

ЕКОЛОГІЧНА НЕБЕЗПЕКА ГЕОХІМІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ РАКЕТНИХ ПАЛИВ

Розглянуто питання висвітлення проблематики екологічної оцінки діяльності ракетних військ стратегічного призначення, наслідки їх існування для довкілля, чинники негативного впливу і загрози для навколишнього середовища, пов'язані з фізико-хімічними властивостями і характеристиками поведінки компонентів ракетних палив та продуктів їх розкладу в природному середовищі (ґрунті, воді). Визначено найбільш значущі прояви зазначених небезпек з метою їх використання у практичних дослідженнях.

Ключові слова: ракетні війська, ракетне паливо, екологічна небезпека, геохімічна поведінка, міграція забруднювачів, ґрунти, рослини.

Рассматриваются вопросы освещения проблематики экологической оценки деятельности ракетных войск стратегического назначения, последствия их существования для окружающей среды, факторы негативного влияния и угрозы для окружающей среды связанные с физико-химическими свойствами и характеристиками поведения компонентов ракетных топлив и продуктов их разложения в природной среде (почве, воде). Определены наиболее значимые проявления указанных опасностей с целью их использования в практических исследованиях.

Ключевые слова: ракетные войска, ракетное топливо, экологическая опасность, геохимическое поведение, миграция загрязнителей, почвы, растения.

The questions covering the issue of environmental evaluation of the Strategic Missile Forces and the consequences of their existence to the environment. Also analyzed the factors of negative influence and threats to the environment associated with the physical and chemical properties and characteristics of the behavior of components of rocket fuels and their decomposition products in the environment (soil, water). Determine the most significant manifestation of the dangers to be used in the case studies.

Key words: rocket troops, rocket fuels, environmental hazards, geochemical behavior, migration of contaminants, soil, plants.

Постановка проблеми в загальному вигляді.

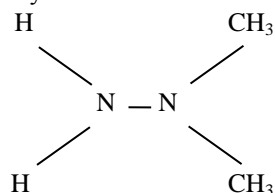
Приєднання України до міжнародних угод про скорочення та обмеження деяких видів озброєнь поставило перед державою необхідність проведення широкомасштабних робіт, пов'язаних із виконанням низки програм щодо поетапного скорочення і ліквідації стратегічної зброї наземного та повітряного базування, засобів доставки зброї та відповідної інфраструктури, а також реабілітації територій, забруднених унаслідок військової діяльності. Під час реалізації зазначених програм виникла необхідність нейтралізації об'єктів, що становлять екологічну небезпеку (ракетного озброєння, технологічного обладнання, споруд і т. п.), а також компонентів ракетного палива. Але проведені заходи, що підтверджують сучасні дослідження на уражених територіях і екологічні катастрофи (отруєння жителів сіл Болеславчик, Чаусове-1, Чаусове-2, Підгір'я і Мічуріне на Миколаївщині), були виконані не завжди якісно і повною мірою, тому актуальною залишається проблема ліквідації наслідків діяльності ракетних військ (техногенне перетворення природних територій і

їх забруднення) і, особливо, чинників негативного впливу (залишки компонентів ракетних палив) на довкілля і його живу компоненту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогодні залишається недостатньо розробленою і відображеною у науковій літературі і нормативно-правових документах та законодавчих актах як проблематика ліквідації наслідків діяльності ракетних військ стратегічного призначення (РВСП), так і дослідження подібних військових об'єктів і визначення рівня їхньої небезпеки. Як зазначають Прохач Е. Ю. і Михальська Л. Л. [7; 8], до певного часу вчені мало уваги приділяли визначенню фактичного стану об'єктів Міноборони, їхній потенційній небезпеці. У той же час чимало публікацій присвячено висвітленню негативного впливу компонентів ракетних палив (пальних і окислювачів) на довкілля і біоту, зокрема зазначається, що більшість палив ракетних двигунів є високотоксичними речовинами, використання яких призводить до хімічного забруднення довкілля, що є потенційною екологічною небезпекою для природного середовища [1; 2; 4; 5; 6; 9].

Мета дослідження. Стає очевидним, що необхідним етапом сучасних досліджень виступає потреба встановлення особливостей геохімічної поведінки компонентів ракетних палив і продуктів їх розпаду в природному середовищі. Це у свою чергу дасть змогу провести достовірний моніторинг забруднення територій колишніх військових об'єктів як нейтралізованих, так і тих, що потребують комплексної реабілітації.

Виклад основного матеріалу. Для заправки ракет РВСП на території України використовувалось



Несиметричний диметилгідразин

Сучасні експериментальні дослідження процесів дифузії, сорбції, десорбції, фільтрації і розкладу НДМГ у різних типах ґрунтів, відібраних з місць проливів пального, показали, що гептил піддається окисленню повітрям в об'єктах навколишнього середовища з утворенням і накопиченням низки стійких продуктів трансформації. Встановлено, що в

рідинне і тверде ракетне паливо. Завдяки своїм фізико-хімічним властивостям більшу загрозу становлять рідинні палива, потрапляння яких до геосфер мало більш масовий характер, а розклад і міграція – більш інтенсивний. З них найбільш екологічно небезпечним є *гідразинове ракетне паливо – несиметричний диметилгідразин (НДМГ, гептил)*. НДМГ надзвичайно небезпечний через високу токсичність, тому віднесений ВООЗ до речовин першого класу небезпеки [5]. Хімічна формула НДМГ має такий вигляд:

ґрунтах, забруднених НДМГ, утворюються диметиламін, метилгідразин, триметилгідразин, тетраметилтетразен, формальдегід, нітрозодиметиламін, метилендиметилгідразин та інші продукти [4; 5; 9]. Гранично-допустимі рівні впливу НДМГ і найбільш токсичних продуктів його окислення на компоненти природного середовища наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Гранично допустимі рівні впливу несиметричного диметилгідразину і продуктів його окислення на компоненти природного середовища

Речовина	ГДК _{с.д.} для атмосферного повітря, мг/м ³	ГДК для водойм господарсько-питного використання, мг/л	ГДК для водойм рибогосподарського використання, мг/л	ГДР у ґрунті, мг/кг	Клас небезпеки
НДМГ	0,001	0,02	0,0005	0,1	1
Тетраметилтетразен	0,005	0,1	–	–	3
Нітрозодиметиламін	0,0001	0,01	–	–	1
Формальдегід	0,003	0,05	0,01	7,0	2
Диметиламін	0,005	0,1	0,005	–	2

Характер міграції НДМГ у ландшафтах визначається його високою випаровуваністю, окислюваністю повітрям, розчинністю у воді, високою сорбційною здатністю [1; 9]. Розчинність НДМГ у воді дозволяє йому при потраплянні на ґрунт разом з атмосферними опадами легко досягти незахищених водоносних шарів і далі надходити до водоймищ далеко від місць виліву [1; 4].

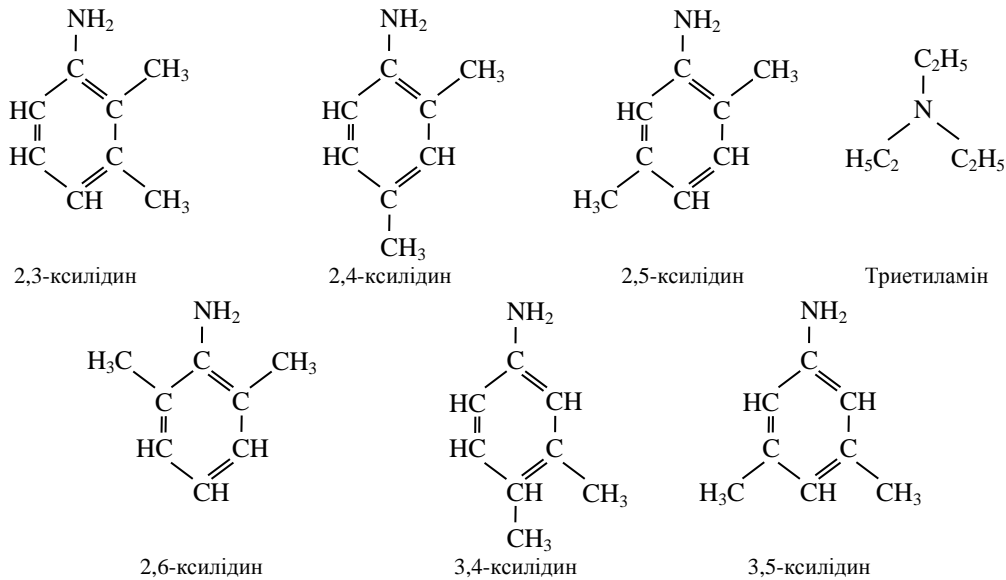
Гептил володіє високою стійкістю в ґрунті (стабільність більше 12 місяців) і рослинах (збереження протягом більше ніж 12 місяців), добре мігрує в профілі ґрунту (від 60 до 200 см і більше). Встановлена чітка залежність поглинання НДМГ ґрунтом від вмісту в ньому органічної речовини і її міцного зв'язку з органомінеральним комплексом ґрунту. НДМГ поглинається ґрунтами за іонно-обмінним механізмом: чим вища катіонообмінна ємність ґрунту, тим вищий ступінь поглинання гептилу (глинисті ґрунти сорбують 76-90 % НДМГ, а пісок лише 2-46 %) [1; 4; 10].

Умови для збереження і міграції гептилу в природних системах досить відрізняються за порами

року. Найбільш сприятливий для стабільності НДМГ в екосистемах зимовий період, а для міграції – період весняних повеней і танення снігу. НДМГ здатний консервуватися в сніжному покриві, а під час сніготанення мігрує разом з талими водами. Менш сприятливий для міграції гептилу холодний передзимовий період, так як в цьому випадку ракетне паливо акумулюється в ґрунтах в межах місць його розливу. Найменш сприятливим для міграції і збереження НДМГ в природному середовищі є теплий сезон. Високі температури, дефіцит опадів, велика кількість УФ-радіації сприяють швидкому розкладанню палива [1; 4; 10].

Також внаслідок проливів НДМГ у ґрунтах підвищується рухливість деяких металів (Cu, Zn, Co, Mn, Cd, Pb) і може спостерігатись їх перерозподіл у профілі та виніс за його межі [6].

Амінне паливо ТГ-02 (Тонка-250, самін) – ракетне паливо, яке є сумішшю технічних ізомерних ксилідинів і технічного триетиламіну [3]. Хімічні формули триетиламіну і ксилідинів (C₈H₁₁N), які представлені шістьма ізомерами, такі:



Самін є отруйною і канцерогенною речовиною, яка за своїми токсикологічними характеристиками належить до третього класу небезпеки. Гранично

допустимі рівні впливу складників ракетного пального ТГ-02 на компоненти природного середовища наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Гранично допустимі рівні впливу складників ТГ-02 на компоненти природного середовища

Речовина	ГДК _{с.д.} для атмосферного повітря, мг/м ³	ГДК для водойм господарсько-питного використання, мг/л	ГДК для водойм рибогосподарського використання, мг/л	ГДР у ґрунті, мг/кг	Клас небезпеки
Ксилідин	0,002	–	–	–	–
Триетиламін	0,14	2,0	1,0	–	3

Вуглеводневе пальне ТМ-185 являє собою спеціальний сорт гасу, який використовувався як ракетне пальне [3]. Вуглеводневе пальне при надходженні на поверхню ґрунту включається в цикл фізичних, хімічних і фізико-хімічних перетворень, зумовлених процесами міграції і трансформації забруднювача в різних природних середовищах. Вони стабільні в ґрунті і зберігаються тривалий час (1-2 роки) [2; 10]. Основним засобом переносу вуглеводневого пального з ґрунту є повітряні маси (випаровування і вивітрювання), ґрунтові і поверхневі води. Інтенсивно випаровуючись в перші години після виливу, молекули вуглеводнів надходять у приземний шар атмосфери і розносяться вітром або накопичуються в повітряному шарі. Їхнє подальше поширення здійснюється за механізмом дифузії. Однак низькі температури повітря, велика кількість опадів і значна обводненість території можуть перешкоджати випаровуванню вуглеводневого пального з поверхні виливів. У перший рік після виливу пального на ґрунт спостерігається швидке зменшення його концентрації, що пояснюється механічним вимиванням водою за межі площі виливу з подальшим розведенням на шляхах руху водних потоків, хімічною взаємодією із складовими ґрунту, адсорбцією ґрунтами і мікробіологічною трансформацією [2; 10].

Шляхами поширення забруднення на ґрунті є горизонтальне розтікання і вертикальна міграція вздовж профілю. Закономірності горизонтального розтікання пального зумовлені початковою

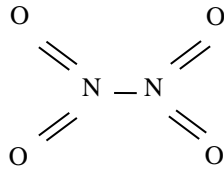
концентрацією, особливостями клімату, ландшафту, властивостями ґрунтів. Велика кількість опадів сприяє промиванню ґрунту, рівнинний характер місцевості ускладнює стікання надлишкової вологи, що призводить до накопичення і локалізації забруднення [2; 10].

У випадку вертикальної міграції на глибину проникнення забруднення найбільш сильно впливають сорбційна, фізико-хімічні, водно-фізичні, фільтраційні властивості ґрунтових порід, мінералогічний склад, інтенсивність процесів розведення ґрунтовими водами, кількість пального, яка потрапила в ґрунт. Основна кількість зосереджується в верхньому горизонті. Це пов'язано з тим, що гумусовий горизонт, який містить найбільшу кількість органічних речовин, має більш високу сорбційну здатність. Швидкість і глибина проникнення вуглеводневого пального вглиб ґрунту, міцність зв'язування ґрунтовими частками, протікання хімічних реакцій визначаються властивостями поглинаючого комплексу ґрунту. При просочуванні вуглеводневого пального в нижню частину профілю утворюється достатньо стійка зона забруднення, яка чинить несприятливий тривалий вплив на ґрунтові і поверхневі води [2; 10].

Деструкції вуглеводневого пального сприяє вологість і підвищені значення рН середовища. Приблизно через рік процес розкладу пального гальмується в будь-якій кліматичній зоні і подальша деградація проходить дуже повільно. Для повної природної переробки вуглеводневих компонентів в

умовах середніх широт потрібно не менше 10-20 років.

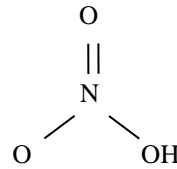
Значну небезпеку становлять рідинні окислювачі ракетного пального на основі азотної кислоти – АТ та АК-27И. АТ (азотний тетраоксид, аміл) – окислювач ракетного палива; похідна високотоксичної концентрованої азотної кислоти, яка віднесена до 1-го класу небезпечності [2; 3; 10].



Азотний тетраоксид

Азотні окислювачі, потрапляючи в ґрунтовий покрив, взаємодіють з присутніми в ґрунті лугами і утворюють суміші солей нітратної та нітритної кислот – нітратів і нітритів, які є достатньо стабільними сполуками. Перенасичений цими солями ґрунт може бути причиною забруднення підземних і поверхневих вод у зв'язку зі змиванням їх з ґрунту талими та дощовими опадами, основним джерелом підвищеного вмісту нітратів і нітритів у сільсько-господарській продукції і утворення в продуктах сільсько-господарського виробництва диметилнітрозаміну (за присутності амінів), який є речовиною 1 класу небезпечності. Крім того, виливи азотних окислювачів негативно впливають на мікрофлору ґрунту, гідробіоти, викликаючи їх загибель [2; 10].

АК-27И (меланж) – окислювач пального, який є розчином азотного тетраоксиду (27 % за масою) в азотній кислоті (73 %) з додаванням інгібітору корозії – кристалічного йоду. Меланж становить значну екологічну небезпеку, оскільки є високотоксичною речовиною [2; 3; 9]. Хімічні формули компонентів окислювача мають вигляд:



Азотна кислота

Висновки і перспективи подальших досліджень. Забруднення ґрунту компонентами ракетного палива призводить до значних фізико-хімічних перетворень – зміни мікро-елементного складу ґрунту (зокрема, металів), його повітряного і лужно-кислотного режимів та окисно-відновного стану, порушення усталеного геохімічного балансу в екосистемах (співвідношення вуглецю і азоту, дефіцит кисню, азоту, рухомого фосфору та обмінного калію, вплив на фітотоксичність ґрунтів і затримка росту рослин). Складові палива схильні до трансграничної міграції з ґрунтового у водне середовище, акумуляції у рослинах. Саме тому виконання досліджень територій забруднених внаслідок військової діяльності має включати оцінку стану ґрунту і рослинного покриву на ділянці відбору проб для екоаналізу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ворожейкин А. П. Ландшафтно-геохимическое поведение НДМГ / А. П. Ворожейкин, Ю. В. Проскураков, А. В. Пузанов // Ползуновский вестник. – 2005. – № 4. – С. 188–193.
2. Экологические проблемы и риски воздействия ракетно-космической техники на окружающую среду : справочное пособие / В. В. Адушкин, С. И. Козлов, А. В. Петров. – М. : Анкил, 2000. – 638 с.
3. Зрелов В. Н. Жидкие ракетные топлива / В. Н. Зрелов, Е. П. Серегин. – М. : «Химия», 1975. – 320 с.
4. Касимов Н. С. Поведение компонентов ракетного топлива в почвах, водах и растениях / Н. С. Касимов, В. Б. Гребенюк, Т. В. Королева, Ю. В. Проскураков // Почвоведение. – 1994. – № 9. – С. 110–120.
5. Проблемы экологической опасности применения гептила – сверхтоксичного ракетного топлива. Хроника событий / отв. за вып. : Л. С. Попова, Л. А. Федоров, С. Я. Вагнер. – Пермь, 2008. – 45 с.
6. Пузанов А. В. Геохимия микроэлементов почв, подверженных загрязнению ракетным топливом (на примере районов падения ракет Центрального Казахстана) / А. В. Пузанов, А. П. Ворожейкин, Ю. В. Проскураков // Мир науки, культуры, образования. – 2009. – № 7. – С. 25–29.
7. Прохач Е. Ю. Експериментальна та аналітична оцінка забруднення ґрунту в районі сховищ компонентів ракетних палив / Е. Ю. Прохач // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х. : УЦЗУ, 2009. – Вип. 11. – С. 105–112.
8. Прохач Е. Ю. Методологія визначення рівня небезпеки військових об'єктів, що виводяться з експлуатації / Е. Ю. Прохач, Л. Л. Михальська // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х. : УЦЗУ, 2009. – Вип. 9. – С. 82–88.
9. Родин И. А. Превращения несимметричного диметилгидразина в почвах / И. А. Родин, Д. Н. Москвин, А. Д. Смоленков, О. А. Шпигун // Журнал физической химии. – 2008. – Т. 82. № 6. – С. 1039–1044.
10. Франчук Г. М. Екологія, авіація, космос : навч. посіб. / Г. М. Франчук, В. М. Ісаєнко. – [2-ге вид., стер.]. – К. : Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2010. – 456 с.

Рецензенти: Запорожець О. І., д. т. н., професор;
Франчук Г. М., д. т. н., професор.

© Шаравара В. В., Мовчан Я. І., 2014

Дата надходження статті до редколегії 05.08.2013 р.

ШАРАВАРА Віталій Вікторович – аспірант кафедри екології Інституту екологічної безпеки Національного авіаційного університету, м. Київ.

Коло наукових інтересів: військова екологія, моніторинг довкілля, оцінка впливу господарської діяльності на навколишнє середовище, екологічна експертиза.

МОВЧАН Ярослав Іванович – доктор біологічних наук, професор кафедри екології Інституту екологічної безпеки Національного авіаційного університету, завідувач лабораторії екобезпеки ННЦ «Екобіобезпека» НАУ, м. Київ.

Коло наукових інтересів: методологія та теорія біології, дослідження еволюції біо- та екосистем, особливості екологічно-збалансованого розвитку, моніторинг та оцінка стану довкілля – екополітика, енергетика, зміни клімату.