



Деструктивний вплив ракетно-космічної діяльності на навколишнє середовище

С.О. Вамболь¹, В.Ю. Дубницький², О.І. Ходирєв³, І.А. Черепньов⁴

^{1, 4} Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка, (м. Харків, Україна)
email: ¹ sergvambol@gmail.com, ⁴ voenpred314@ukr.net
ORCID: ¹ 0000-0002-8376-9020, ⁴ 0000-0003-2421-6503

^{2, 3} Харківський навчально-науковий інститут
ДВНЗ "Університет банківської справи", (м. Харків, Україна),
email: ² dubnitskiy@gmail.com, ³ khodyrevmjk@gmail.com
ORCID: ² 0000-0003-1924-4104, ³ 0000-0001-9871-944

Показано, що запуски ракет – носіїв космічних об'єктів мають деструктивний вплив на навколишнє середовище. Цей вплив виявляється в забрудненні поверхні Землі в місці пусків ракет, забрудненні атмосфери землі, руйнуванні озонового шару земної атмосфери і засміченні навколоземного космічного простору. Всі пуски ракет, що призвели їх вихід в космічний простір, розділені на три етапи: Друга світова війна (пуски ракет Фау-2), період з 1945 р. по 1957г. – пуски геофізичних ракет, період з 1957р. по 2019 р. – пуски космічних об'єктів. Проаналізована динаміка пусків геофізичних ракет і ракет – носіїв космічних об'єктів та побудована автокореляційна функція тимчасового ряду кількості щорічних пусків геофізичних ракет. Аналіз отриманих результатів показав, що їх щорічну кількість носить випадковий характер. Аналіз автокореляційної функції тимчасового ряду декадної зміни кількості пусків з 1957 р. – 2019 р. також показав дуже малу спадкоємність в плануванні пусків ракет – носіїв космічних об'єктів. Показано із застосуванням методів кластерного аналізу, що основними країнами - джерелами забруднення навколишнього середовища в результаті космічної діяльності є Російська Федерація, Сполучені Штати Америки і Китайська Народна республіка, на частку яких припадає 90,5% космічного сміття. Отримано регресійні рівняння для визначення розподілу по висоті продуктів згорання, що викидаються ракетними двигунами.

Ключові слова: ракетно – космічна діяльність, забруднення навколишнього середовища, кластерний аналіз, регресійний аналіз, забруднення космосу, геофізичні ракети, динаміка пусків ракет – носіїв космічних об'єктів.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Як відомо, офіційно початком космічної ери прийнято вважати 4 жовтня 1957 р., день, коли створений в СРСР перший штучний супутник Землі масою 83,6 кг був запущений на навколоземну орбіту. Але рукотворний об'єкт досяг нижньої границі космічного простору ще в 1944 році, хоча і рухався по суборбітальній траєкторії.

Нижню межу космічного простору, як зазначено в роботі [1], визначено так званою лінією Кармана. Цю лінію умовно приймають як межу між атмосферою Землі і космічним простором. Відповідно до визначення Міжнародної авіаційної федерації (ФАІ), лінія Кармана знаходиться на висоті 100 кілометрів над рівнем моря. Карман показав, що приблизно на цій висоті земна атмо-

сфера стає настільки розрідженою, що політ в ній літального апарату, побудованого на основі аеродинамічних принципів, стає неможливим. Внаслідок цього швидкість, необхідна для створення достатньої підйомної сили, стає більше першої космічної швидкості. На жаль, слід зазначити, що вихід в космічний простір рукотворних об'єктів і, як наслідок, руйнування озонового шару Землі було викликано зовсім не бажанням облагодіяти людство, а скоріше навпаки. Першим рукотворним об'єктом, що піднявся в космічний простір, була ракета Фау-2. Третього жовтня 1942 року вона досягла висоти 90 км., 14 червня 1944 року висоти 188 км. [2, 3].

Згідно з даними, розміщеними на сайті: https://spasecraftrocket.org/c_ussr_rockets.html/ [4]

було виконано 881 успішний пуск ракети Фау-2, зокрема: у Германії в роки Другої світової війни – 796 пусків, в США – 51 пуск трофейних Фау-2, в Радянському Союзі – 10. У той час ще ніхто не замислювався про глобальні екологічні наслідки впливу ракетних пусків на стан атмосфери і озонового шару Землі. Післявоєнні пуски Фау-2 були призначені для вирішення дослідницьких та конструкторських задач, пов'язаних з освоєнням принципово нового виду літального апарату. Розподіл пусків на військові і цивільні відбувся пізніше, на початку п'ятдесятих років ХХ століття. Оскільки в даний час відомо, що пуски бойових ракет складають незначну частку в загальній кількості пусків, то відмова від їх обліку істотно не вплине на результати дослідження.

До запуску першого штучного супутника Землі єдиним носієм апаратури, призначеної для дослідження навколосезонного простору, були геофізичні ракети, висота підйому яких близька до висоти лінії Кармана. Всього за цей період в різних країнах було здійснено 423 пуски. У табл.1 представлено зведення про щорічну кількість пусків геофізичних ракет в період з 1947 по 1957 рр. Ці відомості взято з роботи [5].

Таблиця 1. Кількість щорічних пусків геофізичних ракет

Рік	Кількість пусків	Рік	Кількість пусків
1947	44	1953	45
1948	18	1954	31
1949	29	1955	44
1959	31	1956	92
1951	26	1957	29
1952	34	-	-

Графік щорічної кількості пусків геофізичних ракет показано на рис. 1.

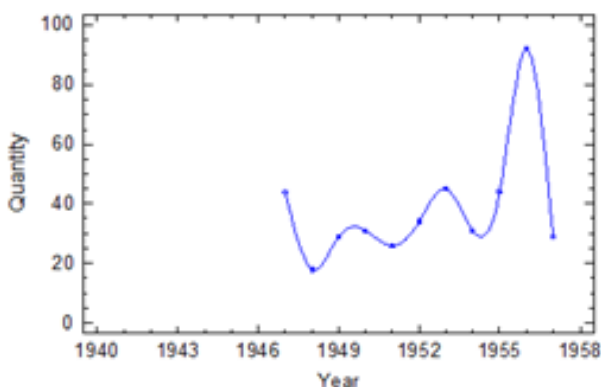


Рис. 1. Щорічна кількість пусків геофізичних ракет

З цього графіка видно, що будь-яка тенденція в динаміці пусків відсутня. Для підтвердження

цього було обчислено автокореляційну функцію часового ряду, який наведено в табл. 1. Для обчислення її значень було використано систему STATGRAPHICS V.15. Графік цієї функції і аналіз отриманих результатів наведено на рис. 2 і в табл. 2, яка є скріншотом відповідних результатів роботи програмної системи.

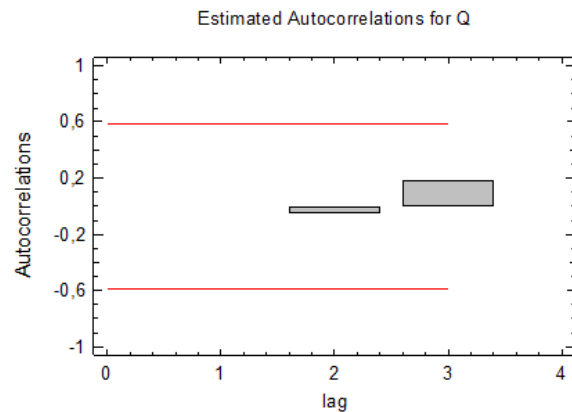


Рис. 2. Автокореляційна функція часового ряду щорічної кількості пусків геофізичних ракет.

Таблиця 2. Оцінка значень автокореляційної функції часового ряду щорічної кількості пусків геофізичних ракет.

Lag	Autocorrelation	Std. Error	Lower 95,0%	Upper 95,0%
			Prob. Limit	Prob. Limit
1	-0,00774192	0,301511	-0,590953	0,590953
2	-0,0551518	0,301529	-0,590988	0,590988
3	0,180515	0,302445	-0,592783	0,592783

Низькі значення коефіцієнтів автокореляції (*Autocorrelation*), усі менше ніж 0,2, дозволяють зробити висновок, що кількість пусків в подальші роки не залежала від результатів попереднього, тобто мала майже випадковий характер.

За даними різних джерел [6-8], починаючи з 1950-х рр. по 2018 р. у світі було здійснено майже 6000 (як правило, називають цифру 5810) запусків ракет-носіїв космічного призначення, (з яких відповідно 390 та 98 були повністю або частково аварійними). Ракетно-космічна діяльність, яка з початку вирішувала перш за все питання, пов'язані з військовою сферою та науковими дослідженнями, дуже швидко стала невід'ємною складовою сучасної світової економіки і науки, визначаючи розвиток найбільш значущих комплексів міжнародної інфокомунікаційної інфраструктури, а також систем, що забезпечують національну безпеку. Перші ракети-носії, які використовували для космічних запусків, були, як правило, модифікаціями бойових ракет, але

поступово були створені специфічні конструкції, які з більшою ефективністю дозволяли виводити на орбіти космічні апарати.

В табл. 3, яка запозичена авторами з роботи [9], представлено основні напрямки космічної діяльності та значення, які вони займають в житті суспільства.

Таблиця 3. Значення космічної діяльності в житті суспільства

Напрямки космічної діяльності	Завдання, які вирішуються
Оборона і безпека	Управління військами
	Попередження про ракетний напад
	Контроль за дотриманням міжнародних договорів
	Оперативний контроль кризових районів Землі
	Навігація
	Моніторинг та попередження надзвичайних ситуацій
Телекомунікації	Зв'язок, телебачення, Internet
Наука, техніка і технології	Дослідження Землі (дистанційне зондування)
	Дослідження космосу, навколоземного космічного простору
	Дослідження впливу факторів космічного простору на людину і біоту
	Дослідження впливу факторів космічного простору на конструкційні матеріали та зразки космічної техніки
	Випробування зразків нової космічної техніки
Експерименти з отримання матеріалів з новими властивостями	

Наведені в цій таблиці дані свідчать, що вказані області застосування космічної техніки є невід'ємними атрибутами виробничої і соціальної інфраструктури сучасного суспільства і можливі збитки від їх деградації по суті не підлягають вартісній оцінці. Питання та проблеми, що породжує ракетно-космічна діяльність сягають транснаціонального рівня. В доповіді Комітету з використання космічного простору в мирних цілях Організації Об'єднаних Націй було відзначено, що: «Космічний простір – досить тендітне середовище, в якому дії одного суб'єкта можуть мати наслідки для інших, у тому числі тих, хто користується космічними послугами на Землі. У зв'язку з

розширенням сфери космічних операцій і підвищенням стратегічного значення космічного простору зросла потреба в забезпеченні безпеки космічних операцій, захищеності космічного середовища і космічного майна і стійкості космічної діяльності» [10]. На жаль, ракетно-космічна діяльність вносить помітний внесок в забруднення навколишнього середовища.

В роботі [5] наведено дані щодо наявності тривожної тенденції прискорення прояви негативних результатів техногенного тиску людської діяльності на навколишнє середовище:

- знадобилося 5 тис. років від дня початку мореплавання, щоб довести забруднення моря до критичної межі;

- всього близько 200 років знадобилося промисловості, щоб з дня її появи забруднити сушу і повітряний простір;

- близько 100 років від дня першого застосування автомобіля знадобилося автотранспорту, щоб засмітити повітряний простір міст;

- ядерна енергетика за 40-45 років привела до значного забруднення середовища проживання людини;

- ракетно-космічна діяльність всього за 40 років створила серйозні проблеми через забруднення земної поверхні, атмосфери планети, а також навколоземного космічного простору.

Враховуючи сказане, актуальним наразі є об'єктивна оцінка всіх напрямів негативного впливу ракетно-космічної діяльності на всі складові простору, де мешкає або здійснює свою діяльність людство, та створення переліку невіршених питань.

Мета та завдання дослідження.

Метою дослідження є деструктивний вплив ракетно-космічної діяльності на навколишнє середовище. Для досягнення мети вирішувались наступні задачі:

- 1) визначення характеру інтенсивності ракетно-космічної діяльності на основі аналізу динаміки пусків ракет-носіїв космічних об'єктів;

- 2) встановлення основних джерел забруднення атмосфери в результаті ракетно-космічної діяльності, а також визначення їх умов формування і закономірностей негативного впливу на атмосферу.

Матеріали та методи дослідження. Розглянемо найбільш вагомні фактори техногенного впливу ракетно-космічної діяльності на оточуюче середовище. Різні автори виділяють різну кількість цих факторів. Наприклад, в роботі [11] наведено 12 найсуттєвіших видів впливу. В табл. 4, яка запозичена авторами з роботи [12], представлено систематизовані напрямки впливу ракетно-космічної діяльності на навколишнє середовище. Сучасні ракетноносії дуже часто мають комп'ютеризовану систему керування, оснащені

доскональними двигунами, іноді багаторазового використання, але залишаються вкрай неефективним засобом транспорту. Величезна кількість пального і окислювача витрачається на подолання щільних шарів атмосфери і розгін до космічної швидкості. В середньому корисне навантаження становить лише 3,5-3,7% від власної маси сучасних носіїв; така ефективність абсолютно незадо-

вільна. Основну частку стартової маси займає паливо. Як приклад: ракетна система «Союз» важить 315 тонн і виводить на орбіту корисний вантаж близько 6 тонн. Неважко порахувати, що коефіцієнт корисної дії (ККД) цієї ракети всього 2%. Якщо врахувати, що ККД звичайного паровоза близько 8%, то неважко помітити, що ККД сучасної ракети в 4 рази нижче, ніж у паровоза.

Таблиця 4. Вплив космічної діяльності на навколишнє середовище

Складові космічної діяльності	Джерела забруднення	Результат впливу	
1	2	3	
Загальна інфраструктура космодромів	ТЕЦ, автотранспорт, тепловози	Хімічне забруднення навколишнього середовища викидами	
	обслуговуючий персонал	створення побутових відходів	
Ракетно-космічна техніка	агрегати нейтралізації парів і промислових стоків технічних і стартових комплексів	хімічне забруднення навколишнього середовища при нейтралізації	
	Радіовипромінювальна апаратура наземних комплексів управління	електромагнітне випромінювання	
	Двигуни ракет-носіїв		акустичний вплив при старті
			тепловий вплив при старті
			хімічне забруднення навколишнього середовища продуктами згоряння
			вплив на озоновий шар продуктів згоряння двигунів ракет-носіїв
	Відокремлювані частини ракет-носіїв	хімічне забруднення навколишнього середовища залишками компонентів ракетного палива в районах падіння	
		механічне забруднення навколишнього середовища в районах падіння	
	розгінні блоки	хімічне забруднення навколоземного простору продуктами згоряння двигунів	
	розгінні блоки космічні апарати	механічне забруднення навколоземного простору	
космічні апарати		хімічне забруднення навколоземного простору продуктами згоряння двигунів	
		механічне забруднення навколоземного простору	
		хімічне забруднення верхньої атмосфери продуктами згоряння конструкції при сходженні з орбіти	

З даних, наведених у табл. 4, видно, що вплив ракетно-космічної діяльності на навколишнє середовище має багатофакторний характер. І серед цих факторів необхідно виділити найбільш значущі. В роботі [13] наведено результати оцінки внеску різних етапів здійснення ракетно-космічної діяльності в забруднення навколишнього середовища у процесі підготовки до виконання та виконання польотного завдання:

- 1) підготовка до пуску – 10%;
- 2) пуск – 20%;
- 3) активна частина польоту – 40%;

- 4) пасивна частина польоту – 10%;
- 5) на орбіті – 20%.

Перші два етапи (пп. 1 і 2) відносяться до території космодромів, де, як правило, існують спеціально розроблені організаційні та технічні заходи безпеки, спеціально навчений особовий склад, що априорі знижує кількість людей, у яких порушується або виникає загроза порушення нормальних умов життєдіяльності, нанесення шкоди здоров'ю або ризик загибелі. Крім того, з часом значно зростає надійність об'єктів космічного призначення. В роботі [14] проведено порівняльний аналіз

надійності пусків в СРСР/РФ і США (країн, які є лідерами в космічній галузі) за період 1960-2009 рр., який показав, що: «Тільки в період з 1965 по 1969 р. надійність пусків ракет у США була вища, ніж в СРСР. У період з 1980 по 1994 р. аналогічний показник в СРСР/Росії був вище, ніж в США. В інші часові інтервали суттєвої різниці показників надійності пусків ракет не було».

У роботі [15] розглядається вплив діяльності космодромів на утворення відходів, що засмічують навколишнє середовище. Автор роботи [15] збирила відомості з 2001 по 2011 роки. Автори даного повідомлення не змогли знайти більш свіжої інформації з даної проблеми. Збільшення інтенсивності загальної кількості пусків і підключення нових країн до активної космічної діяльності дає підстави припускати, що стан, якщо й змінився, то не в кращій бік. У табл. 5 наведено відомості про країни, які брали найбільш активну участь у космічній діяльності за вказаний період, і внаслідок цього стали джерелом найбільшої кількості об'єктів, що забруднюють космічний простір.

Таблиця 5. Абсолютна і відносна кількість об'єктів, що забруднюють космічний простір

п/п	Країни, регіони	Кількість об'єктів, що забруднюють космічний простір, з вини країни, од.	Частка країни в утворенні космічного сміття %
1.	Росія	6075	37,8
2.	США	4867	30,2
3.	Китай	3623	22,5
4.	Європа	567	3,5
5.	Індія	174	1,1
6.	Японія	183	1,1
7.	Всі інші	605	3,8
	Разом:	16094	100

З приведених даних виходить, що тільки за період з 2001 по 2011 роки в космосі знаходилося 16094 джерела його забруднення. Для обґрунтованого статистичного угруповання наведених в табл. 5 відомостей використано метод кластерного аналізу. Результати його застосування показано на рис. 3.

З наведених на рис. 3 і табл. 5 даних витікає, що найбільш активними постачальниками космічного сміття є Росія, США і Китай, доля яких становить 90,5% всього космічного сміття. В табл. 6 наведено кількісні дані про деякі з показників впливу ракетно-космічної діяльності на навколишнє середовище.

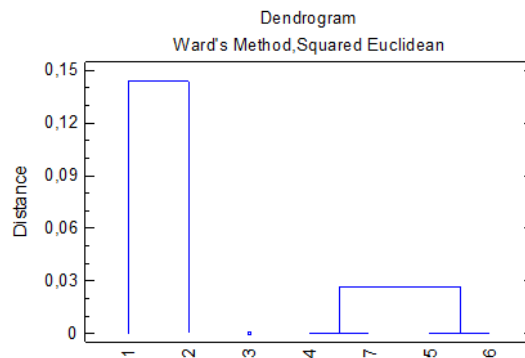


Рис. 3. Угрупування країн-джерел забруднення космічного простору.

Нумерація країн і регіонів відповідає нумерації, прийнятій в табл.5.

Таблиця 6. Показники забруднення навколишнього середовища внаслідок ракетно-космічної діяльності

Роки, t	Викиди в атмосферу по всіх космодромах і полігонах, тонни, Tt	Відходи металоконструкцій на території падіння частин ракет-носіїв, що відділяються, тонни, W
2002	5000	5900
2003	5500	6050
2004	6010	5945
2005	5600	6100
2006	2884	6130
2007	3636	6100
2008	4680	6200
2209	5298	6230
2010	4872	6900
2011	6301	6890

З даних табл.6 витікає, що негативні наслідки ракетно-космічної діяльності позначаються не тільки на стані атмосфери Землі, але й на засміченні земної поверхні елементарним металобрухтом. На рис. 4, 5 показано графічну інтерпретацію наведених у табл. 6 даних.

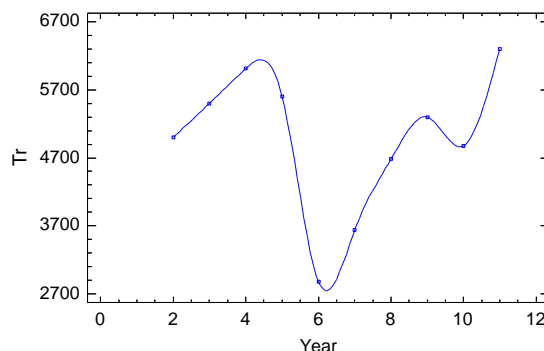


Рис. 4. Викиди в атмосферу по всіх космодромах і полігонах, Tt (тонни) Year = t – 2000.

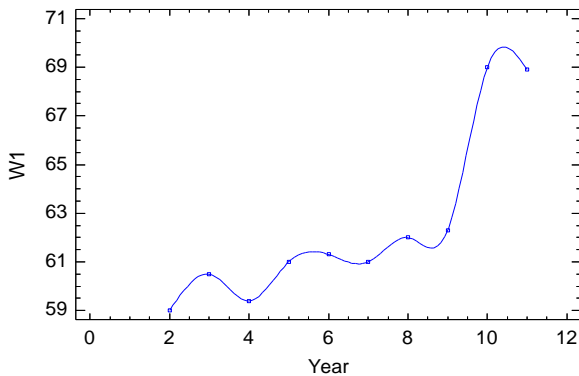


Рис. 5. Відходи металоконструкцій на територіях падіння частин ракет-носіїв, що відділяються $W1 = W \cdot 10^{-2} \text{тонн Year} = t - 2000$.

З цих рисунків можна зробити висновок про те, що говорити про будь-які закономірності в зміні у часі цих показників не має сенсу. Для підтвердження цього було використано тести перевірки послідовності даних на статистичну незалежність, детально описані в роботі [16] і реалізовано в системах STATGRAPHICS V.15 і Atte Stat.

Таблиця 7. Результати перевірки статистичної незалежності показників впливу ракетно-космічної діяльності на навколишнє середовище

Вид критерію	Послідовність даних	
	Викиди в атмосферу по всіх космодромах і полігонах	Відходи металоконструкцій на територіях падіння частин ракет-носіїв, що відділяються
Величина P_v		
Критерій серій, заснований на медіані вибірки	1,0	0,314
Критерій висхідних і низхідних послідовностей	0,489	1,0
Критерій Бокса-Пірса	0,467	0,346

Оскільки величина P_v перевершує значення 0,05, то розглянуті послідовності слід вважати випадковими і для їх прогнозування можна рекомендувати спеціалізовані методи, вживані при визначенні ризиків ракетно-космічної діяльності, описані, наприклад, в роботах [17-19]. Необхідно відзначити, що після 1991 року на протязі як мінімум двох десятиліть значна частина бортових

приладів систем управління ракет-носіїв космічного призначення типу «Союз» та «Протон», була виготовлена на підприємствах України. В даній роботі будуть розглянуті ті етапи пусків ракет-носіїв космічного призначення, чий негативні наслідки можуть поширюватися на значну територію та впливати на віддалену місцевість і людей, які там проживають. Тобто, це етапи, активного польоту. Це не проста задача тому, що достатньо складно визначити причинно-наслідковий зв'язок між пусками та негативними наслідками їхнього впливу на віддалені території. У даний час існує дві основні, практично взаємно протилежні, точки зору на той внесок, який здійснюють запуски ракет-носіїв в дестабілізацію озонового шару планети. Це такі:

1. Зміна концентрації стратосферного озону через вплив пусків ракет-носіїв носить локальний характер, середнє зниження концентрації існує не більше години, тому цей фактор можна не враховувати [20-23].

2. Проблема негативного впливу та наслідки пусків ракет-носіїв на озоновий шар вимагає ретельного і оперативного вирішення [5, 13, 24] тому, що ігнорування їх негативного впливу на довкілля, яке неминуче слід очікувати при збільшенні кількості запусків ракет-носіїв, може привести до порушення природної рівноваги в різних шарах атмосфери, наслідки якого поки що важко прогнозувати. Саме таку думку висловлено в роботі [25].

Але, на наш погляд, заслуговує на увагу й гіпотеза, яка займає проміжне положення між цими двома висловлюваннями. В роботі [26] узагальнено багаторічні дослідження з проблеми медико-екологічних наслідків ракетно-космічної діяльності, детально висвітлено питання оцінки стану здоров'я людей і екосистем під впливом пусків ракет-носіїв, механізми дії на озон продуктів згоряння, які утворюються в процесі роботи ракетних двигунів. В цій же роботі зазначено, що концентрація озону буде досягати своїх мінімальних значень не в перші хвилини після запуску, а лише через 1,5-2 години, причому на будь-якій відстані від точки запуску (в межах 10 км). Відповідно, рівень приземної УФ-радіації протягом першої години після пуску починає швидко рости (у 7-10 разів!) і через 1,5-2 години досягає свого максимального значення. Наведені дані стосуються локального руйнування озону при пусках ракет, однак не можна забувати про ефект глобального руйнування озону, озонового шару, який виникає в міру того, як озonoактивні з'єднання з часом поширюються в атмосфері. Перехід цих сполук зі стратосфери в тропосферу, де вони можуть вимиватися опадами, відбувається за період від 6 місяців до 3-х років залежно від висоти. Протягом усього часу перебування в стратосфері озonoактивні з'єднання беруть участь у процесі загибелі

озону, тому при оцінці впливу ракетно-космічної діяльності на озоновий шар Землі необхідно враховувати накопичення забруднень від усіх пусків ракет за період виведення озonoактивних забруднювачів з атмосфери.

Результати досліджень. Зведення про кількість пусків ракет-носіїв космічних об'єктів з 1957 р. по 2019 р. розміщено на сайті: ru.wikipedia.org/список_космических_пусков/ і наведено в табл. 8. У рамках даного повідомлення пуски не розділені на успішні й аварійні. Це зроблено тому, що деструктивна дія наслідків пуску не залежить від успішності виконання об'єктом, що запускається, польотного завдання. За цей час було проведено 5912 пусків, середня подекадна кількість пусків дорівнює 976,3. При обчисленні середньої подекадної кількості пусків у період з 1957 р. по 1959 р. не враховували.

Пуск космічного об'єкту став буденною подією тільки в другу декаду космічної ери.

Таблиця 8. Кількість пусків ракет-носіїв космічних об'єктів з 1957 р. по 2019 р.

Роки	1957-1959	1960-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	2010-2019
Декада	1	2	3	4	5	6	7
Кількість пусків	54	986	1233	1193	891	665	890

Відхилення подекадної кількості пусків від свого середнього значення показано на рис. 6.

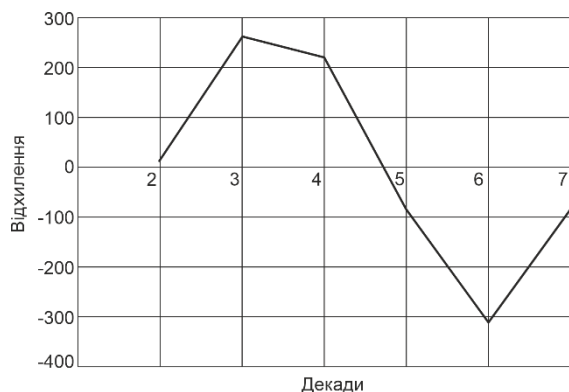


Рис. 6. Відхилення подекадної кількості пусків від свого середнього значення

З графіка, приведенного на рис. 6, видно, що впродовж майже шістдесятирічної історії осво-

ення космічного простору будь яка стала багаторічна тенденція інтенсивності пусків відсутня.

На рис. 7 показано графік подекадної кількості пусків ракет-носіїв космічних об'єктів з 1957 р. по 2019 р. На рис. 8 показано його автокореляційну функцію.

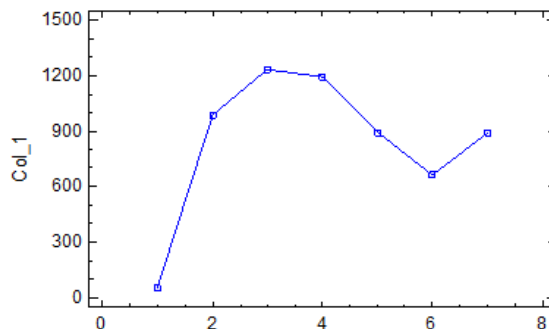


Рис. 7. Подекадна кількість пусків ракет-носіїв космічних об'єктів з 1957 р. по 2019 р.

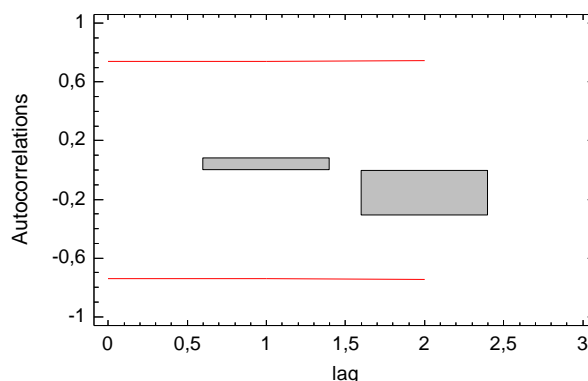


Рис. 8. Автокореляційна функція часового ряду подекадної кількості пусків ракет-носіїв космічних об'єктів з 1957 р. по 2019 р..

Оцінку отриманих результатів наведено в табл. 9.

Таблиця 9. Статистична оцінка автокореляційної функції часового ряду подекадної кількості пусків ракет-носіїв космічних об'єктів з 1957 р. по 2019 р.

Lag	Autocorrelation	Std. Error	Lower 95,0%	Upper 95,0%
			Prob. Limit	Prob. Limit
1	0,0819368	0,377964	-0,740798	0,740798
2	-0,314786	0,380494	-0,745755	0,745755

З даних, наведених в цій таблиці видно, що величина коефіцієнта автокореляції, визначена для лага в одну декаду, менше 0,1, що може свідчити про дуже малу спадкоємність в плануванні пусків ракет-носіїв космічних об'єктів. Докладніше

дослідження цього часового ряду може бути темою подальших досліджень.

Одним з основних джерел забруднення атмосфери служать продукти згорання ракетного палива, що викидаються в атмосферу. В роботі [27] наведено данні щодо складу і кількості (г/см висоти атмосфери) продуктів згорання, що викидаються двигунами ракетних систем «Энергия» в атмосферу на різній висоті.

Таблиця 10. Склад і кількість (г/см висоти атмосфери) продуктів згорання що викидаються двигунами ракети „Энергия”.

Висота, км	CO	CO ₂	H	H ₂	H ₂ O	Всього
10	72,25	71,86	0,04204	28,300	116,70	289,20
20	59,95	59,70	0,03829	23,540	97,48	240,70
30	49,75	49,60	0,03488	19,570	81,43	200,40
40	42,28	41,21	0,03477	16,280	68,02	167,80
50	36,92	36,86	0,02842	14,560	60,84	149,20
60	24,04	23,89	0,04343	9,655	43,45	101,00

Наведені в табл. 10 дані є прикладом використання системи з рідинним ракетним двигуном РД-170. Згідно з інформацією яка розміщена на сайті: <https://vpk.name/library/f/rd-170.htm> / на ракетній системі «Энергия» був задіяний саме цей двигун, варіанти якого на даний час використовують в ракетній системі «Зеніт». На основі двигуна РД-170 розроблена модель РД-180, яка використана в американській ракетній системі «Atlas».

Слід вказати, що китайські ракети-носії важкого класу використовують аналогічні системи. Так, чотири рідинних прискорювача, CZ-5-300, закріплені з боків першого ступеня і забезпечують основну тягу ракети-носія «Чанчжен-5» під час старту. На прискорювач встановлені два двигуни закритого циклу YF-100. Такий же двигун використовується на першому місці і бічних прискорювачах ракети-носія «Чанчжен-7». Модифікована версія прискорювача з одним двигуном YF-100 використовується в якості першого ступеня ракети-носія «Чанчжен-6»).

Тому, для докладного вивчення цього процесу нами складені регресійні рівняння, які можуть бути використані для апроксимації кількості продуктів згорання, що викидаються в атмосферу двигунами ракети «Энергия» на висоті від 10 до 60 км. від Землі. Отримані результати можуть бути використані для оцінки екологічних наслідків для атмосфери при проектуванні нових ракет цього класу. У зв'язку з особливостями форми

виведення результатів розрахунків в системі STATGRAPHICS V.15 прийняті в табл. 10 найменування продуктів згорання перейменовані й показані в табл. 11.

Для докладнішого вивчення цього процесу нами складені регресійні рівняння, які можуть бути використані для апроксимації кількості продуктів згорання, що викидаються в атмосферу двигунами ракети «Энергия» на висоті від 10 до 60 км. від Землі. Отримані

результати можуть бути використані для оцінки екологічних наслідків для атмосфери при проектуванні нових ракет цього класу. У зв'язку з особливостями форми виведення результатів розрахунків в системі STATGRAPHICS V.15 прийняті в табл. 10 найменування продуктів згорання перейменовані й показані в табл. 11.

Таблиця 11. Умовні позначення змінних в регресійних рівняннях

	Позначення, прийняті в табл. 6	Позначення, прийняті в регресійних рівняннях
Змінні величини	Висота	A
	CO	CO
	CO ₂	CO ₂
	H	H
	H ₂ O	H ₂ O
	Всього	S

Отримані регресійні рівняння наведені в табл.12.

Таблиця 12. Регресійні рівняння, призначені для апроксимації кількості продуктів згорання, що викидаються в атмосферу двигунами ракети «Энергия»

Умовні позначення рівнянь	Отримане рівняння
Eq1	$CO = \sqrt{11205,4 - 2566,12LnA}$
Eq2	$CO_2 = \sqrt{1110 - 2544,55LnA}$
Eq3	$H_2 = 31,0352 - 0.3544A$
Eq4	$H_2O = 166,207 - 15,4532\sqrt{A}$
Eq5	$S = \sqrt{129467 - 15602,9\sqrt{A}}$

Оцінки якості отриманих рівнянь наведено в табл.13. Позначення і змістовний сенс отриманих результатів, які використовували при цьому, відповідають прийнятим в роботі [28].

З наведених у табл. 13 результатів можна зробити висновок про хорошу якість отриманих рівнянь. На рис. 9. показано графік отриманого

регресійного рівняння для функції $CO = f_1(A)$, з якого видно хороше співпадіння фактичних та розрахованих результатів.

Таблиця 13. Оцінка якості отриманих регресійних рівнянь

Отримане рівняння		Eq1	Eq2	Eq3	Eq4	Eq5
Оцінка якості отриманих коефіцієнтів	t_a	39,66852	38,6968	42,0815	42,4159	23,6766
	t_b	-32,4109	-31,724	-20,468	-23,32	-16,881
	$P_v\{a\}$	$< 1 \cdot 10^{-4}$	$< 1 \cdot 10^{-4}$	$< 1 \cdot 10^{-4}$	$< 1 \cdot 10^{-4}$	$< 1 \cdot 10^{-4}$
	$P_v\{b\}$	$< 1 \cdot 10^{-4}$	$< 1 \cdot 10^{-4}$	$< 1 \cdot 10^{-4}$	$< 1 \cdot 10^{-4}$	$< 1 \cdot 10^{-4}$
Оцінка якості отриманого рівняння	$F(1;4)$	1050,47	1006,40	418,94	544,33	248,97
	$P_v\{F\}$	$< 1 \cdot 10^{-4}$	$< 1 \cdot 10^{-4}$	$< 1 \cdot 10^{-4}$	$< 1 \cdot 10^{-4}$	$< 1 \cdot 10^{-4}$
	$R^2(\%)$	99,52	99,41	98,21	99,08	98,27

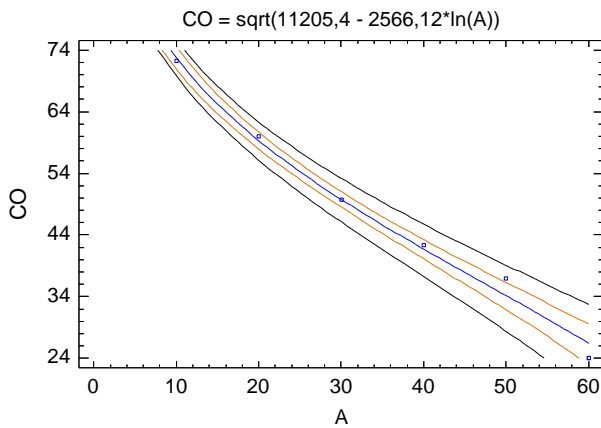


Рис. 9. Графік отриманого регресійного рівняння для функції $CO = f_1(A)$

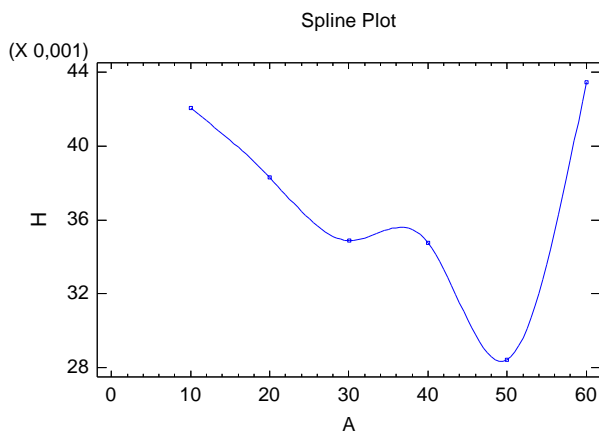


Рис. 10. Графік зміни по висоті фактичних та розрахованих результатів функції $H = f_2(A)$

На рис. 10 наведено графік зміни по висоті фактичних результатів функції $H = f_2(A)$, для якого не вдалося знайти регресійне рівняння.

Причини немонотонного розподілу по висоті змінної H , що виділяє її із загального переліку досліджених змінних повинні бути темою подальших досліджень. На рис. 11 показаний графік отриманого регресійного рівняння для функції $H_2 = f_3(A)$, з якого видно хороше співпадіння фактичних та розрахованих результатів.

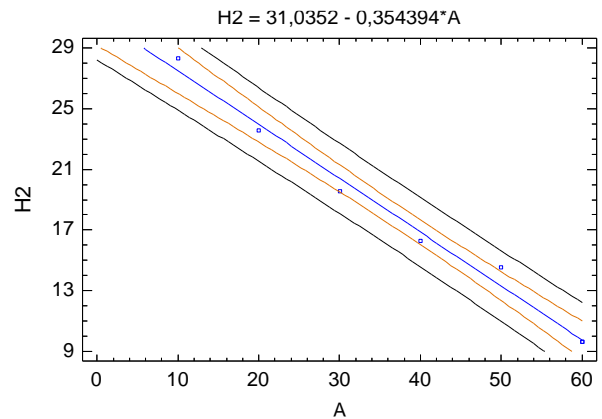


Рис. 11. Графік зміни по висоті фактичних та розрахованих результатів функції $H_2 = f_3(A)$

На рис. 12 показано графік отриманого регресійного рівняння для функції $CO_2 = f_4(A)$, з якого видно хороше співпадіння фактичних та розрахованих результатів.

На рис. 13 показано графік отриманого регресійного рівняння для функції $H_2O = f_5(A)$, з якого видно хороше співпадіння фактичних та розрахованих результатів.

На рис.14 показаний графік отриманого регресійного рівняння для функції $S = f_6(A)$ з якого видно хороший збіг розрахункових і фактичних результатів.

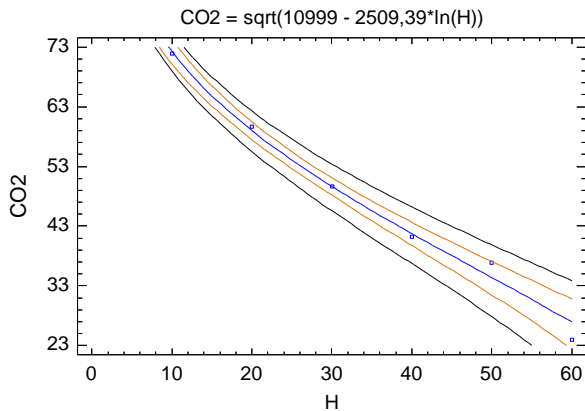


Рис. 12. Графік зміни по висоті фактичних і розрахованих результатів функції $CO_2 = f_4(A)$.

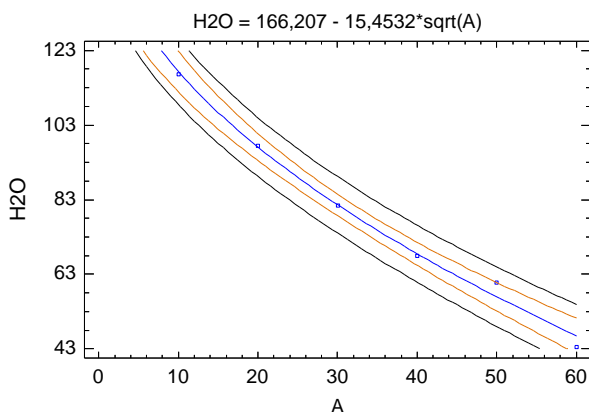


Рис. 13. Графік зміни по висоті фактичних і розрахованих результатів функції $H_2O = f_5(A)$.

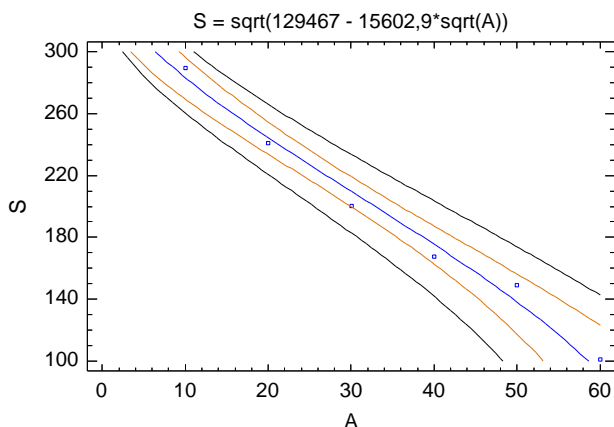


Рис. 14. Графік функції $S = f_6(A)$, загальної суми викидів в атмосферу.

Обговорення результатів

Дослідження ракетно-космічної діяльності показало, що запуски ракет – носіїв космічних апаратів мають деструктивний вплив на навколишнє середовище. Цей вплив виявляється в забрудненні поверхні Землі в місці пусків ракет, забрудненні атмосфери землі, руйнуванні озонового шару земної атмосфери і засміченні навколоземного космічного простору.

Всі пуски ракет, що призвели їх вихід в космічний простір, розділені на три етапи: Друга світова війна (пуски ракет ФАУ-2), період з 1945 р. по 1957р. – пуски геофізичних ракет, період з 1957р. по 2019 р. – пуски космічних об'єктів. Проаналізована динаміка пусків геофізичних ракет і ракет – носіїв космічних об'єктів та побудована автокореляційна функція тимчасового ряду кількості щорічних пусків геофізичних ракет свідчить про те, що кількість цих пусків носить випадковий характер. Також, аналіз автокореляційної функції тимчасового ряду подекадної зміни кількості пусків з 1957 р. – 2019 р. також показав неперіодичність в плануванні пусків ракет – носіїв космічних об'єктів. Але ця статистика пусків мабуть обумовлена не технічними і технологічними факторами, а спеціальними завданнями.

За результатами дослідження із застосуванням методів кластерного аналізу можна стверджувати, що основними кранами - джерелами забруднення навколишнього середовища в результаті космічної діяльності є Російська Федерація, Сполучені Штати Америки і Китайська Народна республіка, на частку яких припадає 90,5% космічного сміття.

У наведеному дослідженні встановлено основні чинники забруднення атмосфери, це є продукти згорання ракетного палива що викидаються ракетними двигунами. До основних забруднюючих речовин можна віднести S, CO, CO₂, та інші. Використовуючи метод регресії, були отримані рівняння, що описують закономірність розподілення цих забруднень атмосфери по висоті. Аналізуючи графіки фактичних та розрахованих результатів за отриманими регресійними рівняннями, можна відзначити співпадіння фактичних та розрахованих результатів. Це свідчить, про теоретично правильне обґрунтування застосованого підходу та адекватність отриманої математичної моделі.

Отримані рівняння можуть бути використані для оцінки екологічних наслідків для атмосфери при проектуванні нових ракет цього класу.

Висновки. В результаті проведених досліджень показано, що запуски ракет – носіїв космічних об'єктів мають деструктивний вплив на навколишнє середовище.

Отримані результати дозволили зробити наступні висновки:

- 1) Аналізуючи динаміку пусків геофізичних ракет і ракет – носіїв космічних об'єктів та побудована автокореляційна функція тимчасового ряду кількості щорічних пусків геофізичних ракет. отримані результати показали, що кількість щорічних пусків носить випадковий характер. Аналіз автокореляційної функції тимчасового ряду подекадної зміни кількості пусків з 1957 р. – 2019 р. також показав дуже малу спадкоємність в плануванні пусків ракет – носіїв космічних об'єктів.

2) Встановлені основні компоненти (склад і кількість) продуктів згорання що викидаються ракетними двигунами в залежності від висоти атмосфери. На цій основі побудовані графіки зміни по висоті фактичних викидів та розрахованих результатів для регресійних функцій. Отримано регресійні рівняння для визначення розподілу по висоті продуктів згорання, що викидаються ракетними двигунами. У подальшому ці рівняння можуть бути використані для оцінки екологічних наслідків для атмосфери при проектуванні нових ракет цього класу

Література.

1. Иванов Н.М., Лысенко Л.Н. Баллистика и навигация космических аппаратов / Н.М.Иванов, Л.Н. Лысенко. – Москва: Дрофа, 2004. – 544 с.
2. Задонцев В.А. Две жизни и две ракеты Вернера фон Брауна (1912-1977). К 100- летию со дня рождения // Авиационно-космическая техника и технология. - 2012. – № 9 (96) . – С.146 - 158.
3. Дорнбергер В. Фау-2. Сверхоружие третьего рейха. 1930-1945 / Дорнбергер В. – Москва: Центрполиграф, 2005. – 352 стр.
4. Хронология запусков ракет и космических аппаратов. Электронный ресурс. Режим доступа: https://spacecraftrocket.org/c_ussr_rockets.html
5. Михайлов В.П. Ракетные и космические загрязнения / В.П. Михайлов – Москва: Издательство Института истории естествознания и техники Российской Академии Наук, 1999. – 226 с.
6. Уманский, С.П. Ракеты-носители. Космодромы / С.П. Уманский. – М. : Рестарт+, 2001. – 216 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://b-ok.cc/book/535517/159bb9>
7. Сводная статистика космических запусков в мире с 1957 по 2014 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bmpd.livejournal.com/1171259.html>
8. Статистика космических запусков за последние 8 лет. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.yaplakal.com/forum3/topic1953654.html>
9. Крестников И.Ф. Экологические аспекты космической деятельности / И. Ф. Крестников // Использование и охрана природных ресурсов в России. - 2016. - № 4 (148). - С. 74 - 78.
10. Организация Объединенных Наций A/AC.105/1131 Генеральная Ассамблея. Комитет по использованию космического пространства в мирных целях. Доклад о работе Практикума Организации Объединенных Наций по космическому праву по теме "Вклад космического права и космической политики в управление космической деятельностью и обеспечение безопасности в космосе в XXI веке" (Вена, 5-8 сентября 2016 года).
11. Сидоров П. И. Экологические и медицинские аспекты ракетно-космической деятельности / П. И. Сидоров, С. Л. Совершаева, Н. В. Скребцова // Геофизические процессы и биосфера. - 2008. - Т. 7, № 4. - С. 14-29. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12899431>
12. Алпатов В. В., Крестников И. Ф. Экологическое сопровождение ракетно-космической деятельности как одно из направлений работы ИПГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vestnik.geospace.ru/index.php?id=490>
13. Михайлов В.П. Ракетные и космические загрязнения Земли: зарождение тенденций". //Москва.: Институт истории естествознания и техники РАН, 1999. -- 237 с.
14. Безопасность критических инфраструктур: математические и инженерные методы анализа и обеспечения: монография / под ред. В.С. Харченко. – Х.: [Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "ХАИ"], 2011. – 641 с.
- 15.Дорошина С.В. Анализ влияния ракетно-космической деятельности на окружающую среду в системе экономики природопользования // Экономика природопользования. – 2011- №4.С.17 – 29.
16. Айвазян С.А. Статистическое исследование зависимостей / С.А. Айвазян . Москва: Издательство «Металлургия», 1968. – 227 с.
17. Орлов А.И. Особенности оценки рисков при создании ракетно-космической техники / А.И. Орлов, А.Д. Цисарский // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. - 2013. - № 232 (43). - С. 37 - 46.
18. NASA/SP-2011-3422 NASA Risk Management Handbook / яNASA, National Aeronautics and Space Administration NASA Headquarters Washington, D.C. 20546, 2011. 256 с.
19. Орлов А.И. Аддитивно-мультипликативная модель оценки рисков при создании ракетно-космической техники // Научный журнал КубГАУ. - 2014.- № 08 (102).- С. 1 - 34.
20. Экологические проблемы и риски воздействия ракетно-космической техники на окружающую природную среду: Справочное пособие / Под. ред. В.В. Адушкина, С.И Козлова, А.В. Петрова. – М.: Анкил, 2000. – 640 с.
21. Руководство по организации безопасной эксплуатации космических средств Российского космического агентства. (РОБЭК-99). М.: РКА, 1999. – 195 с.
22. Дмитриев А.Н., Робертус Ю.В., Шитов А.В. К проблеме локальных геомагнитных возмущений при пусках ракет-носителей // Физические проблемы экологии (Экологическая физика). М.: МАКСПресс, 2002. - № 8. – С.32 - 42.

23. Чекалин С.В., Шатров Я.Т. Экологическое воздействие на атмосферу массовых пусков ракет-носителей / Труды научно-технической конференции «Экологические проблемы создания и применения ракетно-космической техники». – М.: НПО «Энергия». – 1991. – с. 11.

24. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды // Москва: Гидрометеиздат, 1984. – 560 с.

25. Галеев А. Г. Экологическая безопасность при испытаниях и отработке ракетных двигателей: Учебное пособие. - М.: Изд-во МАИ, 2006. - 92 с [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://b-ok.cc/book/2830216/6774f9>

26. Сидоров П. И. Экологические и медицинские аспекты ракетно-космической деятельности / П. И. Сидоров, С. Л. Совершаева, Н. В. Скребцова // Геофизические процессы и биосфера. - 2008. - Т. 7, № 4. - С. 14 - 29. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12899431>

27. Озонный щит Земли и его изменения / Э.Л. Александров, Ю.А. Израэль, И.Л. Кароль, А.Х. Хргиан. – СПб. : Гидрометеиздат, 1992. – 287 с. :

28. Лук'яненко І.Г. Економетрика / І.Г. Лук'яненко, Л.І. Краснікова. – К.: Товариство "Знання", КОО, 1998. – 494 с.

References

1. Ivanov, N.M., Lysenko, L.N., (2004), "Ballistika I Navigacija Kosmicheskikh Apparatov" [Ballistics And Navigation Of Spacecraft], Drofa, Moskva, 544 P.

2. Zadontsev, V.A.(2012) "Dve Zhizni I Dve Rakety Vernera Fon Brauna (1912-1977). K 100-Letiju So Dnja Rozhdenija " [Two Lives And Two Werner Von Braun Rockets (1912-1977). To The 100th Anniversary Of His Birth], *Aerospace Engineering And Technology*, No. 9 (96). – Pp.146-158.

3. Dornberger, V. (2005), "Fau-2. Sverhoruzhie Tre'tego Rejha. 1930-1945" [Fau-2. Superweapon Of The Third Reich. 1930-1945], Centrpoligraf, Moskva, 352 P.

4. "Khronologiya Zapuskov Raket I Kosmicheskikh Apparatov" [Chronology Of Rocket Launches And Spacecraft], https://spacecraftrocket.org/C_Ussr_Rockets.html/ (Access 01 June 2020).

5. Mihajlov, V.P. (1999), "Raketnye I Kosmicheskie Zagryazneniya" [Missile And Space Pollution], Izdatel'stvo Instituta Istorii Estestvoznaniya I Tehniki Rossijskoj Akademii Nauk, Moskva, 226 P.

6. Umanskiy, S. P. (2001), "Rakety - Nositeli. Kosmodromy" [Missiles - Carriers. Cosmodromes], Restart+, - Moskva, 216 P.

7. "Svodnaya Statistika Kosmicheskikh Zapuskov V Mire S 1957 Po 2014 Gody" [Summary Statistics Of Space Launches In The World From 1957 To 2014 Years], <https://bmpd.livejournal.com/1171259.html/> (Access 01 June 2020).

8. "Statistika Kosmicheskikh Zapuskov Za Posledniye 8 Let" [Statistics Of Space Launches Over The Past 8 Years] <https://www.yaplakal.com/forum3/topic1953654.html/> (Access 01 June 2020).

9. Krestnikov, I.F. (2016), "Jekologicheskie Aspekty Kosmicheskoy Dejatel'nosti" [Environmental Aspects Of Space Activities], *Use And Protection Of Natural Resources In Russia*, No. 4(148), Pp. 74-78.

10. "Organizacija Ob'edinennyh Nacij A/Ac.105/1131 General'naja Assambleja. Komitet Po Ispolzovaniju Kosmicheskogo Prostranstva V Mirnyh Celjah. Doklad O Rabote Praktikuma Organizacii Ob'edinennyh Nacij Po Kosmicheskomu Pravu Po Teme "Vklad Kosmicheskogo Prava I Kosmicheskoy Politiki V Upravlenie Kosmicheskoy Dejatel'nost'ju I Obespechenie Bezopasnosti V Kosmose V Xxi Veke" (Vena, 5-8 Sentjabrja 2016 Goda)" [United Nations A / Ac.105 / 1131 General Assembly. Committee On The Peaceful Uses Of Outer Space. Report On The Work Of The United Nations Space Law Workshop On The Contribution Of Space Law And Space Policy To The Management Of Outer Space Activities And Space Security In The 21st Century (Vienna, 5–8 September 2016)], Distr.: General 13 November 2017 russian Original: English, <https://undocs.org/Pdf?Symbol=Ru/A/Ac.105/1169>, (Access 01 June 2020).

11. Sidorov, P.I., (2008), Sovershayeva, S.L. And Skrebtsova, N.V. "Ekologicheskiye I Meditsinskiye Aspekty Raketno-Kosmicheskoy Deyatel'nosti" N. V. [Ecological And Medical Aspects Of Rocket And Space Activity], *Geophysical Processes And Biosphere*, V.7, No.4, Pp.14-29.

12. Alpatov, V.V. And Krestnikov I.F.(2018) "Ekologicheskoye Soprovozhdeniye Raketno-Kosmicheskoy Deyatel'nosti" [Environmental Support Of Rocket And Space Activities], *Heliogeophysical Research*, Issue 18, Pp.40 – 48.

13. Mikhaylov, V.P.(1999), "Raketnyye I Kosmicheskiye Zagryazneniya Zemli: Zarozhdeniye Tendentsiy" [Rocket And Space Pollution Of The Earth: The Emergence Of Trends], Institute Of The History Of Natural Science And Technology Of The Russian Academy Of Sciences Moscow, 237 P.

14. "Bezopasnost' Kriticheskikh Infrastruktur: Matematicheskiye I Inzhenernyye Metody Analiza I Obespecheniya: Monografiya", /Red. V.S. Kharchenko, [Safety Of Critical Infrastructures: Mathematical And Engineering Methods Of Analysis And Ensuring: Monograph], Ed. V.S. Kharchenko] (2011), National Aerospace University. N.E Zhukovsky "Kharkov", Kharkov, 641 P.

15. Doroshina, S.V.(2011), "Analiz Vliyanija Raketno-Kosmicheskoy Dejatel'nosti Na Okruzhajushhuju Sredu V Sisteme Jekonomiki Prirodopol'zovanija" [Analysis Of The Effect Of Rocket

And Space Activities On The Environment In The System Of Environmental Economics], *Environmental Economics*, No. 4. Pp.17-29,

16. Ayvazyan, S.A.(1968), "Statisticheskoe Issledovanie Zavisimostej" [Statistical Study Of Dependencies], Publishing House Metallurgy, Moscow, 227 P.

17. Orlov, A.I. And Cisarsky, A.D.(2013) "Osobennosti Otsenki Riskov Pri Sozdanii Raketno-Kosmicheskoy Tehniki" [Features Of Risk Assessment In The Creation Of Space Rocket Technology], *National Interests: Priorities And Security*, No. 232 (43). Pp. 37-46.

18. Nasa/Sp-2011-3422 Nasa Risk Management Handbook / Nasa, National Aeronautics And Space Administration Nasa Headquarters Washington, D.C. 20546, 2011. 256 P.

19. Orlov, A.I.(2014), "Additivno-Mul'tiplikativnaja Model' Ocenki Riskov Pri Sozdanii Raketno-Kosmicheskoy Tehniki" [Additive-Multiplicative Model Of Risk Assessment When Creating Space Rocket Technology], *Scientific Journal Scientific Journal Kuban State*.

20. "Jekologicheskie Problemy I Riski Vozdeystvija Raketno-Kosmicheskoy Tehniki Na Okruzhajushhuyu Prirodu Sredu: Spravochnoe Posobie / Pod. Red. V.V. Adushkina, S.I. Kozlova, A.V. Petrova" [Environmental Problems And Risks Of The Effects Of Rocket And Space Technology On The Environment: A Reference Manual / Under. Ed. V.V. Adushkina, S.I. Kozlova, A.V. Petrova.] (2000), Moscow, Ankil, 640 P.

21. "Rukovodstvo Po Organizacii Bezopasnoj Jeksplyatacii Kosmicheskikh Sredstv Rossijskogo Kosmicheskogo Agentstva. (Robjeks-99)" [Guidance On The Safe Operation Of Space Assets Of The Russian Space Agency. (Robex-99)], (1999), Rsa, Moscow, 195 P.

22. Dmitriev A.N., Robertus Ju.V., And Shitov A.V.(2002), "K Probleme Lokal'nyh Geomagnitnyh Vozmushhenij Pri Puskah Raket-Nositelej" [On The

Problem Of Local Geomagnetic Disturbances During Launching Of Launch Vehicles], *Physical Problems Of Ecology (Ecological Physics)*, No. 8, Pp.32-42

23. Chekalin S.V. And Shatrov Ja.T.(1991), "Jekologicheskoe Vozdeystvie Na Atmosferu Massovyh Puskov Raket-Nositelej / Trudy Nauchno-Tehnicheskoy Konferencii «Jekologicheskie Problemy Sozdaniya I Primeneniya Raketno-Kosmicheskoy Tehniki»" [Environmental Impact On The Atmosphere Of Mass Launches Of Launch Vehicles / Proceedings Of The Scientific And Technical Conference "Environmental Problems Of The Creation And Use Of Space Rocket Technology."], Moscow, Npo Energia. P. 11.

24. Israel Yu.A.(1984), "Jekologija I Kontrol' Sostojanija Prirodnoj Sredu" [Ecology And Environmental Monitoring]: Gidrometeoizdat, Moscow, 560 P.

25. Galeev A. G.(2006), "Jekologicheskaja Bezopasnost' Pri Ispytanijah I Otrabotke Raketnyh Dvigatелеj: Uchebnoe Posobie" [Ecological Safety During Testing And Development Of Rocket Engines: A Training Manual], Publishing House Of The Moscow Aviation Institute, Moscow, 92 P., <https://B-Ok.Cc/Book/2830216/6774f9/> (Access 01 June 2020).

26. Sidorov, P.I., Sosteva, S.L. And Skrebtsova, N. V. (2008), "Jekologicheskie I Medicinskie Aspekty Raketno-Kosmicheskoy Dejatel'nosti" [Ecological And Medical Aspects Of Rocket And Space Activity], *Geophysical Processes And Biosphere*, Vol. 7, No. 4, Pp.14-29. <https://Elibrary.Ru/Item.Asp?Id=12899431/> (Access 01 June 2020).

27. Aleksandrov, E.L., Izrael', Yu.A., Karol', I.L. And Khrgian, A.Kh. (1992), "Ozonnyj Shhit Zemli" [Ozone Shield Of The Earth], Gidrometeoizdat, St. Petersburg. 288 P.

28. Lukyanenko, I.G. And Krasnikova, L.I. (1998) "Ekonometryka" [Econometrics], Knowledge Society, Koo, Kiev, 494 P.

Аннотация

Деструктивное влияние ракетно-космической деятельности на окружающую среду

С.О. Вамболь, В.Ю. Дубницкий, А.И. Ходырєв, И.А. Черепнов

Показано, что запуски ракет – носителей космических объектов имеют деструктивное влияние на окружающую среду. Это влияние проявляется в загрязнении поверхности Земли в месте пусков ракет, загрязнении атмосферы земли, разрушении озонового слоя земной атмосферы и засорении околоземного космического пространства. Все пуски ракет, повлекшие их выход в космическое пространство, разделены на три этапа: Вторая мировая война (пуски ракет ФАУ-2), период с 1945 г. по 1957г. – пуски геофизических ракет, – пуски обитаемых и необитаемых космических объектов.

Проанализирована динамика пусков геофизических ракет и ракет – носителей космических объектов. Построена автокорреляционная функция временного ряда количества ежегодных пусков геофизических ракет. Анализ полученных результатов показал, что их ежегодное количество носит случайный характер.

Анализ автокорреляционной функции временного ряда подекадного изменения количества пусков с 1957 г. – 2019 г. также показал малую преемственность в планировании пусков ракет – носителей космических объектов. Показано с применением методов кластерного анализа, что основными странами-источниками загрязнения окружающей среды в результате космической деятельности являются Российская Федерация, Соединённые Штаты Америки и Китайская Народная республика, на долю которых приходится 90,5% космического мусора. Получены регрессионные уравнения распределения по высоте продуктов сгорания, выбрасываемых ракетными двигателями.

Ключевые слова: *ракетная – космическая деятельность, загрязнение окружающей среды, кластерный анализ, регрессионный анализ, загрязнение космодромов, геофизические ракеты, динамика пусков ракет –носителей космических объектов.*

Abstract**Destructive effect of space operations on earth environment****S.O. Vambol, V.Y. Dubnitskiy, A.I. Khodyrev, I.A. Cherepnov**

Launches of missiles – carriers of space vehicles – were shown to affect Earth environment destructively. This effect is demonstrated in Earth surface pollution at launch areas, terrestrial atmosphere pollution, destruction of atmospheric ozone layer and circumterrestrial space fouling. All missile launches causing their getting to the space are divided into three stages: Second World War (V-2 launches), 1945-1957 period – launches of geophysical rockets – and launches of manned and unmanned space vehicles. Launch dynamics of geophysical rockets and carrier missiles of space vehicles was analyzed. Autocorrelation function was built for temporal series of annual geophysical rocket launches. The analysis proved random character of their annual launches.

The autocorrelation function analysis of launch number variation by decades within the period 1957 – 2019 also showed poor continuity in planning of space vehicle carrier missiles. With the help of cluster analysis method the main countries-environment polluters due to their space activities were shown to be Russian Federation, United States of America and Chinese People's Republic who are responsible for 90,5% of space junk. Regression equations were obtained for distribution along heights of combustion products exhausted by missile engines.

Keywords: *space operations, environment pollution, cluster analysis, regression analysis, launch site pollution, geophysical rockets, launch dynamics of space vehicle carrier missiles*

Бібліографічне посилання/ Bibliography citation: Harvard

Vambol, S. O. *et al.* (2020) "Destructive effect of space operations on earth environment", *Engineering of nature management*, (1(15), pp. 95 - 108.

Подано до редакції / Received: 12.02.2020