

ЭКОЛОГИЯ ЖӘНЕ ӨМІР-ТІРШІЛІК ҚАУІПСІЗДІГІ  
ECOLOGY AND LIFE SAFETY  
ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

УДК 662.75

DOI 10.52167/1609-1817-2023-127-4-506-513

Ө. Тойлбай, А.Қ. Молдабеков, Қ.М. Жанділдинова,  
А.А. Рысбекова Г.Н. Сейфула

Азаматтық авиация академиясы, Алматы, Қазақстан

E-mail: o.toilybai@agakaz.kz

КЕРОСИННІҢ ЖАНУ НӘТИЖЕСІНДЕ ҰШАҚ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРЫНАН  
ШЫҒАТЫН АЗОТ ДИОКСИДІНІҢ ШӨГУ ПРОЦЕССИ АТМОСФЕРАНЫҢ  
ЖОҒАРҒЫ ДЕҢГЕЙІНЕ ӘСЕРІ

**Аңдатпа.** Қоршаған ортаның ластануы ғаламдық экологиялық мәселелердің бірі болып саналады. Экологиялық мәселелердің ең негізгісі атмосфераның ластануы болып келеді. Атмосфераның ластануына ауада  $\text{CO}_2$  мен  $\text{NO}_2$  көп мөлшерде болып келуі. Олардың мөлшері тек өндірістердерден немесе күнделікті үй шаруашылығы қалдықтарынан ластануда, сонымен қатар атмосфераның жоғарғы деңгейіне ұшақ шағындарыда жоғарғы деңгейде ластауда. Авиациялық қозғалтқыш жұмысы кезінде жану өнімдері түзілетіні белгілі. Оның кейбір түрі атмосфера құрамында бар заттар. Бұл жағдайда қозғалтқыш жұмысы олардың концентрациясының өсуіне алып келеді. Ал кейбір жану өнімдері қалыпты жағдайда атмосфера құрамына енбейді. Соның бірі азот диоксиді. Бұл мақалада азот қозғалтқыштан шыққан диоксидінің шөгу процесі қарастырылады, сонымен қатар атмосфераның жоғарғы деңгейіне радиациялық күштеу көмегімен ұшақтардың тропосфераға әсер етуінің алғашқы кешенді түрі сарапталынды.

**Түйінді сөздер.** Азот диоксиді, концентрация, авиациялық қозғалтқыш, радиациялық күш.

**Кіріспе.**

Авиацияның климатқа әсеріне деген қызығушылық бірнеше ондаған жылдардан басталады. Мысалы, 1960-шы жылдардың соңы мен 1970-ші жылдардың басына дейін кері әсер етудің ықтимал әсері туралы әдебиеттерді іздеуге болады [1]. Дегенмен, 1970 жылдардың басында авиацияның жаһандық әсеріне қатысты бастапқы алаңдаушылық азаматтық дыбыстан жоғары ұшақтардың [2] ұсынылған флотындағы стратосфералық озонның ( $\text{O}_3$ ) әлеуетті сарқылуымен байланысты болды, бұл жағдайда Конкорд пен ТУ-144 әуе кемелерімен шектелді. 1980-жылдардың соңы мен 1990-жылдардың басында азот оксиді шығарындыларының ( $\text{NO}_x$   $\frac{1}{4}$   $\text{NO} \pm \text{NO}_2$ ) тропосфералық  $\text{O}_3$  (парниктік газ) түзілуіне және аз дәрежеде қазіргі дыбыстан тыс флоттан кері әсеріне қатысты зерттеулер басталды. Еуроодақтың AERONOX және АҚШ SASS жобалары [3] және басқа да әртүрлі зерттеу бағдарламалары климатқа әсер етуі мүмкін  $\text{CO}_2$ -ден басқа бөлшектердің эмиссиясы және қарсы жолдардың және басқа авиациялық бұлттылықтың әсерін авиацияның бірқатар шығарындылары мен әсерлерін анықтады.

**Материалдар мен тәсілдер.**

1999 жылы, авиацияның атмосфераға әсерін еуропалық бағалаудан кейін бір жыл өткен соң [4], Климаттың өзгеруі жөніндегі үкіметаралық пленумында «Авиация және жаһандық атмосфера» [5] маңызды есебін жариялады, Ол климаттық метриканың «радиациялық күштеу» көмегімен авиацияның климатқа әсер етуінің алғашқы кешенді бағасын ұсынды [6]. Радиациялық күш (РК) 1750 жылдан бері жер-атмосфералық энергия бюджетінің (Климаттың өзгеруі жөніндегі үкіметаралық пленумының пайдалану

конвенциясына сәйкес) атмосферадағы микрогаздар мен бөлшектердің өзгеруінен және альбедоның өзгеруі сияқты басқа әсерлерден туындайтын бұзылу өлшемі болып табылады және бірлікпен өлшенеді. атмосфераның жоғарғы жағындағы бір шаршы метрге ватт ( $Вт^2$ ). Авиацияның РК компоненттері келесі процестерден туындайды:

$CO_2$  эмиссиясы, (оң РК);

$NO_x$  эмиссиясы (оң РК).

Бұл термин үш құрамдас мүшелердің қосындысы болып табылады:

тропосфералық  $O_3$  өндіру (оң РК);

қоршаған ортадағы метанның ( $CH_4$ ) ұзақ мерзімді төмендеуі (теріс РК) және  $O_3$ -тің одан әрі ұзақ мерзімді азаюы (теріс РК);

$H_2O$  шығарындылары (оң РК);

тұрақты сызықтық тіректердің қалыптасуы (оң РК);

авиациялық бұлттылық (ықтимал оң РК);

сульфат бөлшектерінің шығарылуы (теріс РК); және,

күйе бөлшектерінің шығарылуы (оң РК).

Авиациялық  $NO_x$  шығарындыларының  $O_3$ ,  $CH_4$ , көміртек тотығы ( $CO$ ) және реактивті сутегінің ( $HO_x$ ) атмосфералық молшылықтарына фотохимиялық әсері жақсы дәлелденген (7). Бұрынғы зерттеулер  $O_3$  қысқа мерзімді ұлғаюын және  $CH_4$  өмір сүру ұзақтығы мен көптігінің ұзағырақ қысқаруын бағалады, бұл сәйкесінше оң және теріс РК береді. Ли және т.б. зерттеулері [8] екі компонентті біріктіру, Sausen және т.б. зерттеулері [9] кеңейту және жаңарту арқылы «таза  $NO_x$ » әсері тұжырымдамасын енгізді. Кейінгі зерттеулер  $CH_4$  азаюынан туындайтын  $O_3$  және стратосфералық су буының ( $SWV$ ) ұзақ мерзімді төмендеуін қамту үшін  $NO_x$  әсерін талдауды кеңейтті. Екі әсер де теріс РК береді (Holmes және т.б., 2011; Mynre және т.б., 2011). Осы зерттеуде ең жақсы  $NO_x$  мәжбүрлеуін қамтамасыз ету үшін 20  $NO_x$  зерттеуінен тұратын ансамбль бағаланады.

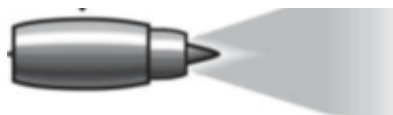
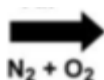
### Нәтижелер.

Ауада таралған азот диоксиді молекулаларының шөгу жылдамдығын анықтау үшін, оның ауа молекулаларымен соқтығысу динамикасын зерттеген дұрыс. Броундық қозғалы кезінде газ ауа құрамындағы барлық бөлшектер әр үрлі бағытта қозғалыста болатыны белгілі. Қозғалыс нәтижесінде молекулалар өзара соқтығысады да, қозғалыс бағытын өзгертіп отырады. Бір молекуланың белгілі бір бағытта қозғалу ықтималдығы басқа бағыттарда қозғалу ықтималдығына тең. Яғни, егер газдың шартты бір көлемін ойша бөліп алып барлық молекулалардың бағыттарын векторлық қосса, вектор 0-ге тең болар еді. Бірақ азот диоксиді ауаның молекулаларының орта салмағынан сәл ауыр болғандықтан, оның молекулаларының орын ауыстыруларының қосындысы төмен бағытталған векторды беру керек. Осы төмен бағытталған орташа орын ауыстырудың уақытқа қатынасы орташа шөгу жылдамдығы болып табылады.

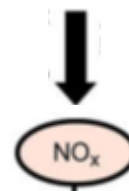
Авиациялық жұмыстардың негізгі шығарындыларын және радиациялық мәжбүрлеу компоненттерінің өзгеруіне әкелетін атмосфералық процестерді көрсететін кесте:

### Ұшақтардың шағындары және климаттың өзгеруі

Қозғалтқыш отынын жану



Тікелей шығарындылар





Радиациялық күштердің өзгерістері, мысалы, температура мен теңіз деңгейімен өлшенетін климаттың өзгеруіне әкеледі. Климаттың өзгеруі адамның іс-әрекеті мен экожүйелеріне әсер етеді және қоғамға зиян келтіруі мүмкін [10].

Азот диоксиді мен ауаның басқа молекулаларының өзара соқтығысу динамикасына есептеу үшін, олардың массаларын біліп алған дұрыс. Ол үшін ауа құрамындағы молекулалардың салыстырмалы массасын анықтаймыз:

$$M_r(N_2) = 28, \quad (1)$$

$$M_r(O_2) = 32, \quad (2)$$

$$M_r(CO_2) = 44. \quad (3)$$

Аталған газдардың ауадағы пайыздық үлесін ескеретін болсақ ауаның молекуласының орташа салыстырмалық массасы

$$M_r = 29 \quad (4)$$

болады екен. Ал азот диоксидінің массасы:

$$M_r(NO_2) = 46. \quad (5)$$

Броундық қозғалыстың тағы бір маңызда параметрі – молекулалардың орташа жылдамдығы:

$$v_A = \sqrt{\frac{8kT}{m\pi}} = 270\sqrt{T}. \quad (6)$$

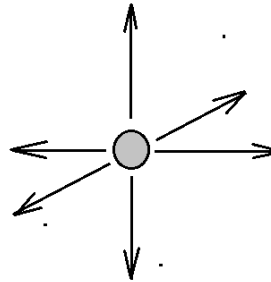
Ауа молекулаларының екі соқтығыс арасында өтетін уақыт интервалы:

$$t = \frac{\lambda}{v_A} = \frac{\lambda}{270\sqrt{T}} \quad (7)$$

өрнегімен анықталады. Азот диоксидінің массасы ауа молекуласынан көбірек болғандықтан оның жылдамдығы азырақ –

$$v_{NO_2} = 214\sqrt{T}. \quad (8)$$

Азот диоксиді молекуласы ауада кез келген бағытта қозғалуы мүмкін, бірақ біз есепті жеңілдету үшін оны алты түрлі бағыттың біреуімен ғана қозғалады деп есептейміз.



1 сурет - Молекуланың қозғалыс бағыттары

Алдымен төрт горизонталь бағытпен қозғалыс динамикасын қарастыралық. Жоғарыда анықталған жылдамдықпен қозғала отырып, келесі соқтығысқа дейін азот диоксиді молекуласы гравитация әсерінің төмен бағытталған вертикаль жылдамдыққа ие болады

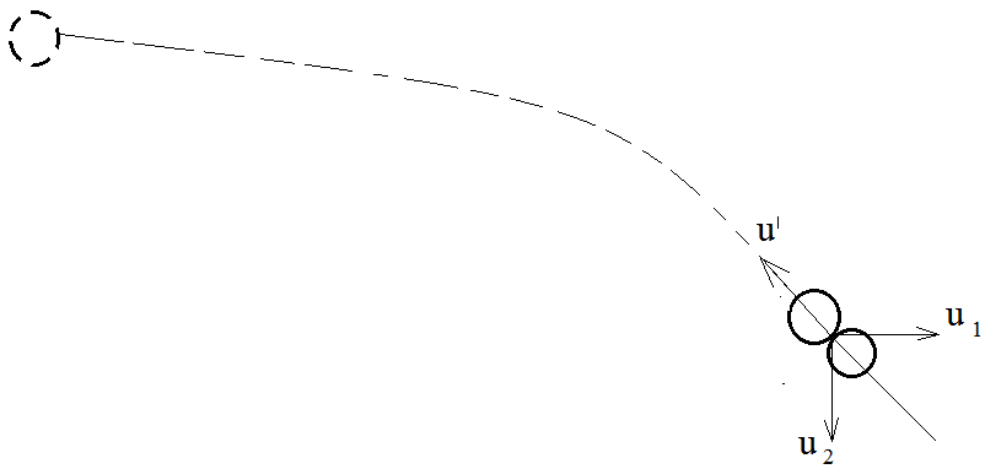
$$v_2 = gt = \frac{\lambda g}{270\sqrt{T}}. \quad (9)$$

Ал горизонталь жылдамдық өзгермейді

$$v_1 = 214\sqrt{T}. \quad (10)$$

Басқа молекуламен соғылғаннан кейін қарастырып отырған молекула келесі жылдамдыққа ие болады.

$$v' = 83\sqrt{T}. \quad (11)$$



2 сурет - Броунды қозғалыс кезіндегі соқтығыс

Ие болған жылдамдықтың вертикаль және горизонталь құрауыштары бар. Жылдамдықтың бағыты соқтығысу алдындағы молекуланың бағытына қарама қарсы

бағытталған болғандықтан, вертикаль құрауыштың шамасын  $v_1$  және  $v_2$  жылдамдықтарының векторлық қосындысының  $v_2$  - ге қатынасы арқылы тауып алуға болады.

$$\frac{83\sqrt{T}}{v_y} = \frac{270\sqrt{T}\sqrt{45796T+0.00132\frac{\lambda^2}{T}}}{\lambda g} \quad (12)$$

бұдан:

$$v_y = \frac{83\lambda g\sqrt{T}}{270\sqrt{T}\sqrt{45796T+0.00132\frac{\lambda^2}{T}}} = \frac{3\lambda}{\sqrt{45796T+0.00132\frac{\lambda^2}{T}}}. \quad (13)$$

Біз атмосфераны 0-15 км аралығын қарастырып отырғандықтан, орташа температураны

$$T \approx 258K \quad (14)$$

деп аламыз. Бұл жағдайда:

$$v_y = 8.74 \times 10^{-4}\lambda. \quad (15)$$

Нәтижесінде орташа вертикаль жылдамдық екі соқтығыстан кейінгі азот диоксиді молекуласының вертикаль орын ауыстыруы арқылы анықталады.

$$v_{op} = \frac{-\frac{gt^2}{2} + v_y t - \frac{gt^2}{2}}{2t} = \frac{v_y - gt}{2}, \quad (16)$$

мұндағы:

$$t = \frac{\lambda}{v_A} = \frac{\lambda}{270\sqrt{T}}, \quad (17)$$

екенін ескерсек:

$$v_{op} = \frac{v_y - g\frac{\lambda}{270\sqrt{T}}}{2} \approx -0.00227\lambda. \quad (18)$$

Ал вертикаль қозғалыс кезінде соқтығысу динамикасын есептеу

$$v_{op} = \frac{-\frac{gt^2}{2} + v_y t - \frac{gt^2}{2}}{2t} = \frac{v_y - gt}{2} \quad (19)$$

өрнегіне ұқсас, бірақ жылдамдықтың горизонталь құрауышы болмағандықтан, жылдамдық толығымен вертикаль құрауыштан тұрады. Егер соғылуға дейін азот диоксиді молекуласы жоғары қозғалған болса орташа орын ауыстыру келесі мәнге ие:

$$v \uparrow_{op} = \frac{(214t\sqrt{T} - \frac{gt^2}{2}) - (83\sqrt{T} + \frac{gt^2}{2})}{2t} = 1048 - 1.56 \times 10^{-4}\lambda. \quad (20)$$

Ал егер төмен қозғалған болса –

$$v \downarrow_{op} = \frac{-(214t\sqrt{T} + \frac{gt^2}{2}) + (83\sqrt{T} - \frac{gt^2}{2})}{2t} = -1048 - 1.56 \times 10^{-4}\lambda. \quad (21)$$

Орташа мән екі шаманың арифметикалық ортасына тең:

$$v_{op} = \frac{-1048 - 1.56 \times 10^{-4}\lambda + 1048 - 1.56 \times 10^{-4}\lambda}{2} = -1.56 \times 10^{-4}\lambda. \quad (22)$$

Бастапқы мүмкін бағыттардың төртеуі горизонталь ал екеуі вертикаль болғандықтан, орташа жылдамдық келесідей анықталады.

$$v_{\text{ш}} = \frac{2(-0.00227\lambda) + 4(-1.56 \times 10^{-4}\lambda)}{6} = -8.6 \times 10^{-4}\lambda. \quad (23)$$

Бұл азот диоксидінің шөгу жылдамдығы. Мұндағы  $\lambda$  – ауадағы молекулалардың еркін жүру қашықтығы.

#### Талқылау.

Есептеулер нәтижесінде азот диоксидінің ауадағы шөгу жылдамдығы алынды.

$$-8.6 \times 10^{-4}\lambda. \quad (24)$$

0-13 км аралығында  $6,63 \times 10^{-8} < \lambda < 2,2273 \times 10^{-7}$  м, екенін ескерсек, шөгу жылдамдығының нөлге жуық екенін байқаймыз. Бұл ұшақ қозғалтқыштарының жұмысынан түзілген азот диоксиді атмосферада мәңгі қалады дегенді білдіреді.

#### Қорытынды.

Мақаланы қорытындылай, өткізілген қоршаған ортаның атмосфералық қабатының жоғарғы деңгейінде азот диоксидінің жиналатынын қарастырылған. Алынған нәтиже көңіл толтыратындай деңгейде емес екенін көруге болады, яғни ұшақ шағындылары көптеген уақыттар бойын атмосфераның жоғары деңгейінде жиналып келеді. Олардың бір күндегі мөлшері аз болғанмен, соңғы жарты ғасырда көп мөлшерге жеткенін көреміз, бұл дегеніміз атмосфераның жоғары деңгейін  $\text{CO}_2$  мен ғана емес, сонымен қатар азот диоксидіменде ластанғанын анықтауға болады.

#### ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Reinking, R.F., 1968. Insolation reduction by contrails. *Weather* 23, 171–173.
- [2] Kuhn, P.M., 1970. Airborne observations of contrail effects on the thermal radiation budget. *J. Atmos. Sci.* 27, 937–942.
- [3] Schumann, U., 1997. The impact of nitrogen oxides emissions from aircraft upon the atmosphere at flight altitudes 8–15 km: results from the AERONOX Project. *Atmos. Environ.* 31, 1723–1733.
- [4] Brasseur, G.P., Cox, R.A., Hauglustaine, D., Isaksen, I., Lelieveld, J., Lister, D.H., Sausen, R., Schumann, U., Wahner, A., Wiesen, P., 1998. European assessment of the atmospheric effects of aircraft emissions. *Atmos. Environ.* 32, 2329–2418.
- [5] IPCC, 1999. Aviation and the global atmosphere. In: E Penner, J., Lister, D.H., Griggs, D.J., Dokken, D.J., McFarland, M. (Eds.), *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- [6] Prather, M., Sausen, R., Grossman, A.S., Haywood, J.M., Rind, D., Subbaraya, B.H., 1999. Potential climate change from aviation. In: Penner, J.E., Lister, D.H., Griggs, D.J., Dokken, D.J., McFarland, M. (Eds.), ‘Aviation and the Global Atmosphere’, *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- [7] Fuglestedt, J.S., Berntsen, T.K., Isaksen, I.S.A., Mao, H.T., Liang, X.Z., Wang, W.C., 1999. Climatic forcing of nitrogen oxides through changes in tropospheric ozone and methane; global 3D model studies. *Atmos. Environ.* 33, 961–977.
- [8] Lee, D.S., Fahey, D., Forster, P.M., Newton, P.J., Wit, R.C.N., Lim, L.L., Owen, B., Sausen, R., 2009. Aviation and global climate change in the 21st century. *Atmos. Environ.* 43, 3520–3537

[9] Sausen, R., Isaksen, I., Grewe, V., Hauglustaine, D., Lee, D.S., Myhre, G., Kohler, M.O., Pitari, G., Schumann, U., Stordal, F., Zerefos, C., 2005. Aviation radiative forcing in 2000: an update on IPCC (1999). Meteorol. Z. 14, 555–561.

[10] Prather, M., Sausen, R., Grossman, A.S., Haywood, J.M., Rind, D., Subbaraya, B.H., 1999. Potential climate change from aviation. In: Penner, J.E., Lister, D.H., Griggs, D.J., Dokken, D.J., McFarland, M. (Eds.), 'Aviation and the Global Atmosphere', Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

**Ozgeriskhan Toilybai**, master's degree, senior lecturer, Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan, o.toilybai@agakaz.kz

**Aidos Moldabekov**, candidate of chemical sciences, associate professor, Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan, a.moldabekov@agakaz.kz

**Karlygash Zhandildinova**, master's degree, Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan, k.zhandildinova@agakaz.com

**Gulzhan Seyfula**, master's degree, Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan, g.seifulla@agakaz.kz

**Ainara Rysbekova**, master's degree, Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan, a.rysbekova@agakaz.kz

#### **IMPACT ON UPPER ATMOSPHERIC LEVEL OF NITROGEN DIOXIDE DEPOSITION PROCESS EXHAUSTED FROM AIRCRAFT ENGINES AS A RESULT OF KEROSENE COMBUSTION**

**Abstract.** Environmental pollution is considered one of the global environmental problems. One of the main environmental problems is air pollution. Atmospheric pollution is caused by the large amount of CO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> in the air. Their amount is not only pollution from industries or daily household waste, but also pollution in the upper level of the atmosphere by airplanes at a high level. It is known that combustion products are formed during the operation of an aircraft engine. Some of its types are substances contained in the atmosphere. In this case, engine operation leads to an increase in their concentration. And some combustion products do not enter the atmosphere under normal conditions. One of them is nitrogen dioxide. In this article, the deposition process of nitrogen dioxide emitted from the engine is considered, and also the first complex type of impact of aircraft on the troposphere with the help of radiative forcing in the upper atmosphere is analyzed.

**Keywords.** Nitrogen dioxide, concentration, aviation engine, radiation force.

**Озгерисхан Тойлбай**, магистр, старший преподаватель, Академия гражданской авиации, Алматы, Казахстан, o.toilybai@agakaz.kz

**Айдос Молдабеков**, кандидат химических наук, доцент, Академия гражданской авиации, г. Алматы, Казахстан, a.moldabekov@agakaz.kz

**Карлыгаш Жандильдинова**, магистр, Академия гражданской авиации, Алматы, Казахстан, k.zhandildinova@agakaz.com

**Гулжан Сейфула**, магистр, Академия гражданской авиации, Алматы, Казахстан, g.seifulla@agakaz.kz

**Айнара Рысбекова**, магистр, Академия гражданской авиации, Алматы, Казахстан, a.rysbekova@agakaz.kz

## ВЛИЯНИЕ НА ВЕРХНИЙ АТМОСФЕРНЫЙ УРОВЕНЬ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ ДИОКСИДА АЗОТА ВЫДЕЛЯЕМОЕ ИЗ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ СЖИГАНИЯ КЕРОСИНА

**Аннотация.** Загрязнение окружающей среды считается одной из глобальных экологических проблем. Одной из главных экологических проблем является загрязнение воздуха. Атмосферное загрязнение вызвано большим количеством  $\text{CO}_2$  и  $\text{NO}_2$  в воздухе. Их количество составляет не только загрязнение промышленными предприятиями или бытовыми отходами, но и загрязнение верхних слоев атмосферы самолетами на высоком уровне. Известно, что при работе авиационного двигателя образуются продукты сгорания. Некоторые его виды представляют собой вещества, содержащиеся в атмосфере. При этом работа двигателя приводит к увеличению их концентрации. А некоторые продукты горения не попадают в атмосферу при нормальных условиях. Одним из них является диоксид азота. В данной статье рассмотрен процесс осаждения диоксида азота, выбрасываемого двигателем, а также проанализирован первый комплексный вид воздействия летательных аппаратов на тропосферу с помощью радиационного форсинга в верхних слоях атмосферы.

**Ключевые слова.** Диоксид азота, концентрация, авиационный двигатель, радиационная сила.

\*\*\*\*\*