-9 суреттер бір аймақты – Қарашығанак мұнай-газ конденсатын өндіру аймағын қамтиды. Мұндағы елді мекендер: Жарсуат, Қарашығанак, Жанаталап, Қаракемір, Тұңғыш, Бектау, Березовка.



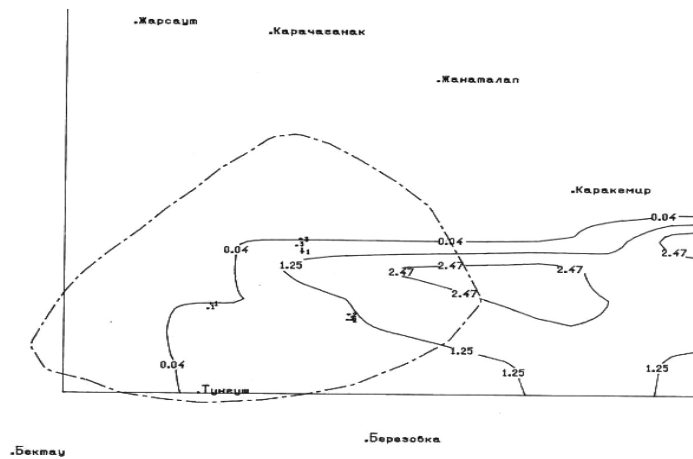
Сурет 3. 70 м биіктіктегі ШРК (шекті рұқсат етілген концентрация) үлестеріндегі CO₂ шоғырлануының изосызығы. Max CO₂ = 0,03



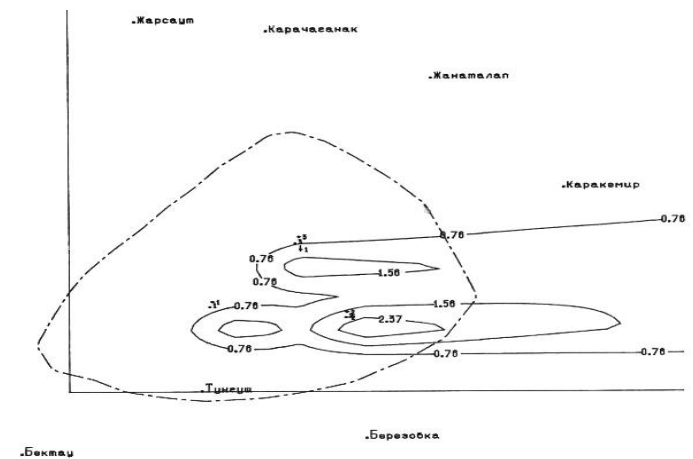
Сурет 4. 10 м биіктіктегі ШРК (шекті рұқсат етілген концентрация) үлестеріндегі NO₂ шоғырлануының изосызығы. Max NO₂ = 1,75



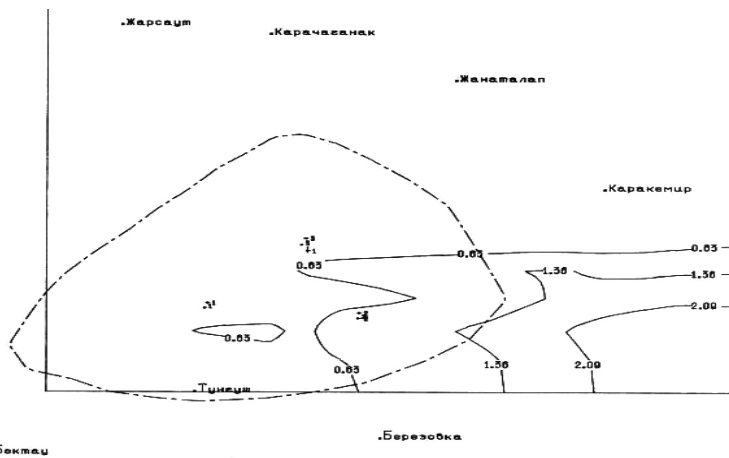
Сурет 5. 70 м биіктіктегі ШРК (шекті рұқсат етілген концентрация) үлестеріндегі NO₂ шоғырлануының изосызығы. Max NO₂ = 6,85



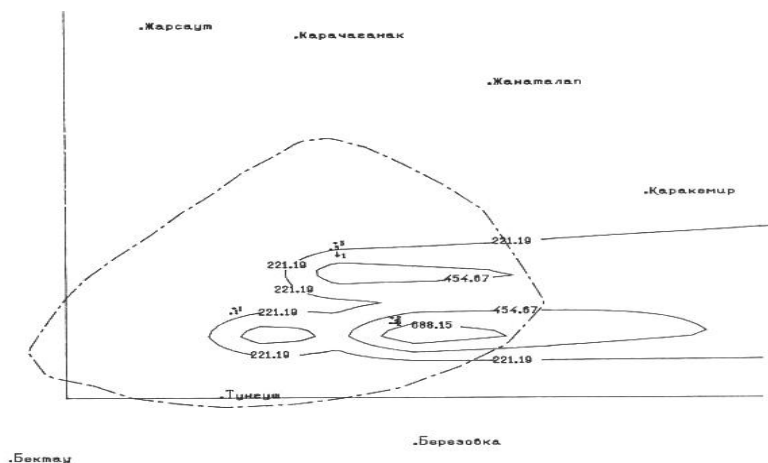
Сурет 6. 10 м биіктіктегі ШРК (шекте рұқсат етілген концентрация) үлестеріндегі CO_2 шоғырлануының изосызығы. $Max CO_2 = 3,69$



Сурет 7. 70 м биіктіктегі ШРК (шекте рұқсат етілген концентрация) үлестеріндегі CO_2 шоғырлануының изосызығы. $Max CO_2 = 3,17$



Сурет 8. 10 м биіктіктегі ШРК (шекте рұқсат етілген концентрация) үлестеріндегі NO_2 шоғырлануының изосызығы. $Max NO_2 = 0,03$



Сурет 9. 70 м биіктіктегі ШРК (шекті рұқсат етілген концентрация) үлестеріндегі NO_2 шоғырлануының изосызығы. $Max NO_2 = 921,63$

2, 4, 6, 8 суреттерде 10 м биіктіктегі шекті рұқсат етілген концентрация үлестеріндегі зиянды элементтердің шоғырлануының изосызығы, ал 3,5,7,9 суреттерде тиісінше осы жағдайдағы 70 м биіктіктегі жағдай бейнеленген. 2,3,6,7 суреттерде көмір қышқыл газының (CO_2), ал 4,5,8,9 суреттерде азот диоксидінің (NO_2) әр түрлі биіктіктегі шоғырлануы бейнеленген. Әр суретте қарастырылып отырған жағдайда зиянды элементтің ең үлкен (максимальды) мәні көрсетілген.

Суреттерден байқап отырғанымыздай, ауаның ластануының ең үлкен көлемі жел бағытына сәйкес шығу көзінен біршама алыстау аймақта орналасқан. Әрине, 10м биіктіктегі зиянды қоспалардың шоғырлануы 70м биіктіктегі жағдайдан бірнеше дәрежеге жоғары екені байқалады. Барлық жағдайда да шекті рұқсат етілген концентрация көлемінің елеулі ауытқуы байқалады. Әсіресе, 9 суретте азот диоксидінің рұқсат етілген шегінен ауытқуы ерекше үлкен көлемде, бірнеше жүзге асып отыр. Яғни аталған жағдайда экологиялық апат туындайтыны және көптеген экологиялық іс-шаралар атқару керектігі айтпаса да түсінікті.

Нәтижелерді талқылау

Қоспалардың таралуы жел бағытына сәйкес жүреді, сонымен қатар конвективті жағдайларда бұл бағыттың биіктігі бойынша өзгеруі байқалады (Экман моделіне сәйкес солға бұрылу) [10]. Сондай-ақ, шығарындылардың тиімді биіктігіне жақын биіктікте қоспамен неғұрлым қарқынды ластануы болатынын атап өтеміз. Мысалы, 9-суреттегі шекті рұқсат етілген концентрацияның (ШРК) асып кетуі бірнеше жүзге тең. Бұл инверсия жағдайында көтерілетін ауа ағындарының болмауымен және ластану көздерінің жанында шығарындылардың оқшаулануынан туындайтын тік турбуленттіліктің нашар көрінуімен байланысты. Аталған құбылыс ластану көздеріне жақын шығарындылардың оқшаулануынан туындайды.

Бұл өз кезегінде түтін алауының осінің биіктігін жер бетіне жақындатады. Осылайша, инверсиялар мен олардың тыныштықпен үйлесуі кезінде пайда болатын белгілі қауіпті метеожағдайлармен қатар, 9-суретте қарастырылған метеожағдай да ең қауіпті деп қорытынды жасауға болады.

Қорытынды

Осыған дейін құрастырылған атмосфераның беткі қабатында зиянды қоспаларды тасымалдаудың математикалық моделі көмегімен ауаның ластану жағдайын есептеулер жүргізілді. Атмосфераның беткі қабатында зиянды қоспаларды тасымалдаудың блоктық моделінің теңдеулері табылды және блоктар арасындағы өзара әрекеттесу сипатталды. Бароклиндік атмосферада зиянды қоспаларды тасымалдаудың блоктық моделінің сандық схемалары жасалды. Осы зерттеулер көмегімен:

1. Жер асты бетінің әсерін ескере отырып, атмосфераның жер үсті қабатында зиянды заттардың тасымалдануының сандық есептеулері жүргізілді.
2. Инверсиялық жағдайларда зиянды қоспаларды тасымалдаудың геоэкологиялық карталары құрастырылды.
3. Инверсиялар мен олардың тыныштықпен үйлесуі кезінде пайда болатын белгілі қауіпті метеожағдайлармен қатар, 9-суретте қарастырылған метеожағдай да ең қауіпті екендігі анықталды.

Пайдаланылган әдебиеттер тізімі:

- 1 Ebrahimzadeh, E., and A. Shahsavand. (2014) *Energy sources simulation of environmental pollution due to SO₂ dispersion. Energy Sources, Part A* 36: 2095–2105.
- 2 Goulart, A. G. O., M. J. Lazo, J. M. S. Suarez, and D. M. Moreira. (2017) *Fractional derivative models for atmospheric dispersion of pollutants. Physica A* 477: 9–19.
- 3 Марчук, Г. И. *Методы вычислительной математики. 4-е изд. / Санкт-Петербург : Лань, 2009. — 608 с.*
- 4 Беляев Н. Н. *Математическое моделирование в задачах экологической безопасности и мониторинга чрезвычайных ситуаций: монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, П. Б. Машихина. – Днепропетровск: Акцент ПП, 2013. – 159 с.*
- 5 Late, M., R. Meroney, M. Yataghene, H. Fellouah, F. Saleh, and M. Boufadel. (2016) *On the use of numerical modelling for near-field pollutant dispersion in urban environments – A review. Environmental Pollution* 208 (A):271–283.
- 6 Aydosov, A., Aidosov G., Zaurbekov, N., e.a. (2019) *Mathematical Modelling of Atmospheric Pollution in an Industrial Region with a View to Design an Information System Software for Ecological Situation - Ekoloji, Issue 107: 349-358*
- 7 Aydosov, A., Urmashev, B., Zaurbekova, G. (2016) *Modeling the spread of harmful substances in the atmosphere at a variable velocity profile - Open Engineering, 6(1): 264–269*
- 8 Aidosov, A., Aidosov, G., Zaurbekov, N., e.a. (2019) *Informational and Matematical Modeling of the Impact of Emissions into the Atmosphere on Public Health //Ad Alta – Journal of Interdisciplinary Research - vol. 9, issue 1: 74-79*
- 9 Zaurbekov N., Aidosov A., Zaurbekova N., e.a. (2018) *Emission spread from mass and energy exchange in the atmospheric surface layer: Two-dimensional simulation - Energy Sources Part A: Recovery Utilization and Environmental Effects. - volume 40, issue 23: 2832-2841*
- 10 Айдо́сов А., Айдо́сов Г.А., Заурбе́ков Н.С. *Модельная оценка экологической обстановки компонентов природной среды с учетом атмосферных процессов. Монография / Москва: Издательский дом Академии Естествознания, 2018.– 342 с.*

References:

- 1 Ebrahimzadeh, E., and A. Shahsavand. (2014) *Energy sources simulation of environmental pollution due to SO₂ dispersion. Energy Sources, Part A* 36: 2095–2105.
- 2 Goulart, A. G. O., M. J. Lazo, J. M. S. Suarez, and D. M. Moreira. (2017) *Fractional derivative models for atmospheric dispersion of pollutants. Physica A* 477: 9–19.
- 3 Marchuk, G. I. (2009) *Metody vychislitel'noj matematiki. 4-e izd. / Sankt-Peterburg, Lan',. — 608 s. (In Russian)*
- 4 Beljaev N. N. (2013) *Matematicheskoe modelirovanie v zadachah jekologicheskoy bezopasnosti i monitoringa chrezvychajnyh situacij: monografija / N. N. Beljaev, E. Ju. Gun'ko, P. B. Mashihina. – Dnepropetrovsk: Akcent PP – 159 s. (In Russian)*
- 5 Late, M., R. Meroney, M. Yataghene, H. Fellouah, F. Saleh, and M. Boufadel. (2016) *On the use of numerical modelling for near-field pollutant dispersion in urban environments – A review. Environmental Pollution* 208 (A):271–283.
- 6 Aydosov, A., Aidosov G., Zaurbekov, N., e.a. (2019) *Mathematical Modelling of Atmospheric Pollution in an Industrial Region with a View to Design an Information System Software for Ecological Situation - Ekoloji, Issue 107: 349-358*
- 7 Aydosov, A., Urmashev, B., Zaurbekova, G. (2016) *Modeling the spread of harmful substances in the atmosphere at a variable velocity profile - Open Engineering, 6(1): 264–269*
- 8 Aidosov, A., Aidosov, G., Zaurbekov, N., e.a. (2019) *Informational and Matematical Modeling of the Impact of Emissions into the Atmosphere on Public Health //Ad Alta – Journal of Interdisciplinary Research - vol. 9, issue 1: 74-79*
- 9 Zaurbekov N., Aidosov A., Zaurbekova N., e.a. (2018) *Emission spread from mass and energy exchange in the atmospheric surface layer: Two-dimensional simulation - Energy Sources Part A: Recovery Utilization and Environmental Effects - volume 40, issue 23: 2832-2841*
- 10 Ajdosov A., Ajdosov G.A., Zaurbekov N.S. (2018) *Model'naja ocenka jekologicheskoy obstanovki komponentov prirodnoj sredy s uchetom atmosfernih processov. Monografija / Moskva: Izdatel'skij dom Akademii Estestvoznaniya – 342 s. (In Russian)*